

УДК 621.316

УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ 6(10) кВ ОТ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Э.Н. Фоминич¹, Е.В. Ревякина², И.В. Колесник¹, Е.В. Курьяков¹

¹ Военный институт (инженерно-технический) Военной академии материально-технического обеспечения
Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, 22

² Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская 244

Аннотация. *Выполнен анализ воздействия мощных электромагнитных импульсов искусственного происхождения на электрооборудование систем электроснабжения (СЭС) и показано, что данные воздействия представляют опасность для систем электроснабжения 6(10) кВ. Для защиты СЭС от наводимых импульсных токов и напряжений необходимо применение специальных аппаратных средств защиты с повышенной энергоемкостью и скоростью срабатывания по сравнению с обычными средствами молниезащиты. Рассмотрены новые типы устройств защиты СЭС 6...10 кВ, приведены их схемные решения, параметры и результаты экспериментальных исследований, которые показали высокую эффективность применения данных устройств для защиты электрооборудования СЭС 6(10) кВ.*

Ключевые слова: *устройства защиты электрооборудования от импульсных перенапряжений, система электроснабжения, генератор импульсных токов, вентильный разрядник, молниезащита.*

Проблема защиты высоковольтного электрооборудования напряжением 6(10) кВ от мощных электромагнитных воздействий (ЭМВ) искусственного происхождения становится все более острой и актуальной в связи с его оснащением современной элементной базой, характеризующейся повышенной восприимчивостью к электромагнитным воздействиям. Основным методом защиты высоковольтного электрооборудования от мощных ЭМВ является применение устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП).

Анализ воздействия мощных электромагнитных импульсов, генерируемых современными техническими средствами, показывает, что уровни токов, наводимых на элементах систем электроснабжения (СЭС) 6(10) кВ, могут составлять 10...50 кА, а перенапряжения, поступающие на вход электрооборудования, могут достигать значений сотен киловольт. Длительность фронта импульсов напряжения и тока на входах устройств на уровне 0,1–0,9 амплитуды составляет 0,05...0,5 мкс, а длительность импульсов напряжения и тока на уровне 0,5 ам-

Эдуард Николаевич Фоминич, профессор кафедры «Электроснабжение, электрооборудование и автоматика».

Екатерина Викторовна Ревякина, аспирант.

Иван Владимирович Колесник, адъюнкт кафедры «Электроснабжение, электрооборудование и автоматика».

Евгений Владимирович Курьяков, инженер кафедры «Электроснабжение, электрооборудование и автоматика».

плитуды достигает значений до 3...5 мс. Эти токи по длительности более чем на порядок превосходят токи молнии по длительности (среднестатистический ток молнии составляет 30 кА при длительности 50...350 мкс). Поэтому для защиты СЭС от импульсов токов и напряжений с подобными параметрами необходимо применение специальных аппаратных средств защиты с повышенной энергоемкостью и скоростью срабатывания.

До конца 90-х годов защита электрооборудования на номинальные напряжения 6(10) кВ от мощных электромагнитных воздействий осуществлялась с помощью специальных нелинейных ограничителей перенапряжений ОН-6(10) и молниевых вентильных разрядников РВРД 6(10). Указанные типы УЗИП были разработаны в 80-е годы и к настоящему времени физически и морально устарели. Указанные типы УЗИП по своим тактико-техническим характеристикам не позволяют в полной мере обеспечить надежную и эффективную защиту от мощных ЭМВ. В частности, пропускная способность по току для нелинейных ограничителей перенапряжений ОН-6(10) составляет 0,2 кА при длительности импульсов 2 мс, а для разрядников РВРД-6(10) – 1,5 кА при длительности импульсов 8 мс. Кроме того, данные УЗИП не обеспечивают защиту от воздействий импульсных токов и напряжений с наносекундной длительностью фронта.

Министерством обороны РФ была поставлена задача по разработке и созданию новых УЗИП, удовлетворяющих требованиям действующих ГОСТ и военных стандартов по защите электрооборудования от электромагнитных излучений современных технических средств. Военным институтом (инженерно-техническим) ВА МТО были разработаны научно обоснованные тактико-технические требования к новым типам УЗИП, позволяющим выполнять вышеуказанные функции. В соответствии с данными требованиями Истринским филиалом ОАО «ВЭИ имени В.И. Ленина» для высоковольтного электрооборудования на номинальные напряжения 6(10) кВ разработаны и запущены в серийное производство устройства защиты типов УЗИП 3-6-50 и УЗИП 3-10-50 [1].

Техническим заданием для данных УЗИП заданы две основные формы воздействующего импульсного тока и напряжения.

