

## **Оценка защищенности оборудования распределительных устройств 35-750 кВ от грозовых перенапряжений**

к.т.н. Дмитриев М.В.

ЗАО «Завод энергозащитных устройств», Санкт-Петербург

### **Введение**

Анализ грозовых перенапряжений на оборудовании распределительных устройств (РУ) может проводиться одним из следующих способов:

- расчет перенапряжений и их сравнение с допустимыми для изоляции оборудования уровнями, которые принимаются несколько ниже, чем испытательные напряжения изоляции по ГОСТ 1516.3-96;
- получение оценки числа лет безаварийной работы оборудования при грозовых перенапряжениях и ее сравнение с рекомендуемыми значениями, приведенными, например, в [1];
- сравнение расстояний от оборудования до защитных аппаратов с допустимыми по ПУЭ [2] значениями.

Вне зависимости от способа проведения анализа защищенности оборудования РУ от грозовых перенапряжений приходится сталкиваться с трудностями, некоторые из них изложены ниже.

### **Расчет перенапряжений и их сравнение с допустимыми уровнями**

В ГОСТ 1516.3-96 приведены испытательные напряжения оборудования разных классов напряжения, полученные для полной и срезанной грозовой волны. При этом параметры полной и срезанной волн регламентируются этим ГОСТ.

При расчетах грозовых перенапряжений воздействующие на изоляцию оборудования перенапряжения имеют различные максимальные значения и форму импульсов. Корректная оценка допустимости воздействия на изоляцию оборудования импульсов грозовых перенапряжений произвольной формы затруднена, так как в ГОСТ 1516.3-96 рассмотрены всего две формы грозовых импульсов напряжения на изоляции, имеющих мало общего с реальными воздействующими. Кроме того, не ясно, каким образом корректно учесть то, что оборудование в цикле испытаний подвергается воздействию незначительного числа грозовых импульсов напряжения, а в эксплуатации число грозовых импульсов на изоляции может быть заметно больше.

### Расчет числа лет безаварийной работы $M$ и сравнение с допустимым

Общепринятой оценкой надежности защиты оборудования от грозовых перенапряжений является число лет безаварийной работы оборудования  $M$ . Рекомендуемые [1] показатели надежности грозозащиты наиболее дорогого и ответственного подстанционного оборудования (силовых трансформаторов, автотрансформаторов и шунтирующих реакторов) приведены ниже

$U_{\text{ном}}$ , кВ	110	220	330	500	750
$M$ , годы	300– 400	400– 600	600– 800	800– 1000	1000– 1200

Многие подстанции (ПС) имеют несколько РУ различных классов напряжения, соединенных автотрансформаторной связью. Предположим, что на ПС установлен автотрансформатор 500/220 кВ. Согласно [1] для основного оборудования РУ 500 кВ (силовых трансформаторов) надежность защиты от грозовых перенапряжений должна быть не хуже  $M = 800 \div 1000$  лет. По [1] для основного оборудования 220 кВ (обмотка 220 кВ того же автотрансформатора) надежность защиты от грозовых перенапряжений должна быть не хуже  $M = 400 \div 600$  лет. Как видно, из [1] получается, что надежность защиты от грозовых перенапряжений одного и того же трансформатора со стороны 220 кВ может быть принята в два раза ниже, чем со стороны 500 кВ!

Учитывая изложенную некорректность в анализе надежности защищенности оборудования от грозовых перенапряжений по [1], а также большое число влияющих на результаты расчетов  $M$  исходных данных, достоверное знание и задание которых невозможно, едва ли есть необходимость в получении конкретного значения числа  $M$ . В большинстве случаев достаточно оценить порядок величины  $M$ . В использовании методики построения кривой опасных волн, описанной в [2], и определении «точного» значения числа  $M$ , получаемого зачастую сильно заниженным, необходимости нет.

