

## **Оперативный контроль параметров высоковольтных вводов силовых трансформаторов под рабочим напряжением**



Контроль технического состояния высоковольтных вводов силовых трансформаторов в условиях эксплуатации может производиться в двух режимах:

- На выведенном из работы трансформаторе с использованием дополнительных испытательных источников высокого напряжения промышленной частоты.
- Под полным рабочим напряжением с использованием датчиков и устройств присоединения, обеспечивающих необходимую безопасность проведения диагностических работ.

В обоих случаях для измерений параметров вводов используются переносные приборы, при помощи которых определяют

амплитуды и взаимный сдвиг фаз двух фазных векторов: тока проводимости изоляции высоковольтного ввода и вектора фазного напряжения, приложенного к вводу. Измерительные приборы такого типа специалисты обычно называют «мостами» или «векторными измерителями».

Название «измерительный» мост сохранилось от ранее использованных для этой цели приборов, реализующих мостовой принцип измерения параметров векторов. Более современные векторные измерители работают на принципе синхронного измерения двух и более (до шести) сигналов.

Особенно актуально использование шестиканальных приборов для проведения измерений параметров вводов под рабочим напряжением. Они позволяют контролировать три ввода одновременно, тогда как двухканальный прибор контролирует один ввод. При использовании двухканального прибора в некоторых случаях приходится отключать и включать трансформатор три раза, поочередно устанавливая датчики на фазах. Сам процесс измерения таким прибором занимает значительно большее время.

Общепризнанным фактом является факт, что «on-line» измерения параметров вводов под рабочим напряжением имеют более высокую информативность по сравнению с «off-line» измерениями этих же параметров при пониженном испытательном напряжении. Основной причиной расхождения получаемых результатов являются различия в физических процессах в изоляции вводов (и типа бумага-масло, и RIP) под высоким рабочим напряжением и при использовании пониженного испытательного напряжения. Очень важно понимать, что чем хуже будет техническое состояние контролируемого ввода, тем больше будут различия между результатами измерений под рабочим и пониженным испытательным напряжениями.

Измерения параметров вводов силовых трансформаторов под рабочим напряжением, несмотря на их более высокую информативность и точность, в практических условиях проводятся реже. Это, в основном, обусловлено сложностями оперативного и безопасного подключения диагностических приборов к измерительным выводам трансформаторных вводов, с одной стороны, и специфическими особенностями используемых для этой цели измерительных схем, с другой стороны.

В приведенном ниже обзоре подробно рассматриваются четыре основные проблемы, которые определяют возможность организации измерения параметров высоковольтных вводов силовых трансформаторов под рабочим напряжением.

Это следующие проблемы:

- Необходим обоснованный выбор оптимальных по соотношению трудоемкости и точности схем для измерения параметров вводов под рабочим напряжением.
- Используемые переносные многофазные векторные измерители параметров вводов должны соответствовать необходимым техническим и стоимостным требованиям.
- Измерения под рабочим напряжением должны производиться с использованием надежных и недорогих технических средств, предназначенных для оперативного подключения переносного измерительного оборудования к вводам силовых трансформаторов и к напряжениям измерительных трансформаторов напряжения (ТН). Желательно проводить контроль сразу трех вводов трансформатора.

- Должен быть использован набор технических и организационных мероприятий, обеспечивающих создание эффективной системы периодического контроля технического состояния высоковольтных вводов силовых трансформаторов, проводимого под рабочим напряжением.

Комплексное решение этих четырех проблем позволит создать на предприятии единую систему контроля высоковольтных вводов силовых трансформаторов, высоковольтных выключателей и другого высоковольтного оборудования, оснащенного вводами.

По своим экономическим параметрам внедрение системы оперативного периодического контроля будет значительно дешевле, чем оснащение всех высоковольтных вводов силовых трансформаторов стационарными системами контроля.

По сравнению с наиболее часто используемым на практике методом контроля параметров вводов при помощи переносных приборов и источников испытательного напряжения, предлагаемая система будет иметь намного большую оперативность и лучшую точность. В этом сравнении основным недостатком системы измерений под рабочим напряжением будет большая стоимость поставки, которая обусловлена необходимостью предварительной установки на всех вводах датчиков или устройств присоединения.

### **1. Измерительные схемы, используемые для контроля параметров вводов под рабочим напряжением**

Определение параметров вводов силовых трансформаторов под рабочим напряжением может быть выполнено с использованием нескольких измерительных схем, определяющих способ подключения векторного измерителя к вводам. В зависимости от выбранной измерительной схемы реализуются различные методы расчета контролируемых параметров вводов, при необходимости используются специфические вычислительные алгоритмы.

Все используемые на практике измерительные схемы предусматривают контроль электрических параметров, токов и напряжений, на основании которого будет производиться расчет наиболее важных эксплуатационных параметров высоковольтного ввода. К ним относятся величины емкости  $C_1$  и тангенса угла потерь изоляции ввода. В зависимости от конструкции ввода и типа используемой изоляции могут контролироваться и другие параметры ввода, но они, как правило, для обеспечения безопасности эксплуатации трансформатора менее значимы.

Практическая реализация всех измерительных схем предполагает обязательное использование набора дополнительных устройств, обеспечивающих безопасное подключения векторного измерителя к датчикам первичных сигналов, установленным на контролируемых вводах.

На выбор оптимальной для конкретных условий эксплуатации вводов измерительной схемы влияют два основных вопроса:

- Измерительные схемы различаются по сложности реализации и точности получаемых результатов. Обычно чем сложнее измерительная схема и чем труднее ее реализовать на практике, тем более точными и достоверными будут получаемые диагностические результаты.

- Вторым фактором, влияющим на выбор измерительной схемы, являются технические параметры имеющегося измерительного оборудования, наличие технических средств, обеспечивающих возможность оперативного и безопасного подключения измерительного оборудования к контролируемым вводам.