Форма № 1: скорость нарастания импульса напряжения не менее 10 кВ/мкс, длительность фронта импульсов напряжения и тока на входе устройства защиты на уровне 0,1...0,9 амплитуды не более 0,1 мкс, длительность импульсов напряжения и тока на уровне 0,5 амплитуды до 5 мс.

Форма № 2: скорость нарастания импульса напряжения не менее 5000 кВ/мкс, длительность фронта импульсов напряжения и тока на входе устройства защиты на уровне 0,1...0,9 амплитуды не более 25 нс, длительность импульсов напряжения и тока на уровне 0,5 амплитуды до 100 нс.

Конструктивно устройства защиты состоят из трех аналогичных однофазных модулей. В состав каждого фазного модуля входят:

- блок фильтра низких частот;
- блок ограничения напряжения;
- блок коммутации;
- блок запуска вакуумного разрядника.

По принципу работы устройство является устройством комбинированного типа и содержит элементы как коммутирующего, так и ограничивающего типов, которые могут коммутировать и ограничивать напряжение, а также выполнять обе функции; их действие зависит от характеристик воздействующего импульса напряжения и тока.

Защитные функции данного УЗИП выполняются в 4 этапа:

- защита от наносекундного импульса (в соответствии с формой № 2) обеспечивается с помощью фильтра нижних частот, состоящего из дополнительной линейной индуктивности и паразитной электрической емкости блока мощных нелинейных резисторов;

- защита от грозовых импульсов (длительностью импульсов до 50 мкс) обеспечивается набором нелинейных резисторов, при этом перенапряжение ограничивается до допустимого уровня – 27 кВ;

- защита от коммутационных импульсов и мощных импульсов (в соответствии с формой № 1) от источников преднамеренного воздействия обеспечивается вакуумным разрядником со схемой его запуска, при этом ограничение перенапряжения обеспечивается путем закорачивания фазы электрической цепи. При этом избыточная мощность проходит через устройство защиты;

- восстановление всех защитных функций УЗИП по окончании воздействия помехи.

На рис. 1 приводится принципиальная схема УЗИП, в таблице – технические характеристики, на рис. 2 – внешний вид УЗИП 3-6-50.

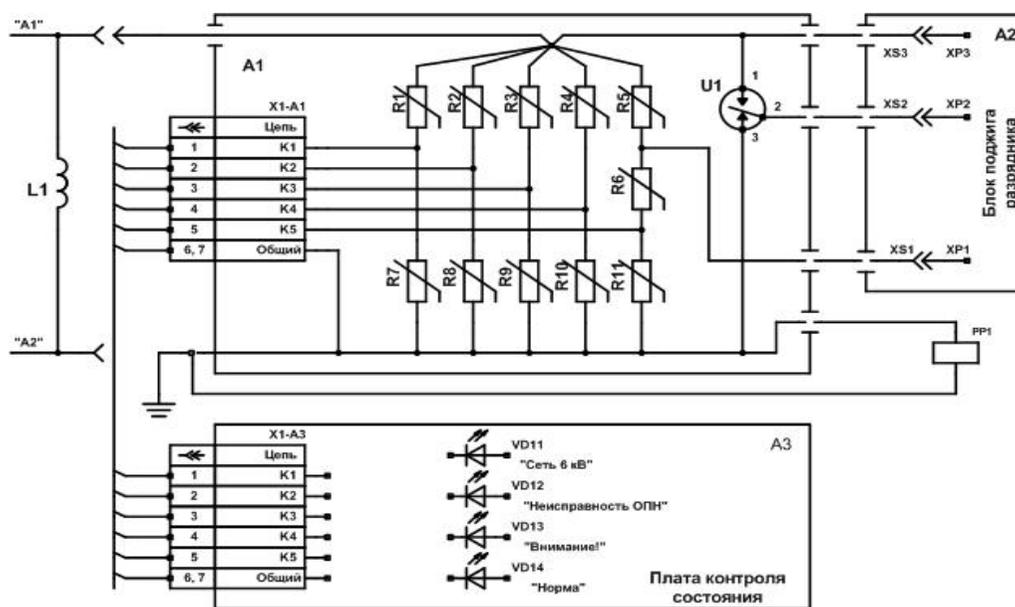


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема УЗИП

Технические характеристики УЗИП-6 (10) кВ

Параметр	Количественное значение	
	УЗИП 3-6-50	УЗИП 3-10-50
Номинальное напряжение УЗИП, кВ	6	10
Предельный ток, пропускаемый каждым полюсом защитного устройства, кА, не менее	50	50
Наибольшее длительное рабочее напряжение (действующее значение), кВ	7,5	12,5
Остающееся напряжение на УЗИП (при воздействии импульса перенапряжения длительностью фронта от	30	40

