

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ЗАЩИТЫ И МОНИТОРИНГА ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ВВОДОВ С RIP-ИЗОЛЯЦИЕЙ

БОТОВ С. В., РУСОВ В. А., «DIMRUS», г. Пермь

Участившиеся в последнее время случаи аварий трансформаторного оборудования, оснащенного вводами с твердой RIP-изоляцией, заставляют снова возвращаться к вопросу организации защиты и диагностического мониторинга. Причем это необходимо делать не только с учетом общих методических проблем мониторинга высоковольтных вводов вообще, а с детализацией особенностей защиты вводов с твердой RIP-изоляцией.

Начнем с краткого описания конструкции высоковольтных трансформаторных вводов, показанной на рис. 1, а. Основным элементом высоковольтного ввода является токопроводящая труба «1», при помощи которой обмотка трансформатора подключается к внешней линии. На проводящую трубу, через изоляционные промежутки в 2–5 мм, намотаны слои фольги «2».

В маслонаполненных вводах изоляционные промежутки создаются слоями бумаги, находящимися в среде масла. В современных вводах между слоями фольги, называемых обкладками, расположены слои RIP изоляции (Resin Impregnate Paper), которая состоит сло-

ев специализированной бумаги, пропитанной специальными компаундами.

Конструктивно ввод напоминает концентрический коаксиальный конденсатор, в котором высокий потенциал, от токопроводящего стержня до крышки бака трансформатора, равномерно распределен между обкладками. Последней, внешней обкладкой такого конденсатора является металлическое конструктивное кольцо «3» ввода, при помощи которого сам ввод монтируется в отверстии бака трансформатора «4».

По мере удаления от проводящего стержня ширина (высота) проводящих обкладок уменьшается. Это сделано для того, чтобы высокий потенциал рабочего

напряжения обмотки трансформатора распределялся по максимально длинному пути. Этот поверхностный путь начинается от верхнего и нижнего концов токопроводящего стержня и до крышки бака трансформатора, конструктивное кольцо «3». Кроме того, необходимо, чтобы емкость отдельных элементарных конденсаторов была одинаковой, что важно для равномерного распределения напряжения в радиальном направлении.

С точки зрения электрической схемы замещения трансформаторный ввод представляет собой цепь из последовательно включенных конденсаторов, образованных проводящими обкладками ввода. Верхний конец этой последовательной цепи конденсаторов подключен к высокому потенциалу – проводящему стержню, а нижний конец соединен с корпусом бака трансформатора. От последней обкладки перед корпусом трансформатора сделан специальный вывод, который на рисунке обозначен цифрой «5». В литературе этот вывод называется «test tap», то есть вывод, при помощи которого производятся измерения параметров изоляции ввода, согласно общепринятой терминологии «измерительные тесты». Во время работы ввода этот вывод должен быть всегда заземлен. В отечественной литературе его просто называют «измерительный вывод», иногда называя просто «ПИН», что не совсем правильно.

В некоторых конструкциях вводов предусматривается возможность отбо-

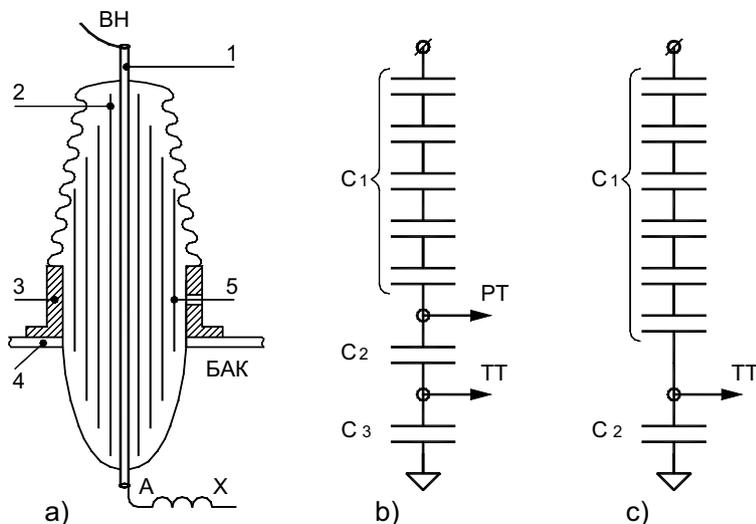


Рис. 1. Схематический разрез и схема замещения высоковольтного ввода

ра энергии для работы систем и защиты трансформатора, например, для работы РПН. С этой целью используется специальный вывод от предпоследней обкладки ввода. Этот вывод в литературе называется «potential tap», к нему может быть подключено устройство для преобразования энергии тока проводимости ввода в одно из стандартных напряжений. Если отбор мощности от ввода не планируется, то и этот вывод в процессе работы трансформатора необходимо заземлять. Конструктивно вывод «potential tap» обычно отличается от вывода «test tap».