Рассмотрим пять наиболее часто используемых на практике измерительных схем, предназначенных для контроля параметров вводов под рабочим напряжением. Для удобства анализа расположим их в порядке возрастания достоверности получаемых диагностических заключений о состоянии вводов.

#### **1.1. Сравнительная схема измерения параметров трех вводов силового трансформатора**

Это наиболее простая измерительная схема, используемая на практике для контроля параметров технического состояния трех вводов одного трансформатора под рабочим напряжением.

В приведенной на рисунке 1 схеме контролируемые ввода условно показаны как емкостные делители  $C_1/C_2$ . Средние точки этих делителей, которые на реальных вводах выведены наружу на измерительные выводы (часто обозначаемые как ПИН), подключены к трем входам векторного измерителя.

Векторный измеритель обозначен на рисунке как КИВ - прибор контроля изоляции вводов. Обязательным требованием к многоканальному векторному измерителю КИВ в данной схеме, как и во всех последующих, является возможность синхронно и с необходимой точностью регистрировать параметры векторов токов проводимости от трех вводов силового трансформатора.

По алгоритму работы - измерение и анализ векторов токов проводимости, такая схема повторяет работу стандартных приборов защиты вводов: в ней производится расчет и сравнение векторов токов

проводимости трех вводов между собой. Если вектор тока проводимости одного из вводов будет значительно отличаться по амплитуде и (или) по относительному углу сдвига от векторов тока двух других фаз, то это будет интерпретироваться экспертной системой прибора как наличие в этом вводе признаков дефектного состояния.

По причине использования такого алгоритма диагностики измерительная схема на рисунке 1 называется сравнительной, так как полученные текущие значения параметров одних вводов сравниваются с другими с целью выявления отличий.

Алгоритм проведения диагностического сравнения параметров вводов является двухуровневым:

- На первом этапе полученные значения параметров сравниваются с опорными значениями, хранящимися в памяти прибора, и соответствующим бездефектному состоянию всех выводов.

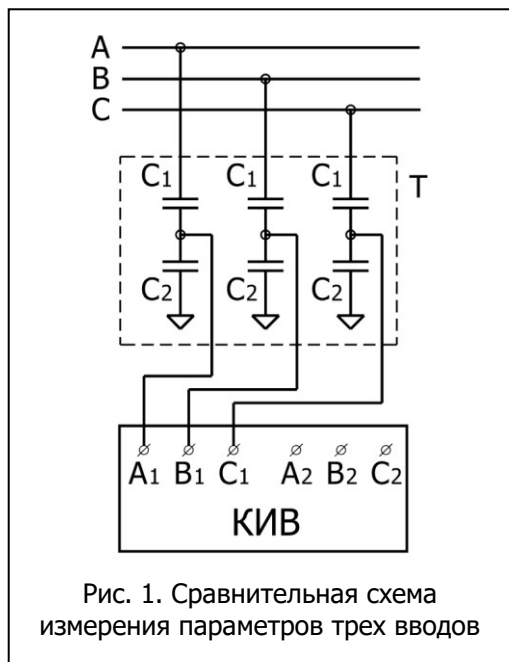


Рис. 1. Сравнительная схема измерения параметров трех вводов

- Если опорных значений параметров контролируемых вводов нет (если это первое измерение или же предыдущие замеры параметров вводов недоступны), то диагностический анализ ведется по принципу сравнения трех вводов между собой с целью выявления потенциально дефектного ввода.

Все недостатки этой измерительной схемы возникают от того, что в ней не предусмотрен параллельный (в идеале синхронный) контроль параметров векторов фазных напряжений трехфазной питающей сети. Любой взаимный перекося этих векторов, какими бы причинами он не был вызван, например, несимметричной нагрузкой системы, или подключением или отключением дополнительных ЛЭП, будет диагностироваться экспертной системой векторного измерителя как появление (или как исчезновение, что еще хуже и опаснее для эксплуатации) признаков дефектного состояния одного из вводов.

Как уже было отмечено выше, чаще всего такая схема используется в устройствах защиты высоковольтных вводов. На работу таких защитных устройств возможные колебания параметров векторов питающей сети не оказывают критического влияния. Причина в том, что тревожные и предаварийные пороги срабатывания устройств защиты обычно превышают возможные

колебания параметров сети в несколько раз.

Однако при проведении диагностических измерений параметров вводов по трехфазной сравнительной схеме с целью определения текущего технического состояния вводов, когда пороги чувствительности экспертных алгоритмов могут оказаться меньше, чем возможные эксплуатационные колебания векторов питающей сети, возможно значительное снижение итоговой достоверности получаемых диагностических заключений.

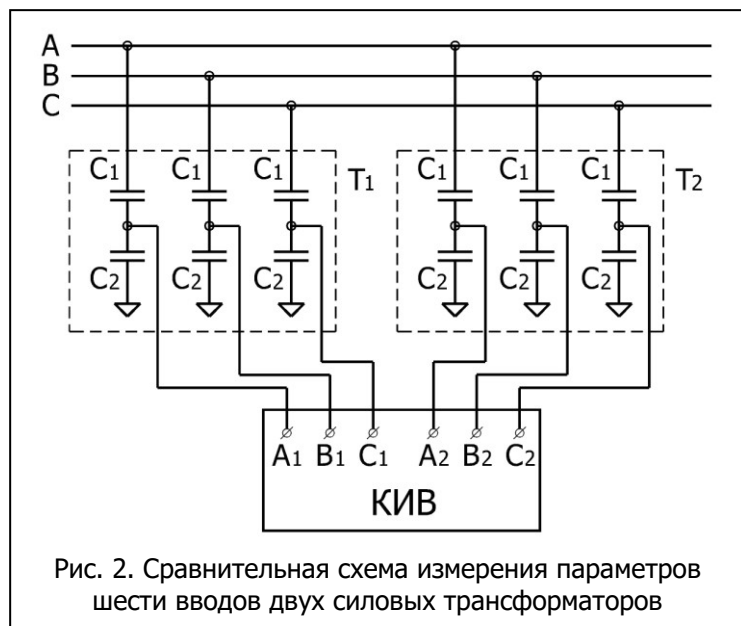


Рис. 2. Сравнительная схема измерения параметров шести вводов двух силовых трансформаторов

## 1.2. Сравнительная схема для контроля параметров шести высоковольтных вводов двух силовых трансформаторов

Для одновременного контроля параметров шести высоковольтных вводов двух силовых трансформаторов, расположенных рядом друг с другом, используется измерительная схема, показанная на рисунке 2. Обязательным условием для использования этой схемы является питание обоих трансформаторов от одной секции высоковольтных шин подстанции.