Параметр	Количественное значение	
	УЗИП 3-6-50	УЗИП 3-10-50
25 нс и длительностью импульса до 5 мс), кВ, не более		
Ток утечки, мА	12	12
Остающееся напряжение на УЗИП при импульсе тока 8/20 мкс с амплитудой 50 кА, не более	27	35
Сопротивление изоляции при нормальных климатических условиях, МОм, не менее	100	100

Экспериментальные исследования разработанных образцов УЗИП проводились на испытательных стендах ГИТ-Л и ГИТ-С в ВИ (ИТ) ВА МТО. Технические характеристики генератора импульсных токов ГИТ-Л: амплитуда импульсов тока до 400 кА, длительность фронта 5...100 мкс, длительность импульса до полуспада амплитуды 0,5–5 мс.

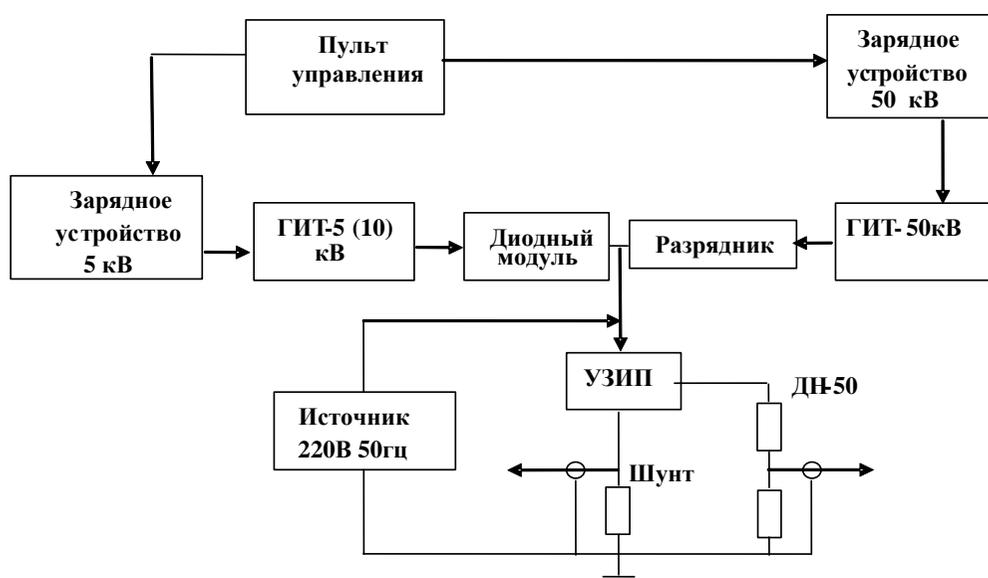


Рис. 2. Блок-схема установки ГИТ-Л для испытаний УЗИП

На рис. 2 представлена блок-схема установки ГИТ-Л при испытаниях УЗИП импульсами тока, заданными в ТЗ. Испытательная установка состоит из двух генераторов импульсных токов с емкостными накопителями энергии с зарядными напряжениями 5(10) кВ и 50 кВ и запасаемыми энергиями 2 и 6 МДж соответственно.

На рис. 3 приведена типовая осциллограмма тока и остающегося напряжения при испытаниях УЗИП импульсами, соответствующими форме № 1.

Разработанные УЗИП удовлетворяют современным требованиям ГОСТ и военных стандартов в части защиты высоковольтного электрооборудования от мощных электромагнитных воздействий, генерируемых источниками естественного и искусственного происхождения, позволяют обеспечить комплексную защиту системы электроснабжения 6(10) кВ от воздействия токов и напря-

жений, наводимых на элементах СЭС мощными ЭМИ естественного (включая молниевые и коммутационные перенапряжения) и искусственного (формы № 1 и № 2) происхождения, и могут применяться на объектах различного назначения.

