

## Защита силовых трансформаторов систем электроснабжения от атмосферных перенапряжений

### Энергетика и энергетическое машиностроение

Велиева Т.Д.

*Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности*  
E-mail: veliyeva.tarana@mail.ru

Рассмотрены схемы защиты трансформаторов от волн импульсных напряжений, набегающих с линий электропередач, и применение соответствующих технических средств защиты при прорыве молнии на токоведущие части: вентильных разрядников и нелинейных ограничителей перенапряжений.

*Ключевые слова:* трансформатор, атмосферные перенапряжения, подстанция, защита оборудования, нелинейный ограничитель напряжения, электромагнитный колебательный процесс.

#### Введение

Во время эксплуатации электрическое оборудование подстанций (ПС) подвергается воздействию как рабочего напряжения, так и воздействию внутренних и внешних перенапряжений, которые непродолжительны по времени действия, но могут быть опасными для изоляции действующего электрооборудования. Подобные процессы могут возникнуть вследствие электромагнитных колебательных процессов, вызванных изменением режима работы электрических цепей и при разрядах молнии [1,2].

Защиту высоковольтного электрического оборудования подстанций от возможных грозовых (атмосферных) и коммутационных перенапряжений обеспечивают: от прямых ударов молнии (ПУМ) – установкой стержневых и тросовых молниеотводов; от набегающих волн с отходящих электрических линий – установкой молниеотводов (от прямых ударов молнии на эти линии) и защитными аппаратами, которые устанавливаются на подходах и в распределительных устройствах (РУ), и к которым относятся разрядники вентильные (РВ) и ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН).

#### Постановка задачи

При прямых ударах молнии в линии электропередачи (ЛЭП) или при разрядах в землю вблизи ЛЭП, на проводах линии возникают импульсные волны перенапряжений, которые распространяются от точки возникновения в обе стороны и, испытывая искажение и затухание, доходят до подстанции (рис.1).

По правилам устройств электроустановок (ПУЭ), любая подстанция защищается от набегающих с ЛЭП волн перенапряжений вентильным разрядником или нелинейным ограничителем перенапряжений [3]. Защитные характеристики РВ или ОПН выбираются таким образом, чтобы после их срабатывания импульсная волна перенапряжений имела безопасный уровень для изоляции высоковольтного электрооборудования подстанции (силовые трансформаторы, выключатели, разъединители, трансформаторы напряжения и тока и др.). Таким образом, при надежной работе защитных устройств (РВ или ОПН) на обмотку трансформатора воздействует ослабленная импульсная волна перенапряжений.

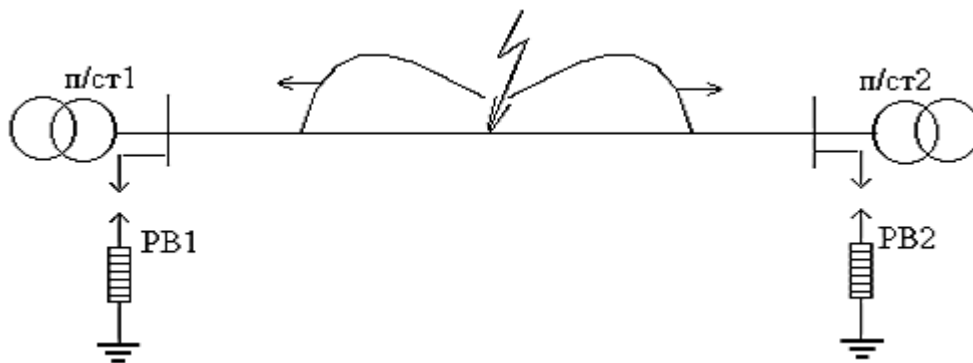


Рис.1. Возникновение волн перенапряжений на линиях электропередачи

Однако и эта ослабленная волна представляет большую опасность для изоляции подстанционного оборудования. Под воздействием импульса волны напряжения в обмотках трансформатора возникает переходный электромагнитный процесс, приводящий к местным перенапряжениям в изоляции. Поэтому необходимо обеспечение их дополнительной защиты от данных явлений.