Измерение параметров вводов и выявление трансформатора и ввода с дефектными признаками в этой схеме производится с использованием следующего экспертного алгоритма:

- Производится синхронная регистрация шести токов проводимости вводов при помощи одного векторного измерителя.

- На основании полученной информации последовательно выполняется отдельный анализ технического состояния вводов каждого трехфазного силового трансформатора так, как это описано для предыдущей измерительной схемы.

Далее результаты отдельного анализа вводов двух силовых трансформаторов анализируются совместно. В результате такого сравнения могут быть получены три разных варианта частных диагностических заключений:

- По результатам проведенного анализа параметров двух трансформаторов в обеих группах вводов не выявлены признаки дефектных состояний. В этом случае принимается итоговое заключение о бездефектном состоянии всех шести контролируемых вводов.

- В обеих группах дефектными признано по одному вводу, которые могут располагаться как в разных, так и в одной и той же фазе питающего напряжения. Такое диагностическое заключение не является окончательным, необходимо проводить дополнительные исследования для подтверждения дефектного состояния вводов, которые были определены на первом этапе диагностики.

- Для двух силовых трансформаторов по результатам анализа был выявлен только один дефектный ввод. С высокой вероятностью этот ввод на самом деле является дефектным.

Данная измерительная схема и алгоритм диагностики дают более достоверные заключения, чем предыдущая измерительная схема, но для своей работы требуют наличия двух трехфазных объектов, оснащенных высоковольтными вводами. Обязательным условием для использования такой схемы является территориальное расположение объектов контроля рядом. Это нужно для того, чтобы их можно было подключить к одному векторному измерителю.

Повышение точности в этой измерительной схеме достигается за счет того, что перекося векторов напряжений питающей сети влияет на обе группы вводов, поэтому за счет синхронного измерения он может быть косвенно учтен при анализе первичной информации.

### 1.3. Схема измерения параметров трех вводов трансформатора со сравнительным использованием параметров векторов трехфазного питающего напряжения

В этой измерительной схеме, показанной на рисунке 3, для повышения достоверности диагностических заключений о техническом состоянии вводов трансформаторов производится контроль питающих напряжений. Для этого в схеме предусмотрено использование второго, дополнительного векторного измерителя, который будет контролировать трехфазное напряжение от измерительного ТН.

Использование второго векторного измерителя в этой измерительной схеме обусловлено тем, что на практике сравнительно легко подключиться к напряжениям от измерительного ТН рядом с контролируемым силовым трансформатором нет технической возможности.

Оба векторных измерителя в этой схеме включаются на регистрацию в одно и то же время с использованием режима усреднения контролируемых параметров. Это делается так потому, что обеспечить теоретически необходимую синхронизацию измерений двумя удаленными друг от друга приборами очень трудно.

По результатам проведенных измерений сначала производится обычная экспертная оценка технического состояния трехфазной группы вводов.

На втором этапе диагностического анализа оценка технического состояния контролируемых вводов силового трансформатора производится с учетом выявленных отличий взаимных соотношений фазных векторов напряжения питающей сети (ТН), полученных при помощи дополнительного векторного измерителя.

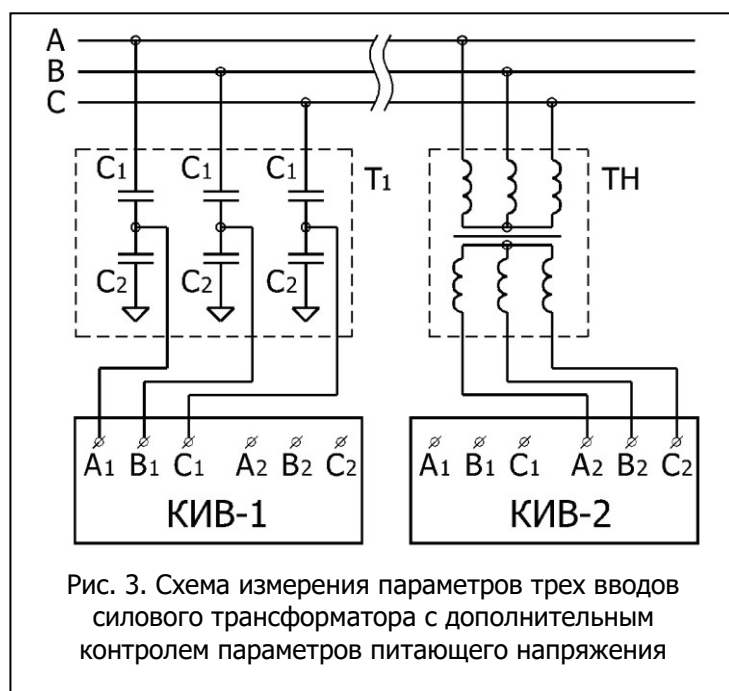


Рис. 3. Схема измерения параметров трех вводов силового трансформатора с дополнительным контролем параметров питающего напряжения



Если фазные вектора токов проводимости вводов трансформатора изменились так же (по амплитуде и взаимной фазе относительно векторов других фаз), как и соответствующие вектора фаз питающего напряжения, то это говорит о том, что если и есть выявленные экспертной системой признаки дефектного состояния ввода, то они в максимальной степени обусловлены изменением векторов питающего напряжения. Поэтому с высокой достоверностью можно предполагать, что сам выявленный на первом этапе диагностики «дефектный ввод» силового трансформатора имеет нормальное техническое состояние без реальных признаков дефектного состояния.

