

# **Комплексный подход к решению задачи защиты и контроля высоковольтных вводов**

Краячич А.В., к.т.н., Мордкович А.Г., к.т.н., Цфасман Г.М., к.т.н.,  
ООО «АСУ-ВЭИ»

Субботкин М.М., ООО «АВМ-Энерго»

## **ВВЕДЕНИЕ**

В ООО «АСУ-ВЭИ» совместно с ООО «АВМ-Энерго» сформулированы, разработаны и реализованы в серийно производимых приборах основные принципы защиты и непрерывного контроля (мониторинга) высоковольтных вводов с конденсаторной изоляцией на напряжения 110кВ и выше.

Актуальность проблемы обеспечения надежной эксплуатации высоковольтных вводов с течением времени не уменьшается. Отказы вводов по-прежнему составляют от 30% до 50% (в зависимости от типа ввода) отказов трансформаторного оборудования [1]. Источником основных проблем, как и ранее, является ухудшение электрической изоляции ввода в течение срока эксплуатации. Усугубляет положение массовый переход на вводы с твердой изоляцией, в основном RIP, так как в большинстве случаев при повреждении твердой изоляции ввода под рабочим напряжением развитие дефекта происходит лавинообразно. Кроме того, для таких вводов очень важна однородность и отсутствие механических напряжений и микротрещин в изоляции, что должно обуславливаться как качеством производства и приемки вводов, так и обеспечением соответствующих условий хранения, транспортировки и монтажа на объекте эксплуатации. Еще одним фактором риска является низкая величина емкости  $C_3$  и малый (по сравнению с масляными вводами) допустимый уровень перенапряжений на измерительном выводе (ИВ) вводов с твердой изоляцией [2].

Задача повышения надежности высоковольтных вводов, прежде всего, должна решаться совершенствованием конструкторских решений и технологии изготовления, однако повысить безопасность эксплуатации трансформаторного оборудования и уменьшить последствия аварий можно с помощью систем непрерывного контроля за основными параметрами вводов, а также применением систем технологической защиты при выходе этих параметров за допустимые пределы.

После длительного периода внедрения и опыта эксплуатации систем непрерывного контроля высоковольтных вводов типа НКВВ авторами статьи был сформулирован и реализован в серийном устройстве комплексный подход к решению данной проблемы.

## ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

**Контроль заявленных производителем характеристик** высоковольтных вводов. Существует несколько способов мониторинга вводов, основные из которых – метод контроля модуля геометрической суммы токов проводимости 3-х фазной системы вводов и метод прямого измерения активных и реактивных составляющих тока проводимости каждого ввода в отдельности [1]. Оба метода имеют свои достоинства и недостатки, но только метод прямого измерения позволяет независимо контролировать ввод каждой фазы и получать в реальном времени значения емкости изоляции  $C_1$  и  $\tan\delta$ .

**Обеспечение защиты высоковольтных вводов.** Логичным и важным шагом является переход от непрерывного контроля параметров вводов к технологической защите, построенной на тех же принципах.

Применяемые сейчас устройства КИВ-500, реализуемые на релейной и микропроцессорной базе, имеют ряд недостатков [1], основными из которых являются: низкая чувствительность, разнесенное исполнение устройства, наличие повышающих трансформаторов ТПС и др.

Предлагаемый подход к устройству технологической защиты вводов позволяет избавиться от недостатков прежней схемы. К такому устройству необходимо предъявлять требования в части надежности и быстродействия, как к устройству МПРЗА. Оно должно обладать достаточной чувствительностью, с учетом параметров широко применяемых вводов с твердой изоляцией, располагаться в непосредственной близости от трансформаторного оборудования и иметь варианты исполнения на классы напряжения от 110кВ и выше.

**Обеспечение безопасного подключения и эксплуатации системы защиты и диагностики высоковольтных вводов.**

Обеспечение безопасного подключения к измерительному выводу высоковольтных вводов в настоящее время, пожалуй, самый острый вопрос эксплуатации систем защиты и диагностики с точки зрения используемого конструктивного решения. Усугубляется это тем, что цепь ИВ является токовой и при эксплуатации должна быть надежно заземлена, а у современных вводов с твердой изоляцией, имеющих низкую величину емкости  $C_3$ , при разрыве этой цепи на ИВ появляется около половины фазного напряжения (в зависимости от величины емкости  $C_3$ ), что приводит к появлению дуги и авариям различной степени тяжести.