Полная схема замещения ввода с двумя выводами приведена на рис. 1, б. Она состоит из трех емкостей C_1 , C_2 и C_3 . В подавляющем большинстве конструкций вводов отбор мощности не предусматривается, поэтому вывод «potential tap» в них отсутствует. В этом случае в схеме замещения ввода емкости C_1 и C_2 объединяются в одну. В результате в схеме замещения ввода остаются только две емкости, которые в литературе обозначаются как C_1 и C_2 . В отечественной литературе емкость C_2 достаточно часто обозначается как C_3 , что в некоторой мере соответствует логике, но не соответствует международным стандартам. Ниже мы везде будем пользоваться общепринятым термином C_2 .

Рассмотрим наиболее характерные дефекты изоляции высоковольтных трансформаторных вводов, особенности зарождения и развития этих дефектов, а также причины, приводящие к аварийным ситуациям. При этом основное внимание уделим проблемам, которые возникают с емкостью C_1 , наиболее часто повреждающейся в маслонаполненных вводах, а тем более во вводах с RIP изоляцией.

Емкость C_2 практически полностью зависит от состояния масла во вводе, так как весь изоляционный промежуток между последней обкладкой ввода и конструктивным кольцом «3» заполнен именно маслом. Это очень важный диагностический параметр состояния ввода, однако нам не известны какие-либо успешные технические решения, позволяющие определять параметры C_2 на работающем трансформаторе, поэтому данный вопрос мы не будем рассматривать.

Первым признаком ухудшения технического состояния ввода является

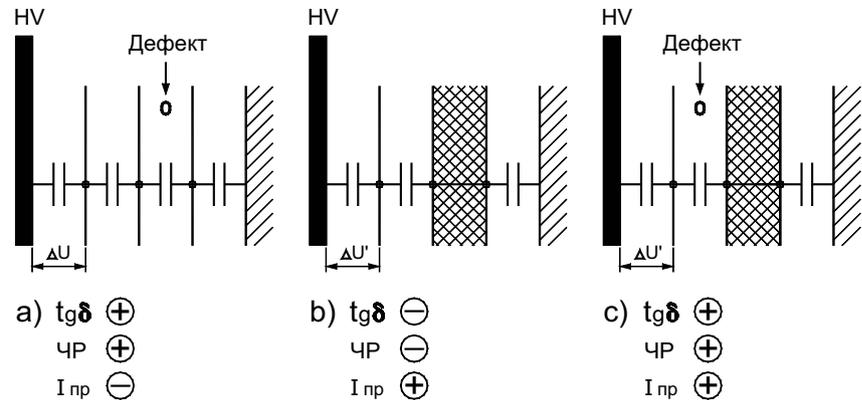


Рис. 2. Этапы развития дефекта изоляции ввода

изменение параметров изоляции, причем обычно не всего объема, а только одного из концентрических изоляционных слоев. Это происходит из-за возникновения какого-либо локального дефекта изоляции, так или иначе обусловленного технологией производства ввода, реже особенностями эксплуатации. Это может быть или вкрапление в изоляцию проводящей частички, газовый или жидкостный пузырек, или просто дефект, возникший по причине нарушения технологического процесса при изготовлении изоляции, как это показано на рис. 2, а. Возможным дефектом изоляции ввода может явиться общее увлажнение ввода.

Возникновение любого из перечисленных дефектов всегда приводит к увеличению активных потерь в изоляции, то есть к увеличению тангенса угла потерь изоляции. Необходимо хорошо понимать, что если речь идет о дефекте только одного слоя изоляции, то общий тангенс угла потерь всего ввода может измениться незначительно. При одинаковой степени развития дефекта тангенс угла потерь в изоляции изменится тем больше, чем больше будет зона дефекта, чем больше слоев он захватит.