Если же изменения векторов питающих напряжений не совпадают с изменениями векторов токов проводимости изоляции вводов, и был выявлен ввод с признаками дефектного состояния, то это говорит о наличии в одном из контролируемых вводов реальных признаков дефектных состояний. Самой большой сложностью в этом случае является то, что реально дефектным может быть не тот ввод, который был определен на первом этапе диагностики, а совсем другой.

Эта измерительная схема является модификацией предыдущей схемы 1.2., но в ней в качестве опорных используются не параметры вводов второго силового трансформатора, которые и сами могут иметь дефекты, а параметры векторов питающего напряжения. Это способствует повышению точности проводимых диагностических измерений под рабочим напряжением.

**1.4. Схема измерения параметров высоковольтных вводов с непосредственным использованием векторов напряжений от измерительного ТН**

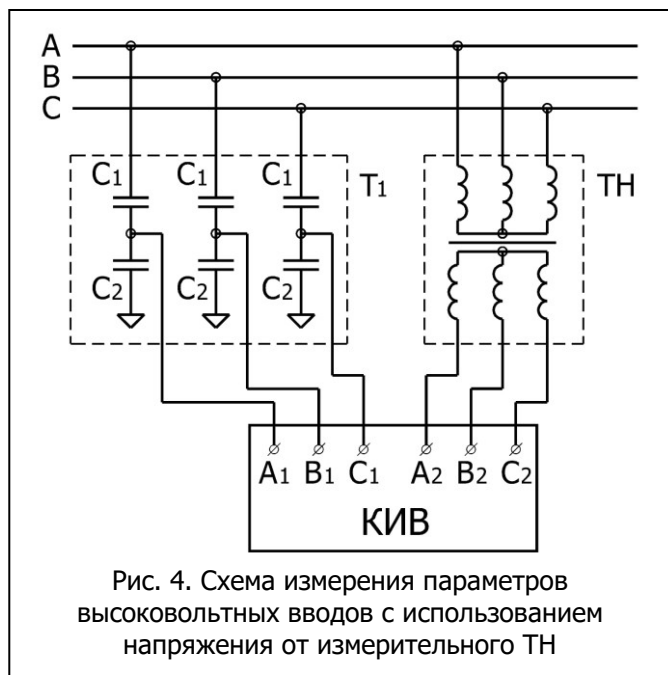


Рис. 4. Схема измерения параметров высоковольтных вводов с использованием напряжения от измерительного ТН

Такая измерительная схема для контроля параметров вводов силовых трансформаторов используется в том случае, когда есть техническая возможность подключить один векторный измеритель непосредственно и к контролируемым вводам силового трансформатора, и к напряжениям от измерительного ТН.

На практике такая возможность бывает достаточно редко, так как все ограничивается длиной сигнальных проводов, при помощи которых происходит подключение векторного измерителя к объектам контроля. У большинства используемых на практике измерительных приборов их длина составляет не более 6 – 10 метров. Использование измерительных кабелей большей длины не всегда возможно по техническим причинам и из-за увеличения уровня наведенных помех.

Такая измерительная схема параметров высоковольтных вводов, показанная на рисунке 4, имеет более высокую точность, чем предыдущая, в которой вектора напряжений питающей сети измеряются дополнительным прибором, не

обеспечивающим полностью синхронную регистрацию первичных сигналов. По точности она максимально приближается к классической схеме измерения комплексных сопротивлений электрической цепи, в которой используется метод «амперметра – вольтметра», основанный на законе Ома.

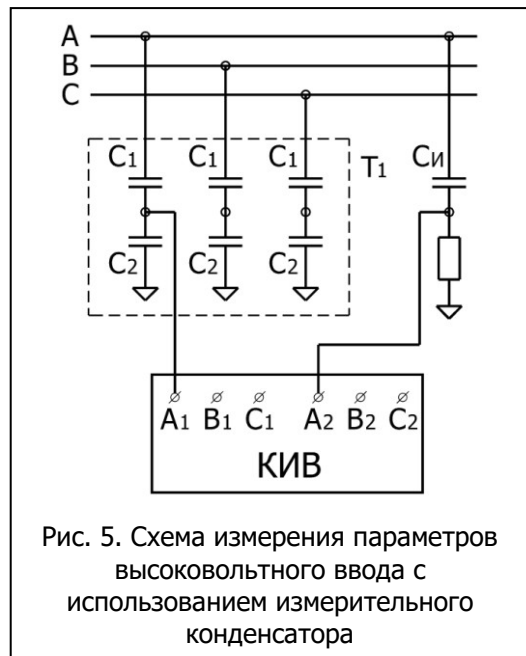
Погрешность, которая может возникнуть при использовании этой измерительной схемы, обычно возникает за счет того, что силовой трансформатор, вводы которого контролируются в измерительной схеме, и измерительный ТН обычно располагаются в разных точках подстанции, и как следствие, они будут заземлены в различных точках. При протекании по заземляющим шинам подстанции уравнительных токов различной природы возникновения в них будут возникать падения напряжения, которые вносят погрешность в получаемые диагностические заключения о техническом состоянии вводов силового трансформатора.

**1.5. Схема измерения параметров высоковольтного ввода под рабочим напряжением с использованием измерительного конденсатора**

Это самая точная измерительная схема, позволяющая измерять и рассчитывать текущие параметры высоковольтных вводов на уровне заявленных технических параметров векторного измерителя.

Единственно, погрешность может возникнуть только за счет наведенных на соединительные сигнальные кабельные линии помех.

Схема реализует метод «амперметра-вольтметра», в которой вектор напряжения питающей сети контролируется при помощи делителя напряжения, верхним плечом которого является измерительный конденсатор  $C_{и}$ .