Для передачи сигнала тока проводимости от ИВ в систему защиты и диагностики применяются специальные устройства присоединения (УП), которые устанавливаются непосредственно на ИВ ввода и обеспечивают с ним контакт. В процессе эксплуатации ввода недопустимо ухудшение этого контакта, так как малейшее увеличение переходного сопротивления ведет к нагреву и подгоранию места контакта и выходу ввода из строя. На рис.1 показаны повреждения ИВ от воздействия дуги в результате ухудшения кон-

такта с устройствами присоединения. В обоих случаях, к счастью, аварии удалось избежать.

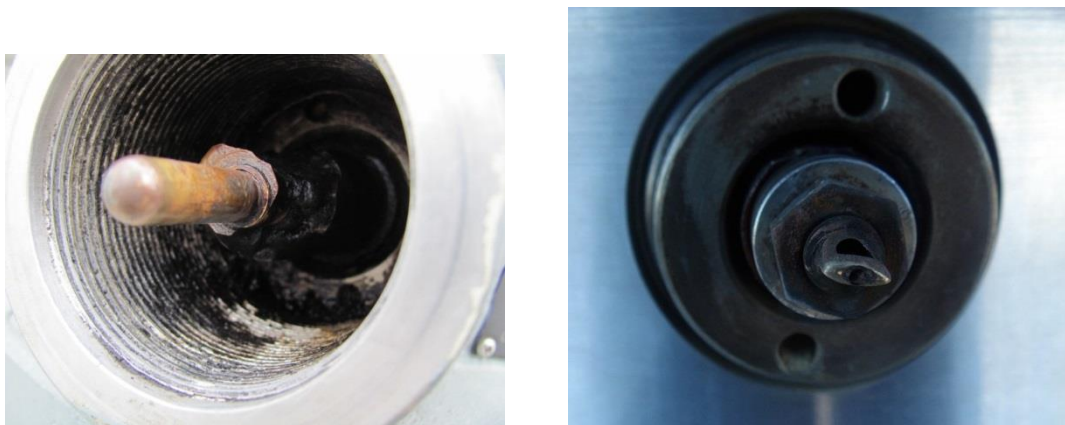


Рис. 1 Последствия ухудшения контакта измерительного вывода с устройствами присоединения

Таким образом, такое устройство присоединения должно при всех возможных внешних воздействиях (климатических, механических и т.п.) обеспечить надежный контакт с измерительным выводом. С другой стороны УП должно выполнять еще несколько немаловажных функций: обеспечить защиту от перенапряжений на ИВ в случае обрыва кабеля (т.е. фактически разземления цепи ИВ) до блока измерения, обеспечить защиту от перенапряжений на ИВ при грозовых и коммутационных воздействиях и обеспечить удобный доступ к ИВ при проведении периодических испытаний высоковольтных вводов.

**Возможность интеграции в любые современные системы РЗА в том числе в рамках цифровых подстанций.** Современные тенденции строительства цифровых подстанций накладывают дополнительные требования на устанавливаемое оборудование. Так как цифровая подстанция состоит из интеллектуального первичного и вторичного оборудования, соединенного посредством протокола связи МЭК 61850, то и системы защиты и диагностики высоковольтных вводов должны поддерживать этот протокол. Причем поддерживать не только как источник информации для системы РЗА (GOOSE сообщения), но и быть реализовано как устройство, принимающее данные по протоколу МЭК 61850-9.2, т.е. «сырые» оцифрованные данные напряжений от цифровых подстанционных трансформаторов напряжения, подключенных к шине процесса энергообъекта [3].

## ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Рассмотренные выше основные принципы построения устройства защиты и контроля высоковольтных вводов легли в основу разработки нового прибора АВМ-КИВ.

Для реализации был выбран прямой метод измерения основных параметров вводов, а для обеспечения точности и быстродействия разработана полностью цифровая схема измерения.

Устройство АВМ-КИВ спроектировано, прежде всего, как устройство технологической защиты с учетом всех предъявляемых к ним требований, но при этом реализует как функции защиты, так и функции непрерывного контроля (мониторинга).

АВМ-КИВ выполнено в виде шкафа для наружной установки в непосредственной близости от трансформаторного оборудования. Устройство имеет различные интерфейсы связи, в том числе оптический выход Ethernet и может быть интегрировано по протоколу МЭК 61850 непосредственно в шину процесса энергообъекта.

