УДК 621.311.21:621.31.004.69

Серегин И.А.,
студент магистратуры
2 курс, факультет «Электромеханический»
Сибирский государственный
университет водного транспорта
Россия, г. Новосибирск

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Аннотация: *в статье рассматривается влияние импульсного напряжения в системах энергоснабжения. Описывается возникновение импульсных напряжений в системах энергоснабжения различного напряжения и назначения. Рассматриваются характеристики импульсных напряжений, средства защиты от перенапряжений, принцип их действия. Приведено описание импульсного напряжения как параметра качества электрической энергии.*

Ключевые слова: *импульсное напряжение, импульс напряжения, длительность импульса, импульсная помеха, кондукторная помеха, ограничители перенапряжений, устройства защиты от импульсных напряжений.*

Annotation: *the article considers the influence of pulse voltage in power supply systems. The article describes the occurrence of pulse voltages in power supply systems of various voltages and purposes. The characteristics of pulse voltages, overvoltage protection devices, and the principle of their operation are considered. The description of the pulse voltage as a parameter of the quality of electrical energy is given.*

Key words: *pulse voltage, voltage pulse, pulse duration, pulse interference, conductor interference, surge limiters, surge protection devices.*

Явление возникновения импульсного напряжения в системах электроснабжения как параметр качества электрической энергии определено ГОСТ 32144-2013 с помощью характеристик[1].

Импульс напряжения - резкое изменение напряжения в точке электросети, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня за промежуток времени до нескольких миллисекунд.

Импульсное напряжение, являющееся показателем качества электроэнергии - это величина, равная максимальному мгновенному значению напряжения в электросети в течение импульса напряжения.

Длительность импульса - интервал времени между начальным моментом импульса напряжения и моментом восстановления мгновенного значения напряжения до первоначального или близкого к нему уровня;

Импульсная помеха – кратковременный, амплитудой свыше 4000–6000 В, скачок напряжения в сети. Такая электромагнитная помеха может быть в виде как одиночного импульса, так и их последовательности или пачки.

Категория импульсных выдерживаемых напряжений (категории перенапряжений) – подмножества (группы) числовых оценок импульсных напряжений, характеризующиеся их верхними значениями, при которых электрическая изоляция электрооборудования должна выдерживать периодически возникающее импульсное напряжение при условии, что это электрооборудование рассчитано на возможность появления импульсных напряжений с такими значениями. Различают четыре категории импульсных выдерживаемых напряжений – I, II, III, IV.

Кондуктивная помеха - электромагнитная помеха, распространяющаяся по проводникам.

1) Импульсное напряжение Uимп в вольтах (киловольтах) находят как максимальное значение напряжения при резком его изменении (длительность фронта импульса не более 5 мс).

2) Длительность импульса напряжения по уровню половины его амплитуды $t_{имп0,5}$,5 в микросекундах (миллисекундах) вычисляют по формуле:

$$\Delta t_{\text{имп}0,5} = t_{K0.5} - t_{H0.5}, \quad (1)$$

Где$t_{H0.5}$, $t_{K0.5}$- моменты времени, соответствующие пересечению кривой импульса напряжения горизонтальной линией, проведенной на половине амплитуды импульса.

Импульс напряжения характеризуется амплитудой $U_{\text{имп.а}}$, максимальным значением напряжения $U_{\text{имп}}$, длительностью переднего фронта, т.е. интервалом времени от начала импульса $t_{\text{нач}}$ до момента достижения им максимального (амплитудного) значения $t_{\text{амп}}$ и длительностью импульса напряжения по уровню 0,5 его амплитуды $t_{\text{амп 0,5}}$. Две последние временные характеристики показывают в виде дроби $\Delta t_{\text{амп}}/t_{\text{имп 0,5}}$.