Техническим недостатком этой измерительной схемы является использование дополнительного измерительного конденсатора.

Во-первых, сам измерительный конденсатор является дорогим и громоздким электротехническим устройством. Чем выше рабочее напряжение контролируемых вводов, тем дороже будет измерительный конденсатор.

Во-вторых, перед подключением конденсатора к полному напряжению сети необходимо испытать его изоляцию. Реально возможно использование измерительных конденсаторов на напряжение 110 кВ. Измерительные конденсаторы на большие напряжения обычно являются только лабораторными устройствами.

В-третьих, при проведении измерений параметров вводов используют только один конденсатор, поэтому процесс контроля трех вводов силового трансформатора потребует трехкратного подключения и отключения от фаз питающего напряжения. Это повышает общую трудоемкость проведения диагностических работ и может даже повредить трансформатор, так как его придется несколько раз коммутировать.

В результате эта схема «прямого измерения параметров высоковольтных вводов» носит больше теоретический характер, в практических условиях энергетических предприятий она используется диагностическим персоналом редко по техническим и экономическим причинам.

## 2. Комплекс диагностического оборудования фирмы ДИМРУС, предназначенный для мониторинга параметров высоковольтных вводов под рабочим напряжением

Для реализации системы периодического оперативного мониторинга параметров высоковольтных вводов силовых трансформаторов под рабочим напряжением фирмой ДИМРУС разработан и производится полный комплекс специализированного диагностического оборудования, который включает в себя:

- Шестиканальный синхронный векторный измеритель марки Вектор-КИВ/6.
- Устройство присоединения к высоковольтным вводам УП-500 в комплекте с DB-2.
- Устройство присоединения к измерительным трансформаторам напряжения УП-ТН.
- INVA - программное обеспечение мониторинга и управления эксплуатацией вводов.

### 2.1. Шестиканальный векторный измеритель марки Вектор-КИВ/6

Переносной векторный измеритель (измерительный прибор) марки Вектор-КИВ/6 предназначен для проведения оперативного контроля технического состояния вводов силовых трансформаторов и других высоковольтных объектов.

При помощи прибора Вектор-КИВ/6 могут производиться измерение и анализ параметров технического состояния вводов высоковольтного оборудования как под рабочим напряжением, так и с использованием дополнительного испытательного источника.

Технические параметры переносного прибора марки Вектор-КИВ/6 позволяют реализовать с его помощью все измерительные схемы, описанные выше и предназначенные для контроля параметров вводов под рабочим напряжением.

#### 2.1.1. Функциональные возможности векторного измерителя марки Вектор-КИВ/6:

- Синхронная регистрация входных сигналов по шести измерительным каналам с высоким разрешением по времени и амплитуде. Многоканальность проводимых измерений является принципиальным отличием прибора Вектор-КИВ/6 от векторных измерителей других марок, которые обычно являются двухканальными. Наличие шести измерительных каналов в одном приборе позволяет

одновременно контролировать техническое состояние трех и даже шести высоковольтных вводов, что в результате значительно уменьшает сложность и трудоемкость измерительных работ.

- В качестве измерительного блока в приборе марки Вектор-КИВ/6 использован универсальный прибор диагностики и защиты высоковольтных вводов, имеющий марку КИВ-500/110. Это шестиканальный прибор производства фирмы ДИМРУС прошел все необходимые испытания и внесен в реестр средств измерений РФ № 74028-19.



Рис. 6. Прибор Вектор-КИВ/6, предназначенный для контроля параметров вводов

**2.1.2.** Для удобства практического применения измерительный прибор марки Вектор-КИВ/6 оснащен двумя стандартными интерфейсами связи: беспроводным интерфейсом марки Bluetooth и проводным интерфейсом марки RS-485.

Наличие двух интерфейсов связи в одном приборе позволяет реализовать дополнительные возможности его практического применения:

- Использование в приборе Вектор-КИВ/6 стандартного беспроводного интерфейса связи марки Bluetooth (BLE) позволяет управлять всеми функциями работы Вектор-КИВ/6 со смартфона, планшета или ноутбука. Это повышает оперативность работы, а самое важное, обеспечивает высокую безопасность проведения работ при проведении измерений в высоковольтном оборудовании.

- Также благодаря наличию беспроводного интерфейса Bluetooth имеется возможность в режиме реального времени

передавать необходимую информацию о состоянии высоковольтных вводов из векторного измерителя на смартфон, планшет или ноутбук на дальность до 200 метров. Со смартфона по стандартному телефонному каналу связи GSM эта информация может быть оперативно передана другим техническим специалистам и на сервер системы управления эксплуатацией высоковольтного оборудования предприятия. Это в значительной степени повышает оперативность диагностических работ и сокращает время принятия необходимых технических и управляющих решений.

- Третьим достоинством применения в Вектор-КИВ/6 беспроводного интерфейса марки Bluetooth является возможность организации оперативной передачи информации непосредственно между несколькими измерительными приборами марки Вектор-КИВ/6. Такая беспроводная функция удобна для проведения обмена информацией при одновременном измерении параметров вводов высоковольтных объектов несколькими приборами марки Вектор-КИВ/6. Эта возможность максимально важна при практической реализации сложных измерительных схем, описанных выше в разделах 1.3 и 1.4.

- Наличие в приборе проводного гальванически изолированного интерфейса RS-485 позволяет оперативно передавать информацию в систему АСУ-ТП. Эта функция удобна при организации временного мониторинга вводов трансформатора в некоторых специальных режимах работы контролируемого оборудования, например, при вводе в эксплуатацию после первичного монтажа или проведения ремонта.