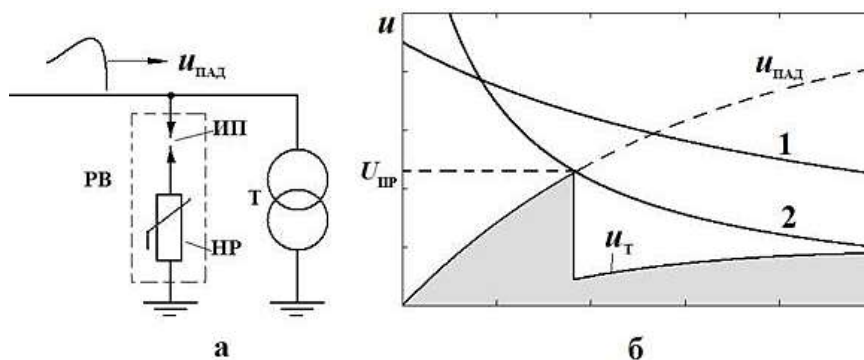


Рис. 2. Принципиальная схема защиты трансформатора с использованием вентильного разрядника (а); согласование вольт-секундных характеристик трансформатора и вентильного разрядника (б)

Вентильный разрядник подключается параллельно к защищаемому объекту – трансформатору Т (рис. 2а).

Вольт-секундная характеристика (2) вентильного разрядника с учётом разброса его параметров должна располагаться ниже вольт-секундной характеристики (1) защищаемой изоляции (рис. 2.б). Включение искровых промежутков в защитную цепь необходимо, так как рабочие резисторы обладают недостаточным коэффициентом нелинейности. Напряжение срабатывания разрядника значительно повышается за счёт включения искрового промежутка, и как следствие, повышается и напряжение срабатывания на защищаемом объекте.

### Решение задачи

Для того чтобы улучшить защитные характеристики разрядника и отказаться от искровых промежутков, необходимы резисторы с резко нелинейными вольтамперными характеристиками и достаточной пропускной способностью [4]. Такие резисторы позволяют отказаться от искровых промежутков, и тем самым создают условия для обеспечения глубокого ограничения значения перенапряжений, и позволяют удешевлять изоляцию защищаемой электроустановки.

Высоко-нелинейные резисторы на основе оксида цинка с применением оксидов других металлов, получили название оксидо-цинковых резисторов (ОЦР). Средства с высоко-

нелинейными оксидо-цинковыми резисторами, которые глубоко ограничивают значения перенапряжений, называются ОПН – ограничители перенапряжений нелинейные (схема установки показана на рис.3). В сетях 110 кВ при помощи ОПН удаётся ограничить уровень грозовых перенапряжений вплоть до  $(2,2-2,4)U_{\phi}$ , а в сетях 750 кВ это значение понижается до  $2U_{\phi}$ .

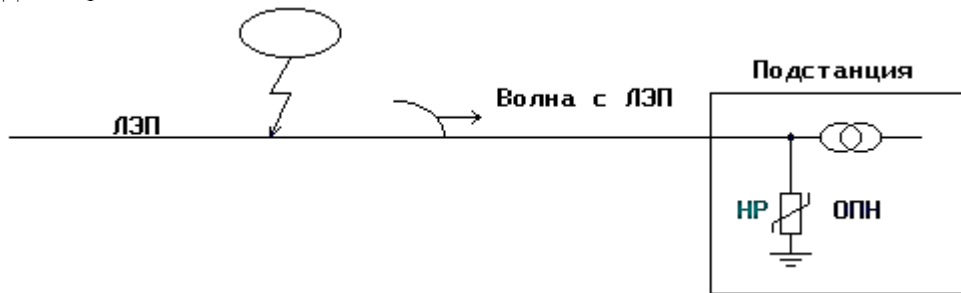


Рис.3. Защита электрооборудования подстанции ограничителем перенапряжений

По правилам устройств электроустановок, защитные устройства на ПС устанавливаются на определённых местах распределительных устройств. При этом типовой принимается схема, изображённая на рис.4.