Отдельно стоит обратить внимание на конструктив устройства присоединения. Оно выполнено из 2-х частей для подключения всех возможных вариантов исполнения ИВ к единому варианту защитного блока (рис. 2). При этом, конечно, не уменьшилось число переходных элементов, но значительно увеличилась надежность соединения и упростился монтаж и демонтаж при последующей эксплуатации, за счет специальной конструкции переходного узла. В обоих разъемных элементах УП применен специальный мультиконтакт для обеспечения гарантированного контакта с ИВ. Эксплуатирующим организациям для проведения периодических испытаний вводов, на которых установлено устройство АВМ-КИВ, предлагается использовать уже установленный переходной узел и подключаться к нему, а не к измерительному выводу.

Кроме усовершенствования конструкции в УП реализована как защита от грозовых и коммутационных перенапряжений, так и защита от перенапряжений на ИВ в случае обрыва отходящего кабеля.



Рис.2а Устройство присоединения к ИВ



Рис.26 Многообразие переходных элементов для разных типов вводов

Один из первых промышленных образцов АВМ-КИВ установлен и введен в эксплуатацию на подстанции 500кВ «Шымкент» в Казахстане (рис. 3).



Рис.3 Устройство АВМ-КИВ на ПС «Шымкент» (Казахстан)

На рис. 4 приведены записанные этим прибором в течение 10 суток тренды основных параметров высоковольтных вводов реактора 220кВ.

Можно отметить следующие закономерности:

- $\text{tg}\delta$  и емкость  $C_1$  основной изоляции вводов меняются в зависимости от температуры, причем в основном заметно влияние температуры окружающей среды, в то время как изменение температуры верхних слоев масла (ВСМ) менее существенно. Само изменение параметров весьма незначительно и лежит в пределах 5пФ для емкости  $C_1$  и 0,07% по  $\text{tg}\delta$ .

- благодаря цифровой схемотехнике устройство АВМ-КИВ практически не имеет зависимости результатов измерений контролируемых параметров от температуры окружающей среды, что подтверждается трендами фаз-

ных напряжений, измеренных АВМ-КИВ (рис. 4г) и прибором контроля напряжений типа ДТНМ в системе мониторинга реактора (рис. 4д).