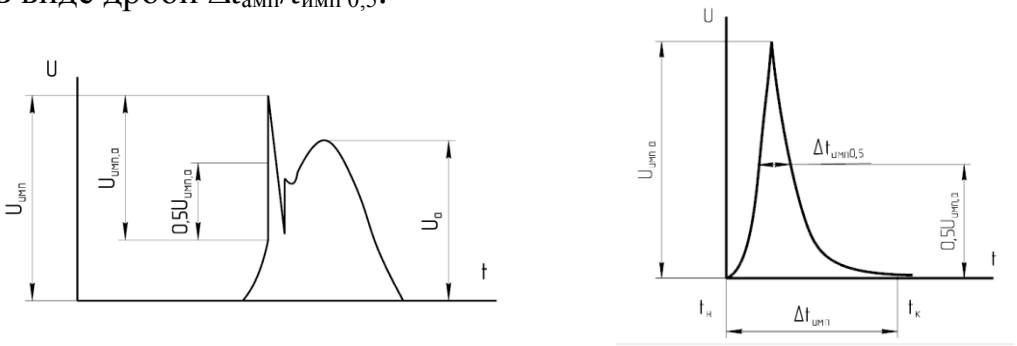

Рисунок 1. Параметры импульсного напряжения

Возникновение импульсов напряжения в низковольтных сетях происходит в результате трех типов событий:

- ударов молнии либо непосредственно в какой-либо элемент системы электроснабжения, либо путем косвенного действия, заключающегося в индуктировании импульсных напряжений электромагнитным полем, возникающим при ударе в близлежащие объекты;
- коммутаций на различных уровнях системы электроснабжения: от коммутаций энергосистемой нагрузок или батарей конденсаторов в магистральных и распределительных сетях, до действий конечного пользователя в низковольтных сетях;
- случайных событий в электросети, таких как короткие замыкания и их устранение, при замыканиях между различными системами, например, между силовыми и информационными сетями, а также резонансных явлений.

Грозовые и коммутационные импульсные напряжения, различающиеся природой возникновения и характером воздействия на устройства защиты и электрооборудование потребителя, являются основными видами импульсных напряжений в электросетях.[6]

Грозовые импульсные напряжения, возникающие вследствие разряда молнии в элементы системы электроснабжения, а также информационные, телефонные и телевизионные сети, воздействуют на электрооборудование конечного пользователя посредством нескольких механизмов.[4] По месту приложения удара молнии различают три типа молниеразрядов:

1. Прямой разряд молнии в систему электроснабжения, который может произойти либо на первичной стороне распределительного трансформатора, либо на любом элементе распределительной сети низкого напряжения (как воздушной, так и кабельной).

2. "Отраженный" разряд - удар молнии в соседние объекты, который может индуктировать импульсные перенапряжения в низковольтных распределительных сетях посредством создаваемого им мощного электромагнитного поля. Величина напряжений и пиковых токов, возникающих от таких разрядов обычно меньше, чем от прямого разряда, однако частота их появления намного выше.

3. Прямой разряд в систему молниезащиты или в отдельные части здания конечного пользователя (металлоконструкции, водопроводы, трубы отопления и воздуховоды системы кондиционирования, шахты лифтов и т.д.). Такие разряды оказывают действие двух видов: индуктивное, вызванное токами разряда, протекающими в токопроводящих частях здания, и в виде импульса тока разряда молнии от здания в сеть низкого напряжения.

Причиной возникновения коммутационных импульсных напряжений могут являться переходные явления, вызванные разного рода коммутациями в электросети: включение, выключение, устранение короткого замыкания и т.д. Внезапное изменение в сети может спровоцировать затухающие колебания с высокими частотами (определенными резонансными частотами сети), до тех

пор, пока сеть не застабилизируется в своем новом устойчивом состоянии. Максимальное напряжение определяется главным образом моментом коммутации по отношению к напряжению питающей сети.[5] Наибольшее перенапряжение возникает, когда включение происходит при прохождении максимума синусоидой питающего напряжения.

Величина коммутационных импульсных напряжений зависит от многих параметров: от типа сети, вида коммутационной операции (включение, выключение), характера и величины нагрузок и т.д.

Отключение тока короткого замыкания также может вызывать большие перенапряжения. В этом случае при прерывании тока короткого замыкания, в индуктивных нагрузках запасается высокая энергия, и колебания могут происходить на нагрузочной стороне разомкнутого выключателя или предохранителя.

Частота колебаний в течение коммутаций определяется характеристиками сети и, как и в любом колебательном контуре, существует возможность возникновения резонансных явлений. В этих случаях могут возникать очень большие перенапряжения. Вероятность резонанса с гармониками, имеющими частоту питающей сети обычно низка. Однако, если характеристическая частота коммутируемой части сети близка к одной или более резонансным частотам остальной части сети, то также может возникнуть состояние переходного резонанса.

Импульсы, зафиксированные в наружных сетях, имели как колебательный, так и однонаправленный характер. Поскольку главной характеристикой импульса является его энергия, то выбранная форма волны должна соответствовать большей энергии, чем для внутренних импульсов.