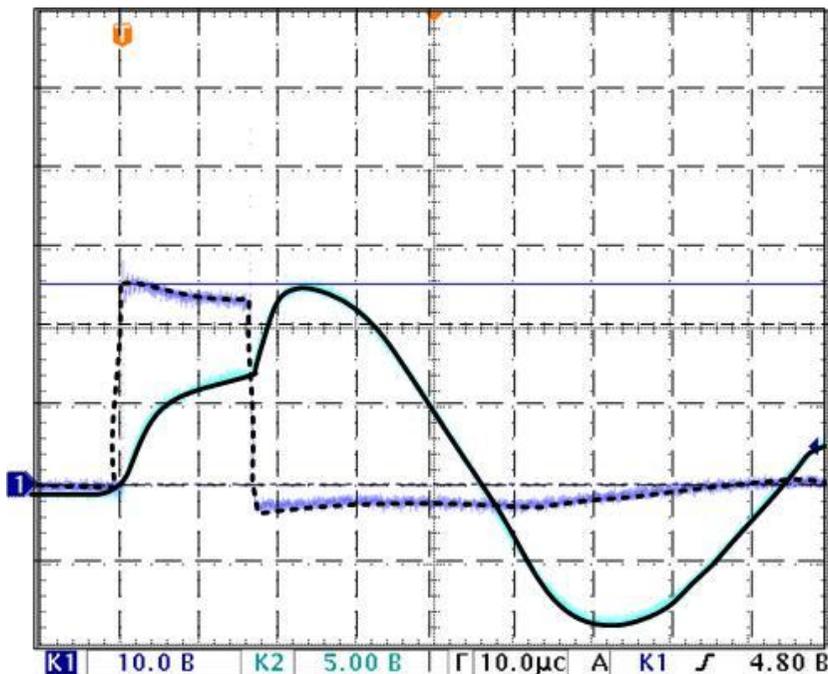


Рис. 3. Типовая осциллограмма тока и остающегося напряжения при зарядном напряжении 40 кВ, $U_{ост} = 25,4$ кВ, $I_{вар} = 35$ кА, $I_{рву} = 63$ кА:
 ————— входной ток, 25 кА/дел;
 - - - - - остающееся напряжение, 10 кВ/дел

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Устройства защиты УЗИП 3-6-50, УЗИП 3-10-50. Технические условия ПИАФ.674371.001 ТУ. Истра. 2010.
2. Фоминич Э.Н., Хромов В.В. Устройства защиты систем автономного электроснабжения от мощных электромагнитных воздействий // Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники: Сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции. – 2016. – С. 474–476.
3. Фоминич Э.Н., Филиппов В.Г., Исаков А.В. Универсальное комбинированное устройство для защиты систем электроснабжения 6(10) кВ от мощных электромагнитных воздействий // Технологии электромагнитной совместимости. – 2013. – № 1 (44). – С. 18–22.
4. Алфёров Д.Ф., Иванов В.П., Сидоров В.А. Управляемые вакуумные разрядники: основные свойства и применение. – М.: ЭЛЕКТРО, 2002. – № 2. – С. 31–37.
5. ГОСТ Р 51992-2002 (IEC-61643-1,1998-02) Устройства защиты от перенапряжений для низковольтных систем распределения электроэнергии. Часть 1. Требования к эксплуатационным характеристикам и методы испытаний.
6. ГОСТ Р 50571.19-2000 Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Глава 44. Защита от перенапряжений. Раздел 443. Защита электроустановок от грозовых и коммутационных перенапряжений.

7. ГОСТ Р 50571.20-2000 Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Глава 44. Защита от перенапряжений. Раздел 444. Защита электроустановок от перенапряжений, вызванных электромагнитными воздействиями.
8. ИЕС-61024-1 (1990) Молниезащита строительных конструкций. Часть 1. Общие принципы.
9. *Балюк Н.В., Кичиев Л.Н., Степанов П.В.* Мощный электромагнитный импульс: воздействие на электронные средства и методы защиты. – М.: Технологии, 2008. – С. 115–136.

Статья поступила в редакцию 17 января 2018 г.

DEVICES FOR PROTECTION OF HIGH-VOLTAGE ELECTRIC EQUIPMENT WITH VOLTAGE 6 (10) KV FROM POWERFUL ELECTROMAGNETIC EXPOSURES

E.N. Fominich¹, E.V. Revyakina², I.V. Kolesnik¹, E.V. Kuryakov¹

¹Military Institute (Engineering) of the Military Academy of Material and Technical Support
22, ul. Zakhariyevskaya, St. Petersburg, 191123, Russian Federation

²Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

Abstract. *The effect of powerful electromagnetic pulses of artificial origin on the electrical equipment of power supply systems (SES) is analyzed and it is shown that these effects pose a danger for power supply systems of 6 (10) kV. To protect the SES from induced impulse currents and voltages, it is necessary to use special hardware protectors with increased energy intensity and operating speed in comparison with conventional lightning protection. New types of protection devices of SES 6 ... 10 kV are considered, their circuit solutions, parameters and results of experimental studies are shown, which showed high efficiency of application of these devices for protection of electrical equipment of SES 6...10 kV.*

Keywords: *electrical protection devices surge, power supply system, a generator of pulsed currents, valve arrester, lightning protection.*

Eduard N. Fominich, Professor.

Ivan V. Kolesnik, Adjunct.

Evgeny V. Kuyiakov, Engineer.

Ekaterina V. Revyakina, Postgraduate Student.