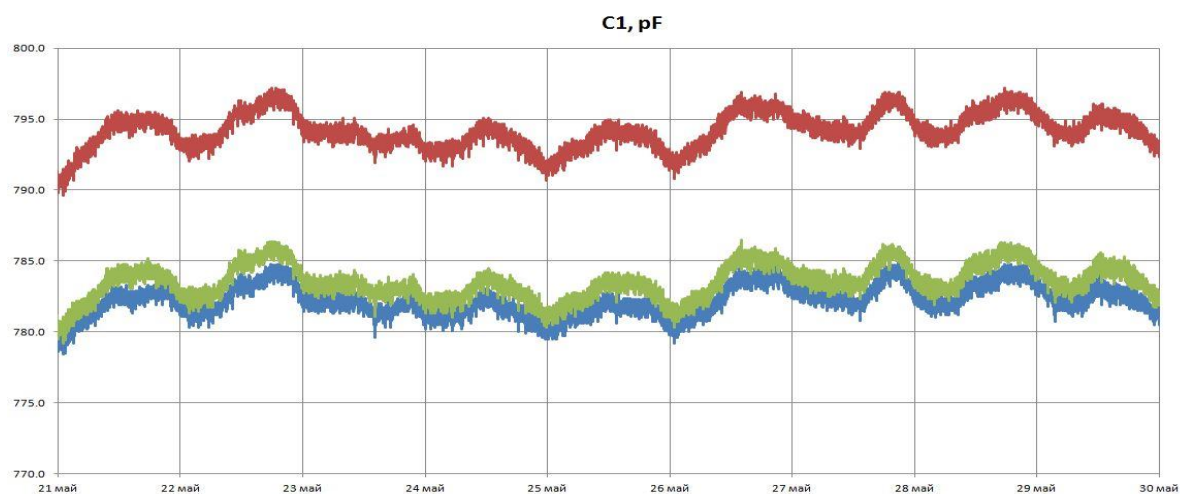


Рис.4а Емкость основной изоляции C1, пФ

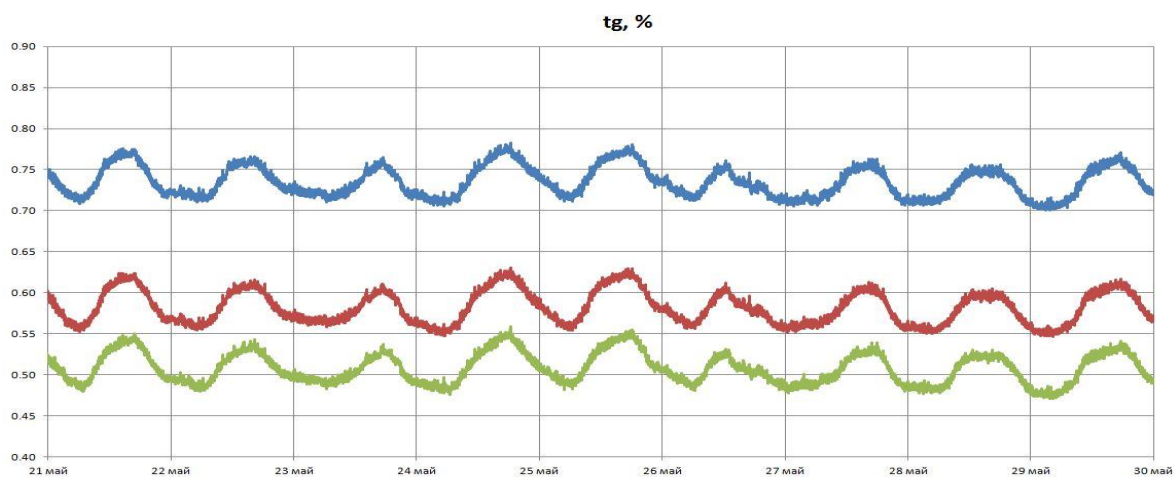


Рис. 4б tgδ основной изоляции, %

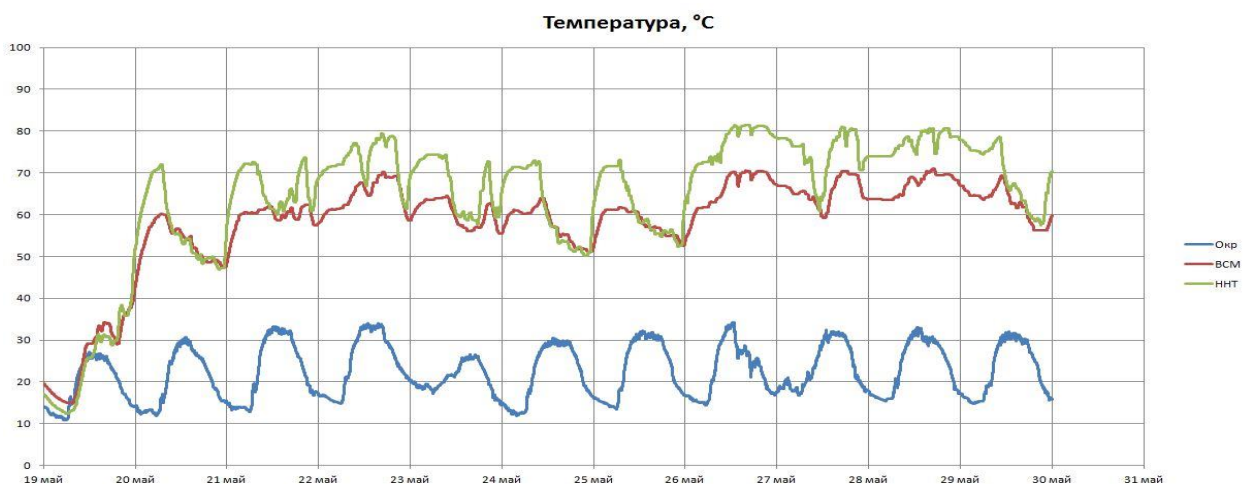


Рис. 4в Температура окр. среды, ВСМ, ННТ, °C

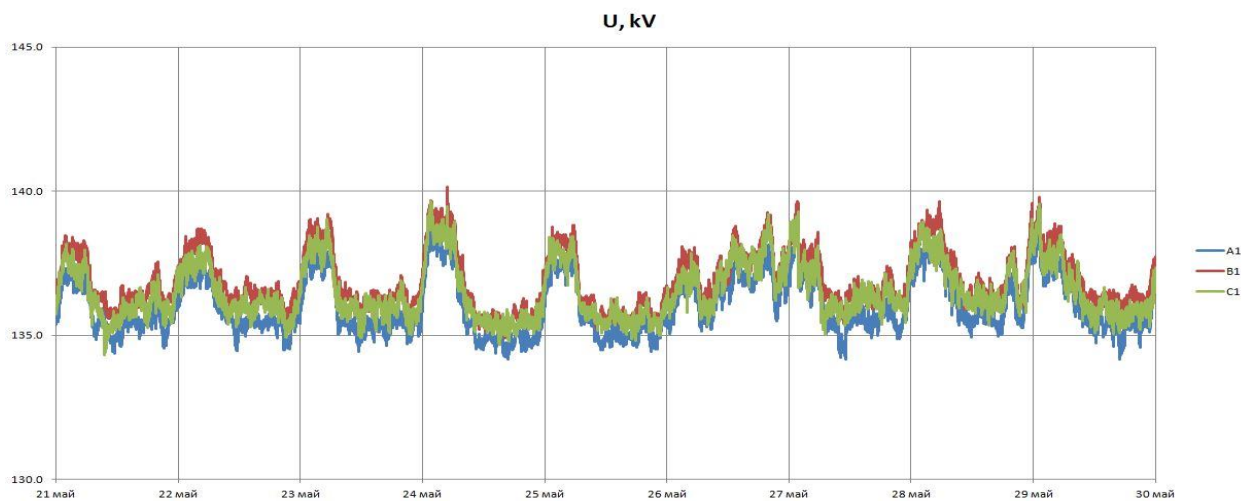


Рис. 4г Фазные напряжения, кВ

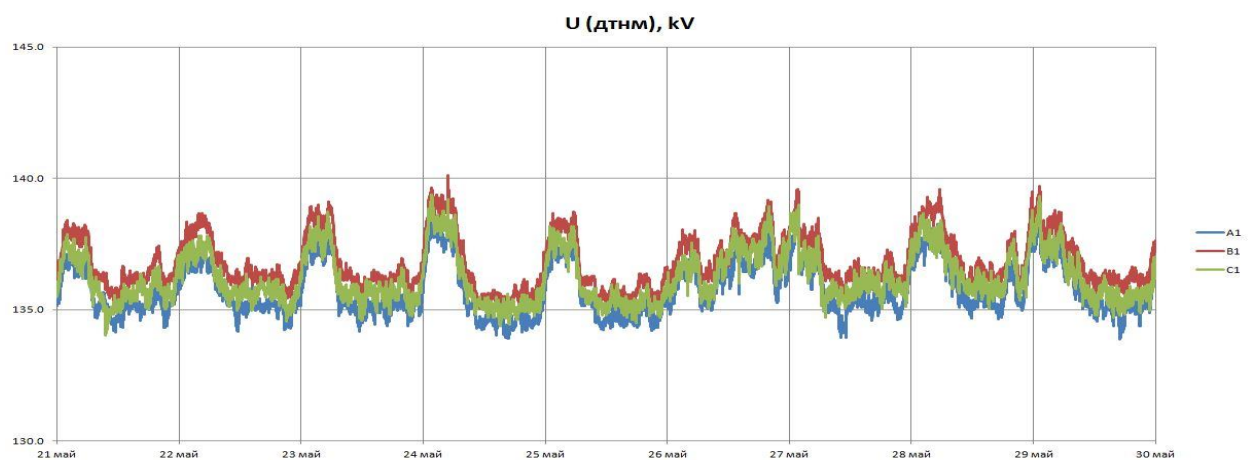


Рис. 4д Фазные напряжения, измеренные датчиком ДТНМ, кВ

## Литература

1. Крайчич А.В., Мордкович А.Г., Цфасман Г.М. «Проблемы контроля изоляции и защиты высоковольтных вводов», доклад на XIX МНТК «Силовые, распределительные трансформаторы и реакторы. Системы диагностики» Международной Ассоциации ТРАВЕЖ, 2014г.
2. Живодерников С.В., Овсянников А.Г. Проблемы высоковольтных вводов с RИР-изоляцией, доклад на конференции DIMRUS 2013г. Пермь, 2013 г.
3. Аношин А.О., Головин А.В. «Цифровые подстанции. Проблемы внедрения устройств РЗиА», журнал Новости ЭлектроТехники, №2 (74) 2012 г.