



## S7-4: Relay protection reliability



### Проблемы защиты входных цепей аппаратуры РЗА от мощных импульсных перенапряжений

КУЗНЕЦОВ М. Б., КУНГУРОВ Д. А., МАТВЕЕВ М. В., ТАРАСОВ В. Н.  
ООО «ЭЗОП»  
Россия  
[ezop@ezop.ru](mailto:ezop@ezop.ru)

#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Вторичные цепи, импульсные помехи, перенапряжения, молния, релейная защита, экранирование, заземление, устройства защиты от импульсных перенапряжений

Современная аппаратура (РЗА, АСКУЭ, АСУ ТП), получающая сигналы от измерительных трансформаторов тока и напряжения, является восприимчивой к воздействию электромагнитных помех. Как показывают исследования, уровни импульсных перенапряжений на электрических станциях и подстанциях России и СНГ, в ряде случаев значительно превосходят уровни испытательных воздействий, на устойчивость к которым испытывается современная аппаратура [6,7].

В данной работе рассматриваются результаты экспериментов, проводившихся ООО «ЭЗОП» в 2006 г., направленных на проверку эффективности защиты вторичных цепей аппаратуры РЗА.

#### **1. Молниевые разряды. Общая характеристика и пути воздействия на аппаратуру.**

Молниевые разряды являются мощными источниками импульсных перенапряжений, действующих на ЭС и ПС [1]. Далее нами будут рассматриваться импульсные помехи, вызванные молниевыми разрядами. Принципы защиты от импульсных помех, порожденных, другими источниками, в целом аналогичны.

Предполагается, что система молниезащиты на ЭС и ПС обеспечивает достаточно надежную защиту основного оборудования и вторичных цепей от прямого удара молнии. Как показывает практика, на большинстве ЭС и ПС основная проблема заключается в том, что при разрядах в существующие молниеотводы, в сигнальных цепях наводятся мощные электромагнитные помехи. Влияние вторичных проявлений молнии практически не учитывалось в НТД, согласно которой велось проектирование подавляющего большинства находящихся на сегодня в эксплуатации объектов. В результате, например, трассы сигнальных кабелей и измерительные трансформаторы часто располагаются практически рядом с молниеприемниками и ограничителями перенапряжений.

При грозовом разряде в молниеотвод на территории ЭС (ПС) возникают мощные электромагнитные помехи. Влияние этих помех на аппаратуру, по входам

цепей от измерительных трансформаторов тока и напряжения происходит по следующим основным механизмам:

- При стекании тока на заземляющем устройстве (ЗУ) возникает зона повышенного импульсного потенциала, который выносится на заземление измерительных трансформаторов и далее по кабелям - на заземление электронной аппаратуры.
- При стекании импульса тока на ЗУ, происходит генерация импульсного электромагнитного поля. За счёт индуктивной и емкостной связи, в сигнальных цепях наводятся импульсы напряжения, распространяющиеся далее по кабелям до входов аппаратуры.

Можно показать, что импульс, индуцированный электромагнитным полем разряда, имеет форму проинтегрированного импульса тока молнии. При форме первичного импульса 10/350 мкс согласно МЭК (IEC 61024, 61312, 62305) [3], индуцированный импульс имеет форму 8/20 мкс.