Выбор формы волны, применяющейся в конкретных условиях для моделирования стандартных импульсов, чрезвычайно важно для правильной конструкции защитных устройств, а также их проверки на соответствие требуемым параметрам защиты.

В зависимости от места установки и способности пропускать через себя различные импульсные токи УЗИП делятся на следующие классы - A, B(I), C(II), и D(III). В таблице 1 подробно описаны классы защиты

Например, рекомендуемый УЗИП для частного дома рекомендуется установка I+II+III класса защиты[2].

Таблица 1.

Категории размещения электрооборудования

Класс	**Назначение защитного устройства**	**Место установки**	**Основные требования, предъявляемые к устройству**	**Импульсный ток, пропускаемый устройством при срабатывании**
B(I)	Для защиты от прямых ударов молнии в здание, мачту, ЛЭП (категория перенапряжения IV).	На вводе в здание (во вводном щите) или в главном распределительном щите.	– Защита от импульсных перенапряжений с большой энергией (прямых ударов молний, мощных бросков напряжений в режимах короткого замыкания).	В соответствии с требованиями: - 1 класс защиты УЗИП - E DIN VDE 0675-6/A1/ 03-96 (таблица 4) (при импульсе 10/350 мкС Iimp = 0,5 - 50 кА) - IEC 1643 - 1 (37A/44/CDV:1996-03)
C(II)	Для защиты электросети от коммутационных помех, как вторая ступень защиты при ударе молнии (категория перенапряжения III).	Распределительные щиты.	– Защита от синфазных перенапряжений (между фазой и землей, нейтралью и землей). – Требуется защита от прямого прикосновения.	В соответствии с требованиями: - УЗИП 2 класса защиты - E DIN VDE 0675-6/11-89 (таблица 6) (при импульсе 8/20 мкС Isn = 5 кА) - IEC 1643-1 (37A/44/CDV:1996-03)
D(III)	Для защиты потребителей от остаточных бросков напряжений, фильтрация помех (категория перенапряжения II).	Розетки, оконечные защитные устройства (фильтры и т.п.)	– Защита от дифференциальных перенапряжений (между фазой и нейтралью). – Требуется защита от прямого прикосновения.	В соответствии с требованиями: - УЗИП 3 класса защиты - E DIN VDE 0675-6/11-89 (таблица 6) (при импульсе 8/20 мкС Isn = 1,5 кА) - IEC 1643-1 (37A/44/CDV:1996-03)

Поскольку возникновение импульсных напряжений является серьезной проблемой, последствия которой могут быть выражены в денежном выражении размером ущерба от выхода из строя дорогостоящего оборудования и не менее дорогостоящей информации, то чрезвычайно важным становится вопрос об адекватной защите чувствительного электрооборудования.[6]

Для защиты от импульсов напряжения применяются устройства, принцип действия которых основан на ограничении амплитудного значения импульсного напряжения и на отводе избыточной энергии в землю. Получив опасный импульс, устройство защиты от импульсных напряжений заземляет входную точку защищаемого оборудования, направляя энергию импульса по пути с наименьшим сопротивлением в землю, где он и поглощается.

Выбор требуемой конструкции устройства защиты от импульсных напряжений является важной задачей, поскольку сама природа события не позволяет предсказать заранее размер предполагаемого импульса: он может иметь широкий диапазон амплитуды, длительности и энергии.

Следует заметить, что основным элементом любой защиты от импульсных напряжений является хорошее заземление, поскольку очень часто чувствительное оборудование подвергается воздействию импульсов не столько из-за отсутствия защищающего устройства, сколько вследствие плохо выполненного заземления.

Защита от импульсных напряжений может осуществляться с помощью разрядников, устройств защиты от импульсных напряжений, а также ИБП, имеющих в своем составе защитные устройства. В зависимости от критичности нагрузки возможно применение, как некоторых устройств, так и всего их перечня.