Появление практически всех дефектов в изоляции ввода, за исключением случаев общего увлажнения масла и твердой изоляции, приводит к возникновению частичных разрядов, которые можно зарегистрировать на измерительном выводе ввода. При этом уровень частичных разрядов будет зависеть только от типа дефекта и степени его развития, а суммарная интенсивность разрядов будет определяться объемом зоны, в которой эти разряды возникают.

Третий диагностический признак наличия дефектов в изоляции вводов, который заключается в контроле изменения величины емкости C_1 , на данном этапе никак не работает, ток проводимости через ввод практически еще не изменился. В данном случае мы назвали этот диагностический параметр третьим. Хотя на самом деле он является основным и наиболее важным, особенно в системах защиты трансформаторов от повреждения вводов, что покажем чуть ниже.

В результате мы можем сказать, что все основные дефекты, зарождающиеся в изоляции вводов, можно диагностировать по изменению величины тангенса угла потерь, и по наличию частичных разрядов. Наиболее информативным диагностическим параметром являются частичные разряды, их амплитуда всегда связана с типом и степенью развития дефекта. Вне зависимости от размеров зоны дефекта в изоляции амплитуда импульсов частичных разрядов будет соответствовать интенсивности процессов разрушения изоляции.

С мониторингом тангенса угла потерь в изоляции вопрос стоит несколько иначе. Например, двукратное увеличение активных потерь в одном слое изоляции приведет к увеличению общих потерь во всей изоляции ввода всего лишь на единицы процентов. Очевидно, что это не позволит правильно оценить степень опасности при возникновении локальных дефектов. Наибольшая польза от мониторинга тангенса угла потерь будет при контроле степени увлажнения изоляции, хотя этот дефект будет виден и при контроле токов проводимости вводов.

Второй этап развития дефектов в изоляции вводов, показанный на рис. 2, б, заключается в том, что дефект развивается настолько, что может трансформироваться не только по своей локализации, но и по своей физической природе. Классический пример этого – случай, во многом свойственный только высоковольтным вводам, когда развившийся локальный дефект захватывает весь слой изоляции между двумя проводящими обкладками ввода. В этом случае происходит перекрытие всего изоляционного промежутка, то есть замыкание двух обкладок емкости C_1 со всеми вытекающими из этого последствиями, основными из которых являются два.

Во-первых, исчезают все диагностические признаки дефекта, характерные для первой фазы его возникновения и развития (I). Повышенная величина тангенса угла потерь изоляции, свойственная первой фазе развития дефекта, уменьшается практически до нормального значения, исчезают все частичные разряды. Причина такого «улучшения состояния изоляции ввода» проста и понятна: дефектная зона изоляции, которая генерировала эти диагностические признаки, зашунтирована зоной пробоя, и к зоне дефектов «первой фазы развития» приложено нулевое напряжение. При проведении измерений параметров изоляции ввода на этой фазе развития дефекта, скорее всего, возникнет иллюзия улучшения состояния изоляции, что на самом деле не соответствует реальной картине.

Во-вторых, изменение количества последовательно включенных в схему замещения ввода элементарных конденсаторов на единицу приведет к скачкообразному увеличению емкости C_1 на величину, обратно пропорциональную общему количеству обкладок во вводе. В результате увеличения емкости ввода произойдет пропорциональное увеличение тока проводимости, протекающего через изоляцию ввода.

Поэтому на этом этапе развития дефектов в изоляции мы имеем только один информативный диагностический признак – увеличенный ток проводимости дефектного ввода, других «внешних» признаков ухудшения состояния изоляции нет.

Дальнейшее разрушение изоляции ввода будет происходить по сценарию «ухудшения состояния изоляции по спи-

рали». К оставшимся обкладкам остова ввода прикладывается повышенное напряжение, так как общее количество последовательно включенных конденсаторов в схеме замещения ввода уменьшилось на единицу. Чаще всего это приводит к тому, что на одном из оставшихся изоляционных промежутков, из-за повышенного напряжения, появляется и начинает развиваться новый дефект (рис. 2, с). Снова увеличивается тангенс угла потерь в изоляции, снова возникают частичные разряды, дефект развивается, расширяться в объеме. В конечном итоге все это снова завершается пробоем изоляционного промежутка, исчезновением первичных диагностических признаков, увеличением тока проводимости ввода и т. д.