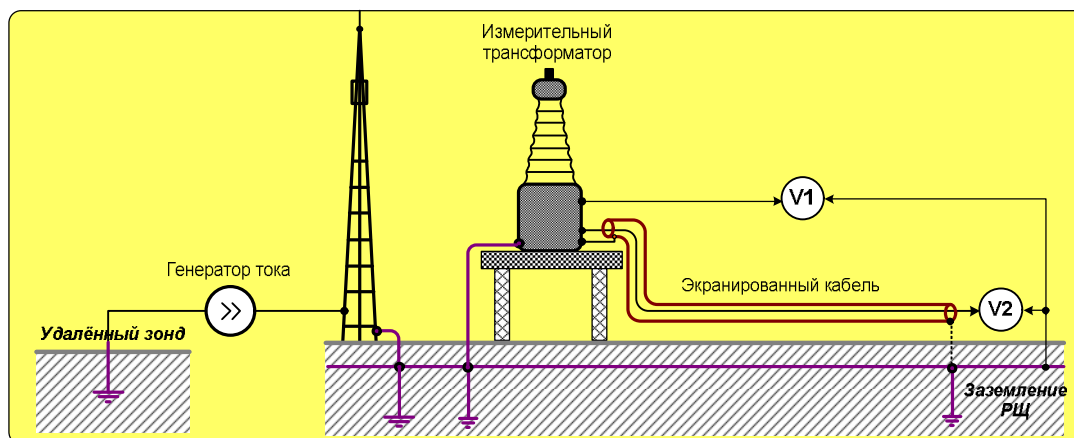
Поскольку сопротивление растеканию заземляющего устройства увеличивается с ростом частоты [2, 8], импульсный подъём потенциала ЗУ будет также отличаться от эталонной формы 10/350. В первый момент импульса тока 10/350 он будет иметь резкий всплеск, также похожий на импульс 8/20.

При совместном действии этих механизмов, в цепи измерительного трансформатора возникает мощная синфазная («провод-земля») помеха, в виде суперпозиции импульсов 8/20 и 10/350 мкс (составляющая 8/20, как правило, превалирует).

Применение кабелей с экраном, заземлённым с двух сторон, значительно уменьшает уровень этой помехи. Количественная оценка ослабления помехи экранированным кабелем зависит от множества факторов, корректно учесть которые в расчетной модели чрезвычайно сложно. Поэтому ответ на вопрос о величине перенапряжений, возникающих во входных цепях аппаратуры от вторичных проявлений молнии, могут дать только измерения на реальных объектах.

## **2. Результаты измерений на реальных объектах.**

Для имитации растекания тока молнии при разрядах в существующие молниеприёмники, был разработан специальный генератор импульсного тока молнии ЛУГ-1М. Данный генератор способен создавать импульс тока с характеристиками 10/350 мкс и амплитудой тока от 0,5 до 5 А.



**Рис.2. Схема испытаний.**

Импульсы тока прикладывались между молниеотводом и удалённым зондом. Цифровым осциллографом регистрировались импульсы напряжения помех в сигнальном кабеле и измерительной цепи, которые затем пропорционально пересчитывались к амплитуде импульса тока молнии 100 кА. Необходимо отметить, что нелинейные эффекты молниевое разряда при таком подходе не учитываются.

Для имитационного моделирования были выбраны цепи измерительного трансформатора (ИТ), одна из жил которого заземляется на ОРУ. При измерениях регистрировались импульсы напряжения **V1** между заземлением ИТ и заземлением РЩ (релейного щита) – по сути, помеха неэкранированной цепи. Также измерялась разность потенциалов **V2** между жилой кабеля и заземлением РЩ (т.е., помеха, приходящая на МП аппаратуру по схеме «провод-земля»).

На рис. 3 представлены результаты испытаний, проведённые на ПС 330 кВ и ПС 500 кВ.