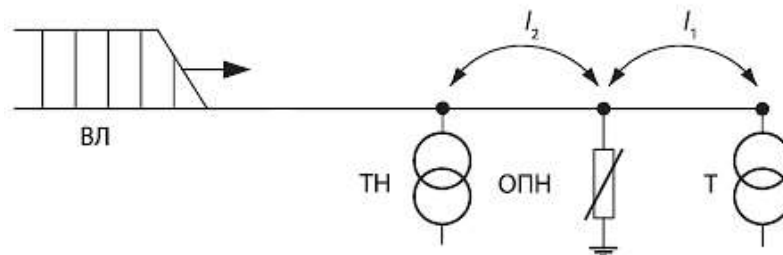


Рис. 4. Типовая схема грозозащиты подстанции

**Анализ полученных результатов.** Каскадная схема расстановки ОПН является наиболее эффективной схемой защиты изоляции электрооборудования от грозовых перенапряжений (рис.5). Эта схема предполагает, что ОПН должны размещаться у выводов каждого трансформатора и на входах в РУ каждой присоединённой высоковольтной линии вблизи от линейного измерительного трансформатора напряжения (ТН), как показано на рис.5 и рис.6.

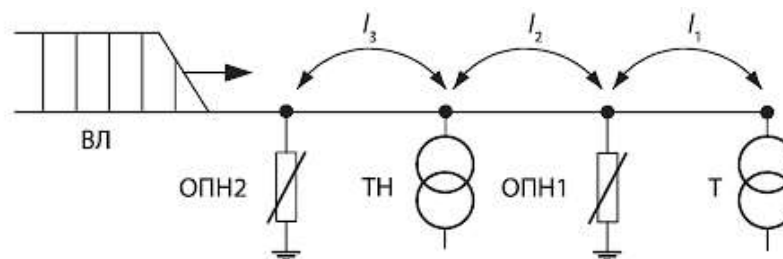


Рис.5. Каскадная схема грозозащиты подстанции

Таким образом, ОПН, устанавливаемые на подходах к РУ, совместно с ОПН, которые размещают у силовых трансформаторов, образуют каскадную схему, которая эффективно защищает изоляцию электрического оборудования РУ от грозовых перенапряжений. Эффективность данной каскадной схемы защиты больше всего зависит от того, как устанавливают ОПН на подходах к РУ: либо размещаются на земле и присоединяются к контуру заземления РУ, либо закрепляются на входной опоре воздушной линии и заземляются на неё (как показано на рис.6).

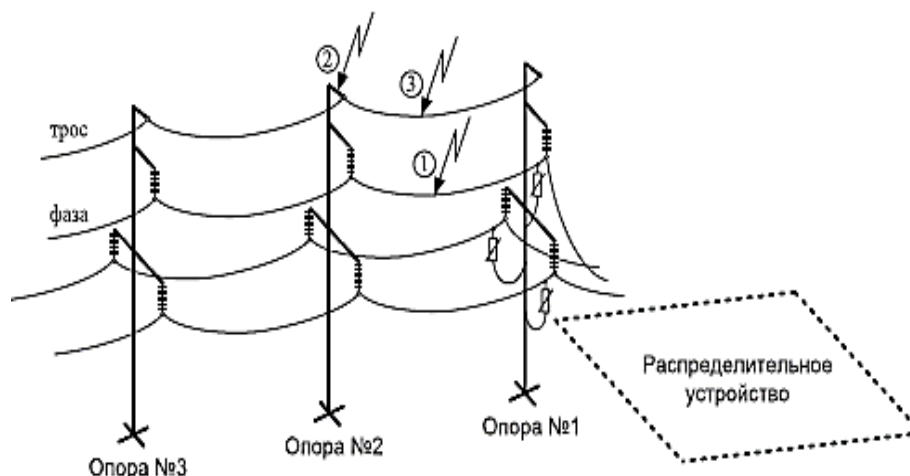


Рис. 6. Каскадная схема грозозащиты подстанции

Очевидным недостатком подвешенного исполнения ОПН (рис.7), который размещается высоко над землёй на опоре воздушной линии, является увеличенная длина пути тока в землю, а, следовательно, и увеличенная индуктивность цепи подключения ОПН (рис.7в) по сравнению с тем, когда ОПН размещается под ошиновкой РУ на земле. В цепи ОПН индуктивность даёт дополнительное падение напряжения. В месте подключения ОПН к фазному проводу эта же индуктивность увеличивает напряжение, и таким образом снижается общая эффективность ограничения значения перенапряжений на изоляции электрического оборудования [5].