После пробоя очередного изоляционного промежутка напряжение на оставшихся обкладках возрастает еще больше, что рано или поздно приведет к лавинообразному разрушению всей изоляционной структуры ввода и аварийному выходу трансформатора из эксплуатации. При этом изменение (увеличение) тангенса угла потерь изоляции и появление частичных разрядов будет происходить только периодически, без видимой связи с условиями эксплуатации ввода.

Наиболее достоверный признак наличия опасных и развивающихся дефектов – последовательное увеличение емкости ввода C_1 . Если же речь идет о диагностике развивающихся дефектов ввода при помощи систем защиты или диагностического мониторинга, то основным диагностическим признаком разрушения ввода будет увеличение тока проводимости изоляции.

Повторим еще раз основные диагностические признаки, позволяющие выявлять дефекты состояния высоковольтных трансформаторных вводов:

- тангенс угла диэлектрических потерь в изоляции – «tgδ». Это наименее информативный параметр, позволяющий проводить диагностику, а тем более осуществлять защиту трансформатора от повреждения вводов. Причины этому две – слабое влияние потерь в локальной зоне дефекта на параметры всей изоляции ввода, и периодическое снижение параметра при шунтировании зоны дефекта пробоем изоляционного промежутка;
- частичные разряды в изоляции. Сложность использования этого диа-

гностического параметра заключается также в периодическом появлении и исчезновении разрядов в зоне дефекта, обусловленном пробоем дефектного изоляционного промежутка. Использование диагностических систем, работающих на основе регистрации и анализа частичных разрядов, также ограничивается низкой помехозащищенностью многих имеющихся на рынке измерительных приборов;

- величина емкости ввода C_1 . Это наиболее информативный параметр, позволяющий наиболее эффективно организовать защиту трансформаторов от повреждения вводов. Только проводя сравнительные измерения токов проводимости вводов можно предотвратить аварии вводов, обычно имеющих тяжелые последствия. Величина тангенса угла потерь и частичные разряды этого не обеспечивают, так как могут иметь значения, соответствующие номинальным, даже в том случае, когда уже идет необратимое разрушение изоляции ввода.

Использование на практике современных вводов с твердой RIP-изоляцией, выявило увеличение аварийности, особенно в случаях совместной эксплуатации с релейной системой КИВ-500, предназначенной для защиты вводов. Причем случаи аварийного выхода из строя наблюдались с вводами различных производителей.

Рассмотрим конструктивные и эксплуатационные особенности работы вводов с RIP-изоляцией, влияющие на конфигурацию технических средств защиты и мониторинга. Анализ особенностей эксплуатации вводов с RIP-изоляцией начнем с рассмотрения схемы замещения высоковольтного ввода, к которому подключено защитное устройство КИВ-500, применение которого в российской энергетике для напряжения 500 кВ и выше является обязательным. При этом внимательно проанализируем влияние каждого параметра эквивалентной схемы замещения, показанной на рис. 3.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВВОДА

Вводы с RIP-изоляцией стали более компактными, и, как следствие, уменьшилось значение емкости C_2 , «включенной» между последней обкладкой в остова ввода и «землей трансформатора» в виде опорного

фланца ввода. У большинства вводов с RIP-изоляцией наблюдается примерное равенство емкостей C_1 и C_2 .

Уменьшение величины емкости C_2 приводит к изменению коэффициента деления емкостного делителя ввода C_1/C_2 и, как следствие, возникновения большего перенапряжения на измерительном выводе (позиция 5 на рис. 1, а.), особенно при коммутационных и грозовых воздействиях на линию, к которой подключен трансформатор. На измерительный вывод может быть приложено до половины внешнего импульсного напряжения U_1 , что недопустимо много.

Для справки: у вводов с изоляцией «бумага–масло» величина C_2 может быть больше величины емкости C_1 даже в десять раз. У таких вводов на измерительном выводе, даже при самых неблагоприятных условиях, максимально может быть «всего лишь» до 10 % от приложенного импульсного напряжения U_1 , то есть по сравнению с вводами с RIP изоляцией меньше в пять раз.

СОЕДИНИТЕЛЬНЫЙ КАБЕЛЬ ОТ ВВОДА К ШКАФУ ТПС

Согласно существующим нормам, соединение измерительного вывода и прибора контроля должно выполняться изолированным одиночным проводом с сечением жилы не менее 6 мм². Такой провод обладает необходимой надежностью, жесткостью и невысоким электрическим сопротивлением, что, на первый взгляд, вполне достаточно для практических условий эксплуатации систем КИВ-500.