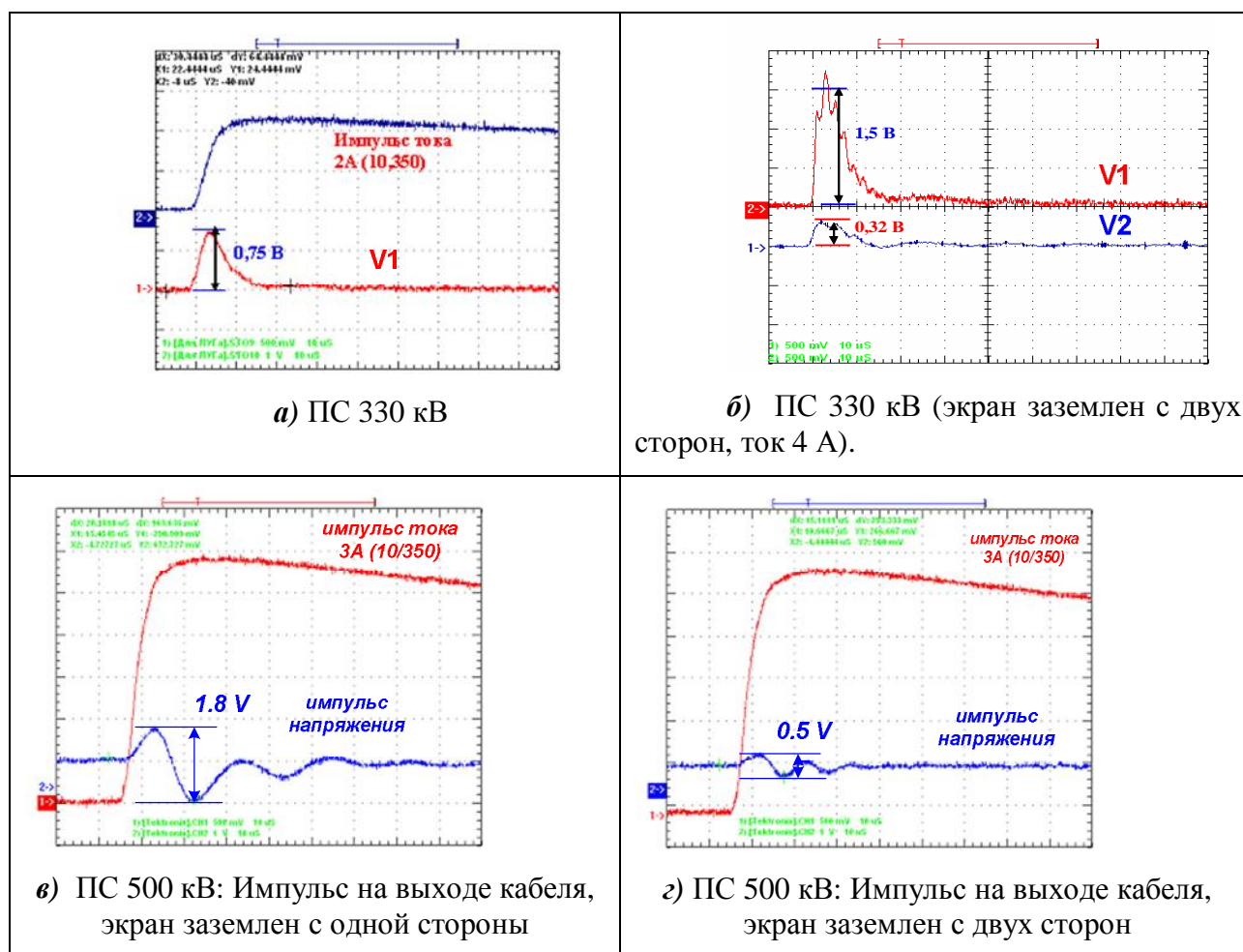


Рис. 3. Результаты моделирования грозового разряда на ПС.

На рис. 3 а) видно, что импульс напряжения между заземлением ИТ и заземлением РЩ, в пересчете на импульс тока 100кА, составит около 37 кВ. Импульс напряжения на выходе кабеля (рис. 3 б)) оказывается примерно в 5 раз меньше и составляет около 7 кВ, что все еще превосходит уровень устойчивости МП аппаратуры РЗА (обычно не более 4 кВ [4]).

Импульс напряжения между заземлением ИТ и заземлением РЩ, в пересчете на импульс тока 100кА, составит около 30 кВ. Заземление экрана кабеля с двух сторон

уменьшает пиковое значение напряжения помехи примерно до 8,2 кВ (рис. 3 г)), что также превосходит уровень устойчивости современной аппаратуры РЗА. Из графика рис. 3 в) видно, что протяжённый контур, образованный сигнальным кабелем и системой проводников и заземлителей на ПС 500, имеет собственную частоту колебаний около 50 кГц.