Схемы защиты оборудования РУ от грозовых перенапряжений таковы, что наиболее близко защитные аппараты расположены к обмоткам силовых трансформаторов и автотрансформаторов. Это означает, что перечисленное оборудование является наиболее защищенным и, как правило, защищенность этого оборудования с запасом удовлетворяет рекомендациям [1]. При этом общий уровень защищенности РУ от грозовых перенапряжений определяется «второстепенным» оборудованием, которое наиболее удалено от защитных аппаратов – например, трансформаторы тока и напряжения, конденсаторы связи, установленные на присоединенных воздушных линиях (ВЛ). Именно необходимость повышения защищенности «второстепенного» оборудования приводит к установке в РУ дополнительных защитных ОПН, размещенных, например, в линейных ячейках или на сборных шинах у измерительных

трансформаторов напряжения. Поэтому важно верно оценивать достаточность защищенности «второстепенного» оборудования от грозовых перенапряжений, т.е. сравнивать результаты расчетов защищенности этого оборудования с рекомендуемыми уровнями. Однако тут возникают проблемы, связанные с тем, что в [1] указаны рекомендуемые уровни защищенности основного оборудования РУ, т.е. трансформаторов и автотрансформаторов. Для прочего оборудования в [1] отмечается, что защищенность может быть ниже, чем для основного оборудования. Однако в [1] не указано, на сколько именно ниже, что делает получение оценок защищенности оборудования РУ бессмысленным (сопоставлять не с чем).

### **Сравнение расстояний с допустимыми по ПУЭ**

В ПУЭ [3] для различных схем РУ приведены допустимые расстояния от оборудования до защитных аппаратов. В качестве защитных аппаратов ПУЭ рассматривает один или два вентильных разрядника. Вместе с тем в РУ многих ПС установлено более двух защитных аппаратов, что затрудняет использование данных ПУЭ для оценок защищенности оборудования от грозовых перенапряжений таких ПС.

Вентильные разрядники (РВ) сняты с производства и постепенно заменяются на современные ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН). Требования ПУЭ 6-й редакции не распространялись на случаи использования ОПН в качестве защитных аппаратов, однако в 7-й редакции ОПН уже есть. Для того, чтобы использовать требования ПУЭ, изначально сформулированные для случая вентильных разрядников, для схем РУ с установленными ОПН в 7-й редакции осуществляется пересчет допустимых расстояний от оборудования до защитных аппаратов, в основе которого лежит соотношение остающихся напряжений разрядника и ОПН. Такой пересчет выполняется на основе линейной экстраполяции данных ПУЭ, т.е. в предположение, что снижение остающегося напряжения ОПН по сравнению с разрядником приводит к пропорциональному увеличению допустимых расстояний до оборудования. Проведенные исследования грозовых перенапряжений для РУ нескольких десятков ПС 35-750 кВ на территории России показали, что допустимые расстояния между защищаемым оборудованием и защитными аппаратами сильно нелинейно зависят от остающегося напряжения на защитном аппарате. Широко распространенный линейный пересчет расстояний (увеличение расстояний при замене РВ на ОПН) приводит к серьезному занижению защищенности оборудования! Кроме того, допустимые расстояния зависят от того, в какой последовательности находится защищаемое оборудование и защитный аппарат по ходу набегающей грозовой волны (кто первым встречает волну – ОПН или защищаемое оборудование). Учет указанного фактора в ПУЭ по непонятным причинам не производится.

Можно показать, что на каждой из присоединенных к РУ 220 кВ воздушных линий 220 кВ в непосредственной близости от РУ возможно одно обратное перекрытие за 200-300 лет, т.е. 2-3 раза за нормируемый срок  $M = 400 \div 600$  лет безаварийной работы оборудования 220 кВ при грозовых перенапряжениях. Поэтому надежность защиты оборудования РУ от грозовых перенапряжений определяется надежностью защиты от грозовых волн, вызванных близкими к ПС обратными перекрытиями на ВЛ 220 кВ (а также 35 и 110 кВ), и не должна зависеть от длины защищенного подхода ВЛ к ПС (если длина этого подхода более  $0.5 \div 1.0$  км). Вместе с тем, в ПУЭ имеет место существенный рост допустимых расстояний между оборудованием и защитными аппаратами при увеличении длины защищенного подхода ВЛ.