Недостаток такого соединения – одиночный провод обладает сравнительно высокой удельной индуктивностью (зависящей от условий его прокладки по трансформатору), что резко повышает его сопротивление Z_k для высокочастотных грозовых и коммутационных импульсов. Величину и опасность такого увеличения сопротивления соединительного кабеля мы оценим ниже.

ЗАЩИТНЫЙ ВАРИСТОР (ОГРАНИЧИТЕЛЬ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ)

Этот очень важный защитный элемент, ограничивающий импульсное напряжение до величины $U_{ТПС}$, раньше монтировали рядом с контролируемым вводом, но для снижения количества ложных сра-

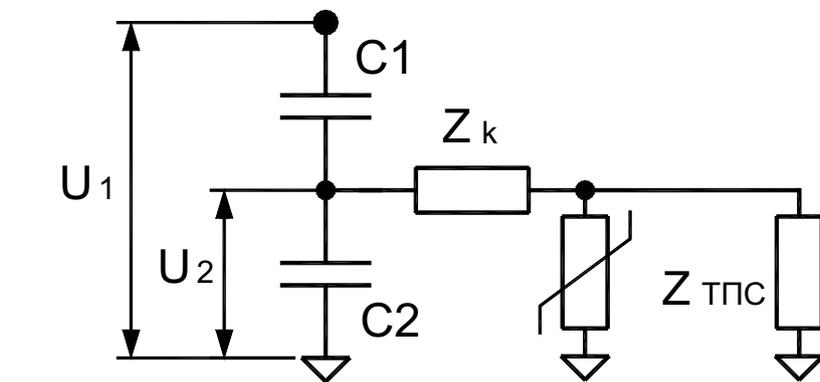


Рис. 3. Эквивалентная схема ввода с RIP изоляцией, соединительным кабелем, и трансформатором ТПС

батываний системы КИВ-500, особенно во влажную погоду, его сначала негласно, и иногда, а теперь уже практически всегда, монтируют в шкафу ТПС.

Схемотехнически это привело к тому, что от совместной защиты измерительного вывода ввода и прибора КИВ-500 перешли к защите только прибора КИВ-500. Нормальной защите измерительного вывода ввода теперь мешает сопротивление соединительного кабеля Z_k , включенного между измерительным выводом и варистором. Величина этого сопротивления особенно велика при импульсных высокочастотных перенапряжениях, которые наиболее опасны для изоляции ввода.

УСТРОЙСТВО КИВ-500

На схеме оно показано в виде сопротивления $Z_{ТПС}$. Не будем повторять известные всем недостатки КИВ-500, все они связаны с тем, что реально это устройство не модернизировалось очень давно. Дополнительный недостаток, применительно к контролю вводов с RIP изоляцией – то, что, исходя из условий надежной работы прибора КИВ-500 в неполнофазном режиме, напряжение на входе в прибор в некоторых режимах может достигать 750–1000 В. Это автоматически «поднимает» порог срабатывания защитного варистора USA иногда до 2 кВ и снижает импульсную стойкость контролируемого ввода.

ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НАПРЯЖЕНИЯ РАЗЛИЧНОЙ ЧАСТОТЫ

Для сравнения используем следующие входные параметры: частота приложенного напряжения – от 50 Гц до 50 МГц, длина соединительного кабеля – 50 метров, тип кабеля – стандартный проводник сечением 6 мм², или высокочастотный кабель марки RG-213.

Оценочные результаты анализа напряжения U_2 на измерительном выводе ввода с RIP изоляцией, в функции частоты приложенного напряжения, приведены в таблице 1.

Из таблицы хорошо видно, что при частоте приложенного напряжения 50 Гц схема ведет себя полностью предсказуемо, все параметры находятся в норме, защита измерительного вывода и прибора КИВ-500 не вызывает нареканий.