Таким образом, в рассматриваемых ситуациях имеется необходимость дальнейшего снижения уровня импульсных перенапряжений. Типовым решением по снижению импульсных перенапряжений является применение устройств защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП, SPD). На сегодня опыт использования УЗИП в цепях измерительных трансформаторов отсутствует, что обусловило необходимость проведения дополнительных исследовательских работ.

### 3. Результаты лабораторных экспериментов.

Моделирование последствий удара молнии производилось в лаборатории Всероссийского Электротехнического Института (ГУП ВЭИ) на базе установки ГИТ-100. Установка представляет собой классическую схему генератора импульсного тока и позволяет получать импульсы 8/20 мкс с напряжением до 100кВ и током до 30кА.

На изолирующем столе, имитирующем «землю ОРУ», располагался измерительный трансформатор напряжения (ТН). Сигналы с вторичной обмотки ТН по экранированному кабелю КВВГЭ идут на другой стол, соединённый с системой заземления здания, который имитирует «землю ОПУ». Экран кабеля «заземлён» с двух сторон. Точка X вторичной обмотки ТН, экран кабеля и корпус ТН соединены с «землёй ОРУ».

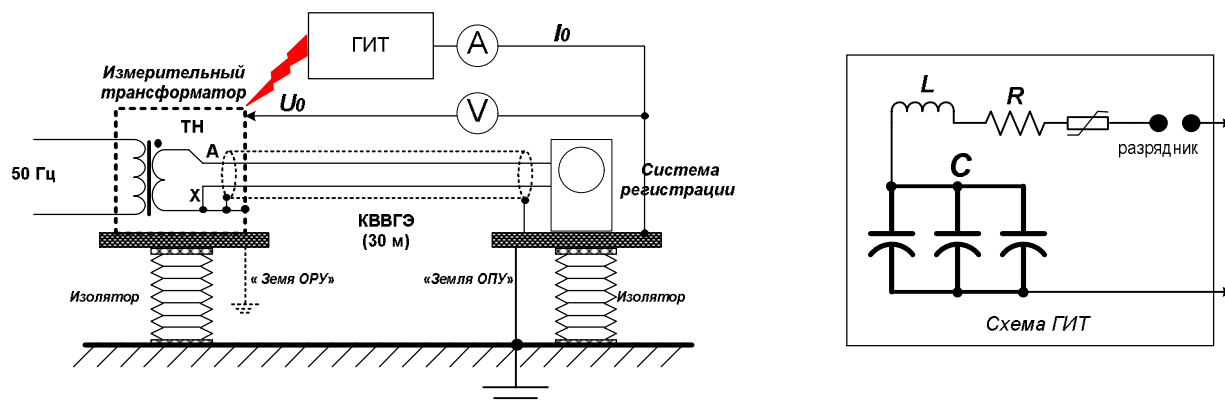


Рис.4. Схема лабораторной установки.

При испытаниях регистрировались осциллограммы импульсов тока ГИТ и напряжения между двумя условными точками: «землёй ОРУ» и «землёй ОПУ», а также токи и напряжения в жилах кабеля, подключенных к обмоткам ТН (при регистрации токов жилы временно заземлялись со стороны «ОПУ»). Осциллограммы снимались при различных напряжениях зарядки батареи конденсаторов  $U_0$  (до 50 кВ), что примерно соответствует ситуации на реальных объектах (Рис. 3 а)).

Как видно из графиков (см. Рис. 5), при подаче импульса тока, в системе возникали затухающие колебания, что согласуется с результатами имитационного моделирования.