**2.1.3.** Технические и диагностические возможности практического применения векторного измерителя марки Вектор-КИВ/6 для проведения оперативного контроля технического состояния вводов силовых трансформаторов:

Измерительный прибор марки Вектор-КИВ/6 разрабатывался и максимально эффективно используется для работы в двух основных диагностических режимах:

- Режим оперативного периодического мониторинга высоковольтных вводов под рабочим напряжением, реализуемый без вывода оборудования из эксплуатации. Работа векторного измерителя в этом режиме возможна только при наличии заранее установленных на контролируемых вводах устройств присоединения марки DB-2 в составе УП-500. При практической реализации тех измерительных схем, в которых для контроля вводов используются напряжения от ТН, на подстанции необходимо также заранее смонтировать устройства присоединения марки УП-ТН.

- Режим периодического мониторинга параметров высоковольтных вводов под рабочим напряжением, реализуемый с выводом оборудования из эксплуатации. На отключенном оборудовании на контролируемых

вводах производится монтаж устройства присоединения марки УП-500. Далее производится подача напряжения на трансформатор и измерение параметров. После проведения измерений устройство присоединения демонтируется при повторном отключении трансформатора.

Подключение прибора Вектор-КИВ/6 к устройствам присоединения УП-500 производится универсальным кабелем с однотипными разъемами на концах, имеющими защищенное исполнение. Соответствующие ответные части разъемов смонтированы на лицевой панели измерительного прибора и в устройстве присоединения УП-500. Соединительный кабель является четырехжильным, поэтому для подключения сигналов от трехфазной группы вводов к прибору достаточно одного кабеля.

При помощи второго аналогичного сигнального кабеля, входящего в состав поставки прибора, оставшиеся три входа векторного измерителя могут быть подключены или ко второй группе вводов, или к трехфазному измерительному трансформатору напряжения при помощи устройства присоединения УП-ТН. Для этого в устройстве присоединения УП-ТН также смонтирована ответная часть разъема для подключения сигнального кабеля.

Для удобства сборки измерительных схем, их унификации и снижения общей трудоемкости проводимых измерений параметров вводов комплекс оборудования ДИМРУС имеет следующие технические особенности:

- Выходные сигналы устройств присоединения УП-500 и УП-ТН нормализованы, их выходы могут быть подключены к любым «тройкам» входов измерительного прибора Вектор-КИВ/6.
- Сигнальные трехфазные соединительные кабели от УП к прибору являются универсальными, с их помощью можно подключать к любой «тройке» входов прибора любое устройство присоединения.

Для проведения измерений параметров векторов токов и напряжений вне системы периодического мониторинга параметров вводов, в состав прибора Вектор-КИВ/6 включены две коммутационные коробки, которые подключаются к прибору при помощи тех же универсальных сигнальных кабелей. На этих коробках выведены клеммы входов векторного измерителя, с помощью которых опытный пользователь может собрать такую измерительную схему, которая нужна ему для решения возникших практических задач.

#### **2.1.4. Особенности конструкции векторного измерителя Вектор-КИВ/6:**

При создании прибора Вектор-КИВ/6 максимально использовались технические решения, упрощающие практическую и экспертную работу диагностического персонала:

- Для обеспечения безопасности и оперативности работы в приборе реализована система беспроводного управления функциями прибора со смартфона или планшета. На самом приборе нет органов управления и индикации режимов работы, имеется только кнопка включения питания прибора.
- В программное обеспечение прибора Вектор-КИВ/6 встроена уникальная экспертная диагностическая система, позволяющая определять параметры контролируемых вводов при использовании различных измерительных схем.
- В приборе предусмотрена комбинация стандартного сетевого питания и питания от встроенного аккумулятора, обеспечивающего работу измерительного прибора в течение рабочей смены.
- Измерительный прибор Вектор-КИВ/6 может эксплуатироваться в широком диапазоне внешних температур, от минус 40 до +60 градусов.
- Измерительный прибор Вектор-КИВ/6 поставляется в прочном транспортном защитном кейсе. В этом кейсе наряду с самим прибором находятся соединительные сигнальные кабели и дополнительные коммутационные коробки, предназначенные для сборки измерительных схем без использования устройств присоединения УП-500 и УП-ТН.

#### **2.1.5. Дополнения к стандартной поставке векторного измерителя марки Вектор-КИВ/6:**

- С прибором Вектор-КИВ/6 может быть поставлен дополнительный кейс с двумя устройствами присоединения УП-500 и УП-ТН. При помощи этих устройств можно оперативно собирать измерительные схемы для разовых измерений параметров высоковольтных вводов (в данной поставке УП-500 не включает в себя устройства ДВ-2, уникальные для вводов различных производителей.)
- По заказу с прибором Вектор-КИВ/6 и устройствами присоединения могут быть поставлены три универсальных устройств присоединения ДВ-2, каждый с набором из 3 (по выбору) переходников для подключения к высоковольтным вводам различных производителей. Комплект поставляется в отдельном транспортном кейсе. Для различных классов рабочих напряжений используются различные ДВ-2.



## 2.2. Устройство подключения марки УП-500 для оперативного измерения параметров высоковольтных вводов трансформаторов под рабочим напряжением

Для оперативного подключения векторного измерителя (любой марки) к измерительным выводам высоковольтных вводов без отключения силового трансформатора необходимо использовать трехфазные устройства присоединения марки УП-500.

Конструктивно устройство присоединения УП-500 состоит из двух элементов:

- Основу комплекта составляют три отдельных устройства присоединения (датчика) марки DB-2, которые монтируются непосредственно на измерительных выводах контролируемых вводов.
- При помощи коаксиальных кабелей сигналы от трех устройств DB-2 передаются на общую коммутационную плату марки УП, располагаемую в металлическом защитном шкафу рядом с контролируемым трансформатором.



Рис. 7. Устройство присоединения УП-500 для оперативного измерения параметров вводов под рабочим напряжением

Переносной измерительный прибор для контроля токов проводимости изоляции вводов (подходит прибор производства любой фирмы) в любой момент времени может быть оперативно, без вывода трансформатора из эксплуатации, подключен к выходным разъемам коммутационной платы. После этого на плате отключается ключ защитного замыкания токов проводимости изоляции вводов на землю (используется для обеспечения безопасности вводов) и можно проводить измерения токов проводимости изоляции вводов.