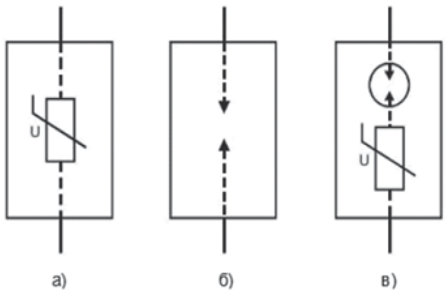

Рисунок 2. а) Варистор. б) Искровой разрядник. в) Ограничитель импульсных перенапряжений (газонаполненныйразрядник+варистор)

Варистор — полупроводниковый резистор, электрическое сопротивление (проводимость) которого нелинейно зависит от приложенного напряжения, то есть обладающий нелинейной симметричной вольт-амперной характеристикой и имеющий два вывода.[4] Обладает свойством резко уменьшать своё сопротивление с миллиардов до десятков Ом при увеличении приложенного к нему напряжения выше пороговой величины[1]. При дальнейшем увеличении напряжения сопротивление уменьшается ещё сильнее. Благодаря отсутствию сопровождающих токов при скачкообразном изменении приложенного напряжения, варисторы являются основным элементом для производства устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП).[2]

Искровой разрядник - Конструкция типичного искрового разрядника содержит в себе следующие основные элементы: герметичную камеру, заполненную газом, электроды, устройство гашения дуги.[5] Когда напряжение на электродах не выше порогового значения, разрядник находится в состоянии покоя. Внутреннее сопротивление (до 1 ГОм) в этом режиме можно считать бесконечно большим. При увеличении напряжения выше порогового значения на электродах в газе возникает сначала тлеющий разряд, в результате чего напряжение на выводах падает до 80 В. При этом газ разогревается, растет ток через него, что быстро приводит к возникновению дугового разряда, когда внутри устройства образуется плазменный канал низким сопротивлением. После перехода в данное состояние через разрядник протекает значительный ток (до 150 килоампер), а напряжение на выводах падает до значения около 20 В.

Газонаполненные разрядники. Представляют собой устройства с двумя или более электродами, разделенными газовым промежутком.[6] Электроды изготавливаются из специального сплава и помещаются в газонепроницанмые керамические корпуса, заполненные инертным газом (например, аргоном или неоном).[2] Один из электродов подключается к проводу защищаемой линии, а другой - к заземлению. Защитное действие основано на пробое газового промежутка волной перенапряжения, при котором провод соединяется с заземлителем. Как только напряжение достигает напряжения пробоя, сопротивление резко падает (с очень высокой величины (>1 ГОм) почти до нуля (0.1 Ом)) и из-за ионизации газа происходит дуговой разряд. После окончания воздействия перенапряжения разрядник должен разорвать соединение защищаемой цепи с заземлителем. Достоинство газонаполненного разрядника в его большой токоотводящей способности (рассчитан на пропускание импульсных токов Iimp(10/350) до 100 кА) при малом размере, однако возможности его применения ограничиваются низкими значениями сопровождающего тока If (до 100 А).

Причины возникновения импульсных напряжений в системах электроснабжения рассмотрены с позиций теории возникновения перенапряжений электросетях. Поскольку импульсное напряжение является частным случаем перенапряжения в сети, что следует из идентичности их основных характеристик, условия возникновения перенапряжений всегда необходимы, но не всегда достаточны для возникновения опасных импульсных напряжений [6]. Хотя не всегда явления, вызывающие перенапряжения, могут привести к возникновению опасных импульсных напряжений, однако случайное наложение ряда событий является далеко не редким явлением и может повлечь за собой возникновение опасных значений импульсных напряжений. Современные устройства защиты позволяют ограничить перенапряжения, что позволяет работать аппаратуре разных видов деятельности должным образом.

Использованные источники:

1. ГОСТ 32144-2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения;

2. Каталог ОПН типа ОПН/TEL [Текст] // - М.: РК «Таврида Электрик». – 2007. – с.200;

3. Большая энциклопедия техники: сайт онлайн библиотеки. [Электронный ресурс]. URL: https://litra.info/book/bolshaya-entsiklopediya-tekhniki/page-822.html (дата обращения: 10.06.2020);

4. Радиоэлектроника, схемы, статьи и программы для радиолюбителям: сайт. [Электронный ресурс]. URL:radiostorage.net/1419-varistory-princip-raboty-tipy-i-primenenie.html (дата обращения: 10.06.2020);

5. Заземлено и защищено: сайт Технического Центра ZANDZ.com. [Электронный ресурс]. URL: zandz.com/ru/biblioteka/kak-rabotayut-iskrovye-razryadniki (дата обращения: 10.06.2020);

6. Гаврилова, Е.В. Совершенствование методов оценки, прогнозирования и средств ограничения коммутационных перенапряжений в системах электроснабжения 6-10 кВ [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.02 / Гаврилова, Екатерина Владимировна.- Красноярск, 2011.- 178 с.: ил. РГБ ОД, 61 11-5/2570.