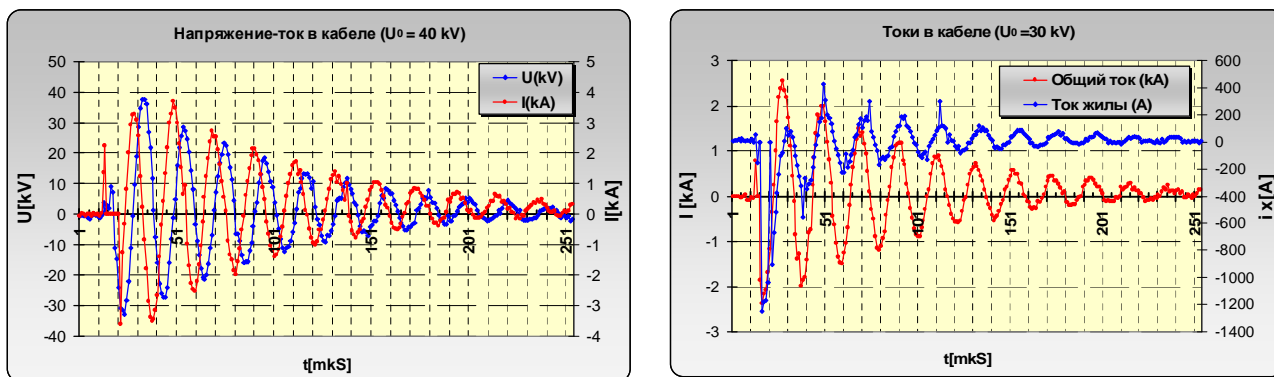


Рис.5. Осциллограммы тока и напряжения на входе кабеля.

Как видно из графиков рис.5, основной ток протекает по экрану кабеля. По жилам проходит не более 30% общего тока.

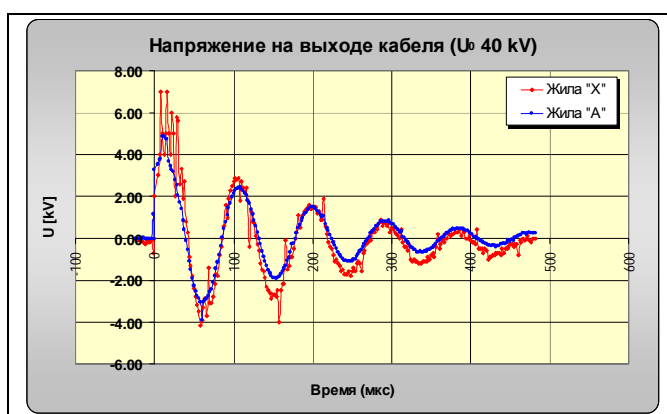


Рис.6. Осциллограммы напряжения на выходе кабеля.

На рис. 6 приведены осциллограммы напряжений на жилах «А» и «Х» на выходе кабеля. Как и при экспериментах на реальных ПС, амплитуда помех остается несколько выше допустимой для аппаратуры, что делает целесообразным использование УЗИП.

#### 4. Применение УЗИП для защиты аппаратуры РЗА.

На экспериментальной установке были испытаны стандартные УЗИП 2 ступени на базе варисторов фирмы DEHN DG-275 и DG-600, (последние имеют порог срабатывания более 500В, что должно предохранить их от повреждений при КЗ).

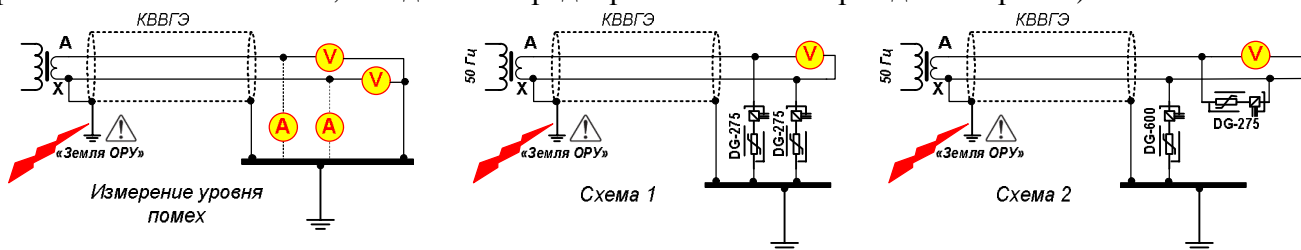


Рис. 7. Схемы испытаний УЗИП.