Для обеспечения дополнительной безопасности работ и защиты контролируемых вводов, дополнительно к защитным элементам, смонтированным внутри датчика марки DB-2, на коммутационной плате УП смонтированы защитные элементы. С их помощью ограничивается максимальное напряжение на измерительных выводах контролируемых вводов даже при аварийном отключении (при повреждении, обрыве) сигнального кабеля от платы к измерительному прибору.

Универсальное устройство присоединения (датчик) марки DB-2 предназначено для подключения переносных приборов и стационарных систем мониторинга к измерительным выводам (ПИН) высоковольтных вводов различных производителей.



Рис. 8. Устройства присоединения марки DB-2 для монтажа на измерительных выводах высоковольтных вводов

Основные задачи, которые решает устройство присоединения DB-2:

- DB-2 обеспечивает надежный контакт измерительного вывода ввода (ПИН) с переносным измерительным прибором.

- DB-2 имеет встроенную дублированную электрическую защиту ПИН ввода от импульсных высокочастотных перенапряжений и обрыва сигнального кабеля.

- Конструкция устройства присоединения DB-2 обеспечивает надежную герметизацию и защиту от проникновения влаги в зону ПИН ввода.

- DB-2 является аттестованным устройством и рекомендовано к применению в ПАО РОССЕТИ.

Фирмой ДИМРУС производится несколько вариантов DB-2 различного

конструктивного исполнения, адаптированных к установке на вводах различных производителей высоковольтных вводов, продукция которых используется в силовых трансформаторах. Основные отличия между устройствами присоединения DB-2 заключаются в особенностях конструкции посадочного места для установки устройств присоединения на измерительных выводах высоковольтных вводов разных фирм. Также имеются различия в устройствах присоединения марки DB-2, предназначенных для использования с вводами силовых трансформаторов разных классов рабочего напряжения.

Достоинством использования устройства присоединения марки УП-500 в комплекте с тремя универсальными устройствами марки DB-2 является наличие дополнительной возможности оперативного измерения частичных разрядов в изоляции вводов и в баке трансформатора.

Эти важные для контроля технического состояния изоляции вводов измерения делаются при помощи любых переносных приборов различных фирм производителей диагностического оборудования. Приборы измерения частичных разрядов оперативно подключаются к специальным высокочастотным коаксиальным разъемам, установленным непосредственно на плате УП. Для эксплуатационного персонала важным является то, что такие измерения можно оперативно производить без дополнительного вывода трансформатора из работы, обычно необходимого для установки на нем специализированных датчиков частичных разрядов.

### **2.3. Устройство УП-ТН для оперативного подключения прибора Вектор-КИВ/6 к трехфазному напряжению измерительного ТН**

Для того, чтобы переносные приборы, предназначенные для контроля параметров вводов силовых трансформаторов можно было оперативно подключать к напряжениям измерительного ТН, используются специализированные устройства присоединения марки УП-ТН. Необходимость применения устройства присоединения определяется выбранной схемой.



Рис. 9. Устройство присоединения марки УП-ТН для контроля напряжений измерительного ТН

Устройство присоединения УП-ТН производства ДИМРУС предназначено для решения нескольких задач в системе периодического оперативного мониторинга вводов, основными из которых являются:

- Обеспечение оперативного и безопасного подключения любого переносного измерительного и диагностического оборудования к трехфазным напряжениям от измерительного ТН.
- Обеспечение защиты напряжений измерительного ТН подстанции от влияния переносных приборов, подключаемых к выходному разъему УП-ТН. Любые электрические процессы во вторичной цепи устройства присоединения марки УП-ТН не оказывают влияния на первичные напряжения от ТН.
- Обеспечение гальванической развязки входных цепей измерительного прибора от цепей трансформатора напряжения. Это делается для повышения безопасности работ и уменьшения влияния помех.
- Преобразование реальных трехфазных напряжений от измерительного ТН, которые в системе напряжений подстанции обычно имеют заземленную фазу «В», в систему классических трех фазных напряжений, включенных по схеме «звезда» с заземленной нулевой точкой. Именно такие фазные напряжения необходимы для корректного измерения и анализа

параметров высоковольтных вводов силовых трансформаторов, которые всегда работают «под фазным напряжением» трехфазной сети.

- Формирование в УП-ТН из напряжений измерительного ТН нормализованных выходных токовых сигналов, которые можно напрямую подавать на измерительные входы переносного прибора марки Вектор-КИВ/6 или аналогичного измерительного прибора производства другой фирмы.

Для практической реализации возможности оперативного проведения измерений параметров вводов устройство присоединения УП-ТН необходимо заранее смонтировать на подстанции и подключить к напряжениям измерительного трансформатора напряжения.

При проведении измерений параметров вводов необходимо только подключить к выходному разъему УП-ТН универсальный сигнальный кабель от трех входов прибора Вектор-КИВ/6. Такая процедура

подготовки к проведению измерений параметров вводов выполняется оперативно и безопасно, без воздействия на оперативные напряжения подстанции.

### **3. Организация оперативного мониторинга вводов под рабочим напряжением, управление эксплуатацией по техническому состоянию**

Система периодического оперативного контроля параметров и технического состояния высоковольтных вводов силовых трансформаторов под рабочим напряжением является составной частью общей системы управления эксплуатацией высоковольтного оборудования по техническому состоянию любого энергетического предприятия.

По этой причине кроме чисто технических вопросов, связанных с проведением измерений параметров высоковольтных вводов, необходимо учитывать не менее важные организационные, экспертные и прогнозные особенности практической реализации системы управления эксплуатацией высоковольтного оборудования по техническому состоянию.

В этом направлении можно выделить пять наиболее значимых вопросов, без комплексного решения которых невозможно создание эффективной системы управления эксплуатацией любого высоковольтного оборудования, в частности вводов силовых трансформаторов:

- Подготовка организационных и методических работ, направленных на оптимальное управление всеми измерительными и диагностическими работами, выбор параметров, на основании анализа которых формируются графики проведения диагностических работ.