В ПУЭ допустимые расстояния между оборудованием и защитными аппаратами никак не зависят от сопротивления заземления опор ВЛ на подходах к ПС. Указано лишь, что в зависимости от удельного сопротивления грунта (до  $100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ,  $100-500 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , более  $500 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ) сопротивление заземления опор должно быть не более 10, 15 или 20 Ом.

В [4] утверждается, что требования ПУЭ были сформулированы на основе расчетов, которые проведены для нулевого сопротивления заземления опор. Однако несложно показать, что получаемая надежность защиты оборудования РУ 35-220 кВ от грозовых перенапряжений существенно зависит от сопротивления заземления ближайших к РУ опор, снижаясь с ростом сопротивления заземления (в меньшей степени это справедливо для РУ 330-750 кВ). Требования ПУЭ этого никак не отражают, а расстояния по ПУЭ, будучи полученными при нулевых сопротивлениях заземления опор, являются завышенными.

Кроме того, число лет безаварийной работы оборудования РУ, очевидно, прямо пропорционально числу грозовых часов в году, т.е. активности грозовой деятельности в районе ПС. Требования ПУЭ не зависят от числа грозовых часов в году, что качественно неверно. Согласно [4] требования ПУЭ получены при 30 грозовых часах в году. Вместе с тем, число грозовых часов во многих районах России более 50-60 часов. Это означает, что требования ПУЭ не только качественно, но и количественно неверны и требуют пересмотра (допустимые расстояния будут снижены по сравнению с приведенными в ПУЭ значениями).

Требований ПУЭ к схемам защиты оборудования РУ от грозовых перенапряжений не пересматривались с 1961 года, т.е. более 40 лет. Вместо кардинального пересмотра требований ПУЭ в настоящее время их корректируют на случаи использования в качестве защитных аппаратов современных ОПН, что приводит к дополнительному увеличению (так как остающееся напряжение большинства ОПН ниже, чем у разрядников РВС и РВМГ) и без того завышенных допустимых расстояний.

### **Заключение**

Существует несколько подходов к оценке защищенности оборудования распределительного устройства от грозовых перенапряжений. Основными подходами являются:

- проведение расчетов перенапряжений в условиях каждой конкретной ПС и сравнение полученных оценок защищенности оборудования с рекомендуемыми для данного класса напряжения значениями;
- сравнение расстояний от оборудования до защитных аппаратов с допустимыми расстояниями для данного класса напряжения и данной главной схемы соединения оборудования.

В настоящее время перечисленные подходы к оценке грозоупорности имеют большое число недостатков, которые требуют устранения:

- необходимо сформулировать рекомендации по минимально допустимым уровням защищенности от грозовых перенапряжений изоляции второстепенного (не основного) оборудования РУ 35-750 кВ по аналогии с тем, как это сделано в [1] для основного оборудования, т.е. для силовых трансформаторов, автотрансформаторов и шунтирующих реакторов;
- необходимо кардинально пересмотреть требования ПУЭ к расстояниям от защитных аппаратов до защищаемого оборудования: расстояния должны зависеть от числа грозовых часов в районе ПС, от сопротивления заземления опор ВЛ на подходах к ПС, от остающегося напряжения на защитных аппаратах.

### **Литература**

- [1] РАО «ЕЭС России». «Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений». Санкт-Петербург, Издательство ПЭИПК, 1999.
- [2] Костенко М.В., Ефимов Б.В., Зархи И.М., Гумерова Н.И. «Анализ надежности грозозащиты подстанций». – Л.: «Наука», 1981.
- [3] Правила устройства электроустановок. 7-е издание.
- [4] Гумерова Н.И. «Проектирование грозозащиты ОРУ станций и подстанций». – Сборник докладов восьмой российской научно-технической конференции по электромагнитной совместимости и электромагнитной безопасности, С-Пб, 2004.