На первичную обмотку ТН подавалось высокое напряжение 50 Гц, а на точку «Земля ОРУ» подавались импульсы тока. Характеристики снимались при подключении УЗИП по схемам 1 и 2 (Рис. 7).

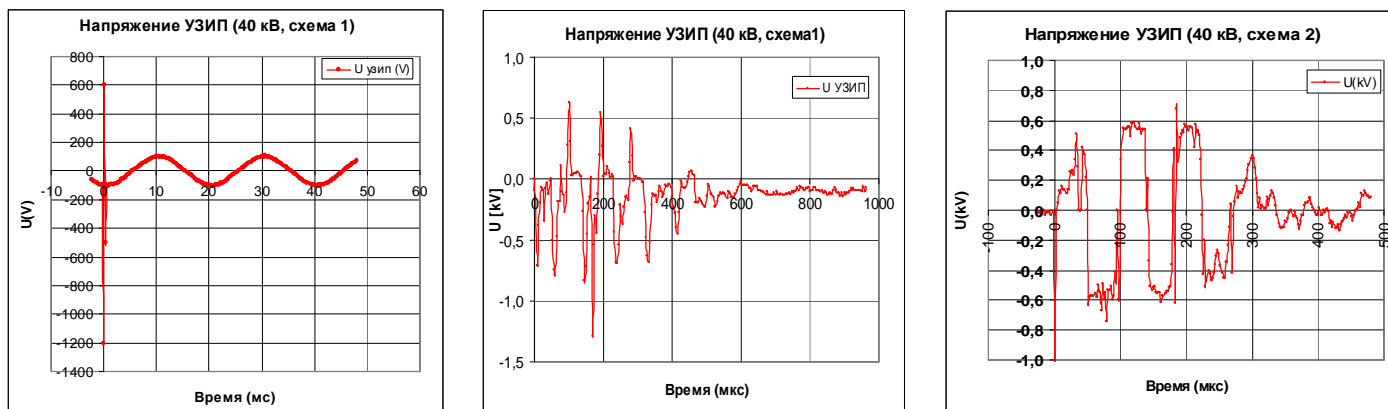


Рис. 8. Сигналы на выходе УЗИП.

На рис. 8 представлены осциллограммы напряжения на выходе УЗИП при воздействии помех от ГИТ. Как видно из графика, уровень перенапряжений снижен до уровня устойчивости аппаратуры, причем искажений формы рабочего сигнала с ИТ (50 Гц) не наблюдается.

Амплитуда напряжения провод-провод в схеме 1, за счёт несинхронного срабатывания УЗИП, в два раза превосходит уровень защиты каждого УЗИП. Поэтому более эффективной представляется схема 2.

Эффективность данной схемы защиты обеспечивается в случае, если на входе защищаемой аппаратуры имеется гальваническая развязка (например, разделительный трансформатор). При наличии в составе аппаратуры собственных УЗИП, данная схема может оказаться неэффективной.

### Литература

1. V. Rakov, M. Uman. "Lightning", Cambridge, 2005.
2. Guide on EMC in Power Plants and Substations. CIGRE Publ. 124, 1997г.
3. IEC 62305 (Lightning Protection)
4. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Требования и методы испытаний. ГОСТ Р 51317.4.5-99.
5. Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем. РД 34.35.310-97. М.: PAO «ЕЭС России», 1997.
6. Матвеев М.В. Электромагнитная обстановка на объектах определяет ЭМС цифровой аппаратуры. Новости электротехники, №1-2 (13-14), 2002г.
7. M.K.Kostin, M.V.Matveyev, A.Ovsyannikov, V.S.Verbin, S.Zhivodernikov. Some results of EMC investigation in Russian substations. CIGRE Session 2002, 36-103.
8. Матвеев М.В. ЭМС цифровой аппаратуры диктует новые требования к заземляющим устройствам электроустановок, «Новости Электротехники» №2, 2004.