Иначе все выглядит на частоте 50 МГц, а такие импульсы возможны в энергосистеме, особенно из-за все более широко распространения элегазовых коммутационных устройств. Из-за резкого возрастания индуктивного сопротивления соединительного кабеля и столь же сильного уменьшения внутреннего сопротивления емкостного делителя напряжения (ввода с RIP-изоляцией), напряжение на измерительном выводе определяется толь-

Таблица 1. Оценочные результаты анализа напряжения U_2 на измерительном выводе ввода с RIP изоляцией, в функции частоты приложенного напряжения

F МГц	$X_{C1} = X_{C2}$	ZK (6 мм ²)	U_1 (6 мм ²)	Z_1 (RG-213)	U_2 (RG-213)
0,00005	6000 кОм	1,5 Ом	~ 20 В	3,0 Ом	~ 20 В
0,5	600 Ом	0,3 кОм	~ 0,3 U1	0,6 Ом	~ USA
5,0	60 Ом	3,0 кОм	~ 0,5 U1	6 Ом	~ 0,1 U1
50,0	6 Ом	30 кОм	0,5 U1	60 Ом	~ 0,4 U1



Рис. 4. Внешний вид модификаций измерительных датчиков DB-2

ко соотношением величин емкостей C_1 и C_2 . Цепь защиты от перенапряжений с варистором, из-за возросшего сопротивления соединительного кабеля, уже больше не защищает ввод.

При использовании вместо соединительной одиночной жилы высококачественного коаксиального кабеля марки RG-213 результаты получаются несколько лучшими из-за его меньшего индуктивного сопротивления, но они все равно неудовлетворительны при самых высоких частотах.

Основным выводом из вышесказанного можно считать заявление, что существующая схема подключения прибора КИВ-500, до сих пор надежно работавшая с маслонаполненными вводами, не обеспечивает надежной защиты высоковольтных вводов с RIP-изоляцией. Особенно актуально это заключение в том случае, когда коммутации высоковольтных цепей трансформатора, на котором смонтированы контролируемые вводы, выполняются элегазовыми коммутационными устройствами, активно генерирующими при своей работе импульсы высокой частоты и амплитуды.

С учетом того, что при эксплуатации высоковольтных вводов всех типов, особенно на рабочее напряжение 500 кВ и выше, по имеющимся нормативным документам необходимо однозначно использовать устройство контроля изоляции марки КИВ-500, необходимо рассмотреть все имеющиеся возможности его технической модернизации, применительно к использованию с вводами с твердой изоляцией.

Во-первых, необходимо переходить от простых устройств присоединения, монтируемых на измерительных выво-

дах вводов, к полноценным датчикам, оснащенных встроенной дублированной защитой от импульсных высокочастотных перенапряжений. Такие датчики должны также иметь внутри себя защиту от обрыва сигнального кабеля. Датчики должны надежно и герметизировано устанавливаться на измерительном выводе, что достаточно сложно обеспечить, учитывая наличие у каждого производителя вводов уникальной конструкции измерительного вывода.

В настоящее время наиболее полно таким требованиям отвечают датчики токов проводимости вводов, имеющие торговую марку DB-2, производимые фирмой «DIMRUS» (рис. 4). Наличие в производственной номенклатуре указанной фирмы более 30 модификаций датчиков DB-2 позволяет оперативно монтировать их на вводах любого типа и рабочего напряжения.

Во-вторых, желательнее от использования одиночной изолированной жилы 6 мм², монтируемой между вводом и прибором КИВ-500, переходить к применению коаксиального кабеля с необходимыми параметрами, например к кабелю марки RG-213. Это также позволит снизить вероятность выхода RIP вводов из строя. При этом необходимо стараться максимально уменьшить общую длину соединительного кабеля.

В-третьих, желательно из алгоритма работы схемы КИВ-500 исключить реле РТ2, предназначенное для выявления неполнофазного режима работы трансформатора. При этом сигнал о наличии такого режима, блокирующий работу отключающей функции КИВ-500, можно «брать» из системы РЗА, где он также формируется в реле напряжения нулевой последовательности, включенного в цепи измерительного ТН. Это позволит снизить рабочее напряжение используемого защитного варистора в несколько раз, что также повысит устойчивость работы системы ограничения перенапряжений.

Для справки: только отечественная система защиты вводов марки КИВ-500 требует наличия защитных варисторов на рабочее напряжение не менее чем на 1000 В, во всех других системах, эксплуатируемых в мире, используются защитные устройства на напряжение не более 150 В. Эти устройства не отслеживают наличие неполнофазного режима работы трансформатора, эта функция в них не заложена.