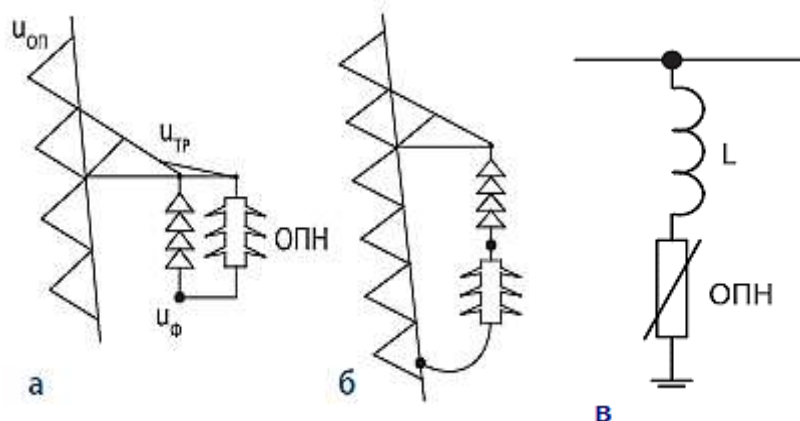


Рис.7. Размещение ОПН на входной опоре воздушной линии и наличие индуктивности в цепи:  
 а) жесткое крепление ОПН на траверсу; б) подвес ОПН на фазный провод; в) индуктивность и ОПН в цепи присоединения

Для того, чтобы организовать каскадную схему защиты электрического оборудования от возможных перенапряжений на подходах к РУ, нужно установить ОПН. Предпочтение в этом случае следует отдать ОПН, которые размещаются на земле.

### Заключение

Исследованы два варианта защиты силовых трансформаторов от волн перенапряжений – применение вентильных разрядников и ограничителей перенапряжений нелинейных. Хотя РВ имеют аналогичный принцип действия с ОПН, из-за низкой нелинейности вольтамперной характеристики в их конструкции присутствуют и искровые промежутки. Большая нелинейность резисторов ОПН позволяет полностью отказаться от искровых промежутков, что делает их более эффективными.

### Литература

1. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 261 с.
2. Герасименко А.А. Передача и распределение электрической энергии. / Изд-е 2-е. – Ростов н/Д: Феникс, 2008. – 715 с.
3. Куско Ю.А., Томпсон М. Качество энергии в электрических сетях. – М.: Додэка-XXI, 2008. – 336 с.
4. Владимиров Ю.В., Шумилина Ю.В. Исследование влияния высших гармоник тока на различные типы силовых трансформаторов напряжением 6-ЮкВ. // Вестник Национального технического университета ХПИ. – 2011, №3. – С.36-40.
5. Малахова Т. Ф. Электробезопасность в электроэнергетике. // Учебное пособие. – Кемерово, 2016. – 129 с.

### Xülasə

**Vəliyeva T.D.**

#### **Elektrik təchizatı sistemlərinin güc transformatorlarının ifrat atmosfer gərginliklərindən mühafizəsi**

Transformatorun elektrik ötürücü xətti tərəfindən yığılan impulsu gərginlik dalğalarından mühafizəsi sxemlərinə, həmçinin ildırım zamanı müvafiq texniki qorunma vasitələrin: ventilli qoruyucular və qeyri-xətti məhdudlaşdırıcıların tətbiqinə baxılmışdır.

*Açar sözlər:* transformator, ifrat atmosfer gərginlikləri, yarımstansiya, avadanlığın qorunması, qeyri-xətti gərginlik məhdudlaşdırıcısı, elektromaqnit dəyişmə prosesi.

### Summary

**Veliyeva T.D.**

#### **Protection of the power supply systems power transformers from atmospheric overvoltages**

Protection of transformers from pulse wave voltages impinging with power lines, and the use of appropriate technical means of protection when breakthrough zippers on electrical parts: valve dischargers and non-linear overvoltage limiters, have been considered.

*Keywords:* transformer, atmospheric overvoltages, substation, equipment protection, non-linear voltage limiter, electromagnetic resonant process.