- Создание и реализация эффективных экспертных алгоритмов, при помощи которых производится определение текущего технического состояния высоковольтных вводов после проведения измерений. На основании результатов работы этих алгоритмов осуществляется ранжирование всего парка эксплуатируемых высоковольтных вводов по техническому состоянию.

- Создание на основе доступной первичной информации эффективной универсальной математической модели вводов, учитывающей текущее техническое состояние изоляции, температурные коэффициенты влияния, влагосодержание и т. д.

- Автоматизированная адаптация параметров универсальной математической модели к каждому конкретному вводу. Это необходимо делать с целью учета реальных условий эксплуатации каждой единицы, появления и развития в них признаков дефектных состояний. После адаптации универсальной модели к конкретному устройству ее часто называют цифровым двойником объекта. Цифровые двойники высоковольтных вводов используются при проведении процедур предиктивного анализа, определяющего скорость изменений технического состояния вводов на будущих этапах эксплуатации.

- Планирование оптимальных сроков и объемов проведения необходимых сервисных и ремонтных работ. Формирование практических рекомендаций по срокам замены высоковольтных вводов, находящихся в предаварийном состоянии.

Все эти функции мониторинга и формирования управляющих воздействий являются базовыми составляющими системы эксплуатации высоковольтных вводов силовых трансформаторов по техническому состоянию. Какое бы программное обеспечение мониторинга для этого ни использовалось, все равно в нем должны быть эти вышеперечисленные экспертные алгоритмы, реализованные в виде различных подпрограмм.

Очень важным является то, что эти функции должны быть максимально автоматизированы и не требовали бы специальной подготовки персонала. Например, график проведения ремонтных и сервисных работ должен формироваться автоматически по запросу пользователя и учитывать все проведенные замеры параметров, имеющиеся в базе первичных данных, и все имеющиеся диагностические заключения о техническом состоянии вводов.

#### **3.1. Техническое обеспечение измерительных работ системы управления эксплуатацией высоковольтных вводов**

Наиболее часто на практике реализуются два варианта технического обеспечения измерительных работ, соответствующие организационным особенностям применяемых методов контроля параметров высоковольтных вводов силовых трансформаторов:

- Система периодического проведения измерительных работ с использованием заранее смонтированных на вводах устройств присоединения. При такой системе измерения под рабочим напряжением проводятся без отключения трансформаторов для установки датчиков.

• Система периодического проведения измерительных работ без использования заранее смонтированных на вводах устройств присоединения. При таком подходе перед проведением измерений для установки датчиков необходимо трансформатор выводить из эксплуатации.

Для каждой из этих систем проведения измерений параметров высоковольтных вводов используется свой набор измерительного и дополнительного оборудования.

В таблице приведены рекомендации по составу комплекта технических и программных средств для каждой организационной системы.

№	Система мониторинга вводов	Переносной измерительный комплект		Стационарные УП		ПО INVA
		Вектор-КИВ/6	УП-500 + УП-ТН	УП-500	УП-ТН <sup>(1)</sup>	
1	Полный комплект оборудования для оперативного периодического мониторинга вводов	2 <sup>(2)</sup>	-	Т	Н	+
2	Оборудование для периодического мониторинга высоковольтных вводов	1	1 <sup>(3)</sup>	-	-	+
3	Вектор-КИВ/6, универсальная поставка без устройств присоединения	1	-	-	-	-

Пояснения к таблице:

<sup>(1)</sup> – УП-ТН включается в поставку в случае, когда для расчета параметров вводов используются измерительные схемы с контролем напряжений от измерительного ТН (схемы 1.3. и 1.4.).

<sup>(2)</sup> – количество приборов Вектор-КИВ/6 зависит от выбранной измерительной схемы (одного комплекта достаточно для всех измерительных схем, рассмотренных выше, кроме схемы 1.3.).

<sup>(3)</sup> – входящие в состав одного УП-500 устройства присоединения DB-2 по своим посадочным местам должны соответствовать контролируемым вводам и классу рабочего напряжения.

Т – Общее количество силовых трансформаторов, на которых будут установлены устройства присоединения УП-500.

Н – Общее количество измерительных трансформаторов на подстанции, напряжения которых необходимо контролировать с использованием устройства присоединения УП-ТН.

### 3.2. Программное обеспечение INVA для диагностического мониторинга и управления эксплуатацией высоковольтных вводов силовых трансформаторов

Эффективность использования систем управления эксплуатацией любого высоковольтного оборудования во многом определяется возможностями используемого специализированного программного обеспечения мониторинга и диагностики.

Оптимальное по составу реализованных алгоритмов программное обеспечение мониторинга высоковольтного оборудования должно включать в себя следующие составляющие:

- База данных о всех проведенных замерах, включающая в себя информацию о технических и технологических параметрах контролируемого оборудования.

- Автоматизированная экспертная диагностическая система, определяющая текущее техническое состояние высоковольтных вводов силовых трансформаторов и способная оперативно выявлять признаки наиболее часто встречающихся дефектных состояний оборудования.

- Автоматизированные алгоритмы формирования математических моделей оборудования, оперативной адаптации цифровых моделей высоковольтного оборудования (вводов), учитывающие реальные условия эксплуатации и выявленные дефектные состояния.

- Блок предиктивной аналитики, позволяющий прогнозировать развитие технического состояния вводов силовых трансформаторов на будущих этапах эксплуатации силовых трансформаторов.

- Алгоритмы автоматического формирования графиков проведения ремонтных и сервисных работ с контролируемым высоковольтным оборудованием подстанции.

Этим критериям соответствует программное обеспечение INVA производства фирмы ДИМРУС, предназначенное для организации мониторинга различного электротехнического оборудования, в том числе высоковольтных вводов силовых трансформаторов.