В-четвертых, необходимо провести корректировку уставок по току небаланса и по времени нахождения реле КИВ-500 в различных режимах. Практической информации по процессу выхода вводов с RIP-изоляцией из работы пока немного, и это не позволяет оптимально скорректировать весь набор параметров работы КИВ-500. Ясно пока одно, что необходимо снижать аварийный порог срабатывания реле, и максимально уменьшать задержку на отключение трансформатора в этом режиме.

Кроме реле КИВ-500, в практике достаточно широко используются системы диагностического мониторинга, предназначенные для выявления дефектов изоляции вводов на ранних стадиях развития. Наибольшее применение имеют системы R1500 фирмы DIMRUS, и НКВВ производства фирмы АСУ-ВЭИ.

В технической (и даже в нормативной!) литературе встречается информация о том, что их можно применять в качестве защитных реле, предназначенных для защиты трансформаторов от повреждения вводов. Эта информация является некорректной. Системы R1500 и НКВВ хорошо работают в качестве средств диагностического мониторинга, но как защитные реле применяться не могут, особенно для вводов с RIP-изоляцией.

Основная причина – время одного полного расчета и анализа токов проводимости трех вводов в них может занимать до нескольких минут. Для того, чтобы было принято решение об отключении трансформатора, необходимо хотя бы дважды, а лучше трижды провести измерение и расчет параметров вводов, чтобы избежать ложных срабатываний системы. Поскольку развитие опасных дефектов в RIP-изоляции может происходить за время от нескольких единиц или десятков секунд, эффективность работы R1500 и НКВВ в качестве защитного реле является практически нулевой.

Наиболее интересными являются современные модификации реле КИВ-500, работающие на современной элементной базе. Это позволяет, сохранив положительные аспекты работы КИВ-500, существенно сократить влияние отрицательных свойств релейной автоматики. Пример современной реализации прибора КИВ-500 – микропроцессорный прибор КИВ-500/110 (рис. 5).

По реализованным функциям защитное реле марки КИВ-500/110, с одной стороны, повторяет возможности прибора КИВ-500. С другой, применение современного микропроцессора позволило в максимальной степени исключить недостатки КИВ-500. Это касается следующих параметров защитного реле:

- применение высокочувствительных средств регистрации токов проводимости позволило создать универсальное устройство, которое может работать как с вводами на рабочее напряжение 750 кВ, так и с вводами 110 кВ, если они оснащены измерительными выводами;
- встроенные технические средства и алгоритмы отстройки от помех значительно снизили вероятность ложных срабатываний защитного реле;
- при наличии нескольких устройств КИВ-500/110, объединенных в единую информационную среду, можно практически однозначно отстраиваться от влияния перекосов питающей сети;
- наличие микропроцессора позволяет уже на стадии возникновения дефекта определять проблемный ввод, а в большинстве случаев даже указывать тип возникшего в изоляции дефекта;

■ стоимость системы КИВ-500/110 обычно оказывается меньше, чем стоимость релейного устройства КИВ-500.

Завершим рассмотрение эффективных приборов мониторинга и защиты вводов с RIP-изоляцией краткой информацией о системах, решающих вопрос диагностики состояния вводов комплексно, с использованием нескольких методов диагностики.

Наиболее часто дополнительным методом, при помощи которого производится диагностика состояния изоляции вводов, является измерение и анализ частичных разрядов. У этого метода есть сторонники и противники, доводы этих специалистов различаются, но не лишены практического смысла. Наибольший практический опыт в этом направлении имеет фирма DIMRUS, поэтому рассмотрим систему TIM-3.

Микропроцессорная система TIM-3 предназначена для реализации функций мониторинга и защиты трансформаторных вводов. Измерительный прибор включает в себя три взаимосвязанные подсистемы:

- диагностического контроля параметров вводов по токам проводимости;



Рис. 5. Прибор КИВ-500/110 для защиты вводов

- анализа состояния изоляции по параметрам частичных разрядов, диагностика типа и степени развития дефектов;
- непрерывной защиты трансформатора от повреждения вводов.

Все эти три подсистемы работают взаимосвязано, повышая информативность диагностических заключений встроенной экспертной системы, выявляющей признаки дефектного состояния вводов, тип возникшего дефекта, прогнозирующей его скорость развития.

Объединить несколько методов диагностики в одном приборе удалось потому, что первичные датчики марки DB-2 являются комплексными, позволяющими одновременно измерять токи проводимости вводов и частичные разряды.