

Вектор-КИВ/6 – векторный измеритель параметров высоковольтных вводов силовых трансформаторов



Рис. 1. Переносной шестиканальный векторный измеритель марки Вектор-КИВ/6

Переносной векторный измеритель марки Вектор-КИВ/6 предназначен для проведения оперативного контроля технического состояния вводов силовых трансформаторов и других высоковольтных объектов под рабочим или испытательным напряжением.

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.

Функциональные возможности прибора 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 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 составе прибора марки Вектор-КИВ/6 использован универсальный прибор диагностики и защиты вводов КИВ-500/110. Это шестиканальный прибор производства

фирмы ДИМРУС прошел все необходимые испытания и внесен в реестр средств измерений.

Интерфейсы связи для передачи информации

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 для 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 главное, обеспечивает высокую безопасность работ при проведении измерений параметров высоковольтного оборудования.

- 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 максимальна важна при практической реализации сложных измерительных схем с контролем питающих напряжений.

- Наличие в приборе Вектор-КИВ/6 стандартного 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 трансформатора в эксплуатацию после первичного монтажа или проведения ремонта.

Функциональное назначение Вектор-КИВ/6

Технические и диагностические возможности векторного измерителя марки Вектор-КИВ/6 позволяют широко использовать его для проведения практического оперативного контроля технического состояния вводов силовых трансформаторов.

Основными режимами работы прибора Вектор-КИВ/6 являются два:

- Режим оперативного периодического мониторинга высоковольтных вводов под рабочим напряжением, реализуемый без вывода оборудования из эксплуатации. Работа векторного измерителя в этом режиме возможна при наличии заранее установленных на контролируемых вводах устройств присоединения марки DB-2 в составе УП-500. При практической реализации измерительных схем, в которых для контроля вводов дополнительно 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 с целью снижения трудоемкости работ, все устройства фирмы ДИМРУС унифицированы:

- 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 диагност может собрать такую измерительную схему, которая нужна ему для решения возникших практических проблем.

Особенности конструкции и технические параметры 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, планшета или ноутбука. На самом приборе Вектор-КИВ/6 нет органов управления режимами работы, имеется только одна кнопка включения питания прибора.

- В программное обеспечение прибора Вектор-КИВ/6 встроена экспертная диагностическая система, позволяющая рассчитывать параметры вводов в различных измерительных схемах.

- 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.

Технические параметры Вектор-КИВ/6

Параметр	Значение
Количество контролируемых вводов	3, 6
Рабочее напряжение вводов, кВ	110 ÷ 750
Диапазон входных токов вводов, мА	0,5 ÷ 200
Погрешность измерения параметров, %	0,1
Диапазон рабочих температур DB-2	-40 ÷ +60
Напряжение питания прибора, В	80 ÷ 260
Мощность, потребляемая из сети, Вт	50

В качестве измерительного блока в составе прибора Вектор-КИВ/6 использован прибор КИВ-500/110 производства ДИМРУС. Он прошел все испытания и внесен в реестр средств измерений РФ № 74028-19.

Прибор Вектор-КИВ/6 поставляется в прочном транспортном защитном кейсе. В этом кейсе, наряду с самим прибором, в отдельном отсеке с крышкой находятся соединительные сигнальные кабели и дополнительные коммутационные коробки, предназначенные для сборки измерительных схем.

Особенности практического применения шестиканального векторного измерителя

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 многоканальные переносные приборы, при помощи которых определяют амплитуды и взаимный сдвиг 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. 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 только 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 большее время.

Общепризнанным является факт, что измерения параметров вводов под рабочим напряжением имеют большую информативность по сравнению с off-line измерениями при пониженном испытательном напряжении. Основной причиной расхождения результатов являются различия в физических процессах в изоляции вводов под высоким рабочим напряжением и при использовании испытательного напряжения. Очень важно понимать, что чем хуже будет техническое состояние контролируемого ввода, тем больше будут различия между результатами измерений под рабочим и при пониженном испытательном напряжении.

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 измерительных приборов к вводам, с одной стороны, и специфическими особенностями используемых для этой цели измерительных схем, с другой стороны.

Ниже достаточно подробно рассматриваются основные проблемы организации измерения параметров высоковольтных вводов силовых трансформаторов под рабочим напряжением. Это:

- Необходимо использовать оптимальные по соотношению трудоемкости и точности схемы измерения параметров вводов под рабочим напряжением.

- Используемые переносные векторные измерители параметров вводов должны соответствовать техническим и стоимостным требованиям.

- Измерения под рабочим напряжением должны производиться с использованием надежных устройств, предназначенных для оперативного подключения измерительного оборудования к вводам силовых трансформаторов и к напряжениям измерительных трансформаторов (ТН).

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

Комплексное решение этих четырех проблем позволяет создать на предприятии единую систему управления эксплуатацией вводов трансформаторов, высоковольтных выключателей и т. д.

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 лучшую оперативность, информативность и точность.

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, и дополнительных диагностических устройств к контролируемым вводам.

Все измерительные схемы предусматривают контроль электрических параметров, токов и напряжений, на основании которого будет производиться расчет наиболее важных эксплуатационных параметров ввода. К ним относятся величины емкости C_1 и тангенса угла потерь изоляции ввода.

В зависимости от конструкции ввода и типа используемой в нем изоляции могут контролироваться и другие параметры, но они для обеспечения безопасности эксплуатации трансформатора менее значимы.

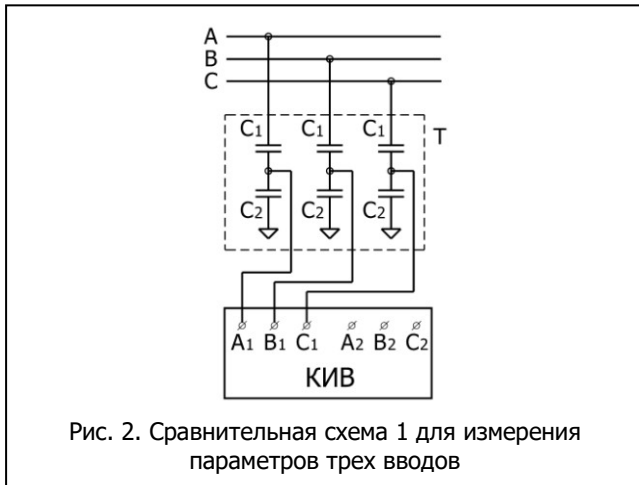
На выбор оптимальной для конкретных условий измерительной схемы влияют два основных вопроса:

- 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 результаты.

- Вторым фактором, влияющим на выбор схемы, являются параметры имеющегося измерительного оборудования, количество измерительных каналов, точность измерения и т. д.

Наиболее часто используемые измерительные схемы контроля параметров вводов под рабочим напряжением

1.1. Сравнительная схема измерения параметров трех вводов силового трансформатора.



В приведенной на рисунке 2 схеме контролируемые вводы условно показаны как емкостные делители C_1/C_2 . Средние точки делителей, которые на реальных вводах выведены на измерительные выходы и называются ПИН, подключаются к векторному измерителю КИВ.

Обязательным требованием к многоканальному векторному измерителю является возможность синхронно и с необходимой точностью регистрировать токи проводимости трех вводов трансформатора.

Алгоритм работы измерительного прибора повторяет работу приборов защиты вводов: производится 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. Поэтому эта измерительная схема называется сравнительной.

Алгоритм проведения диагностического сравнения параметров вводов является двухуровневым:

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

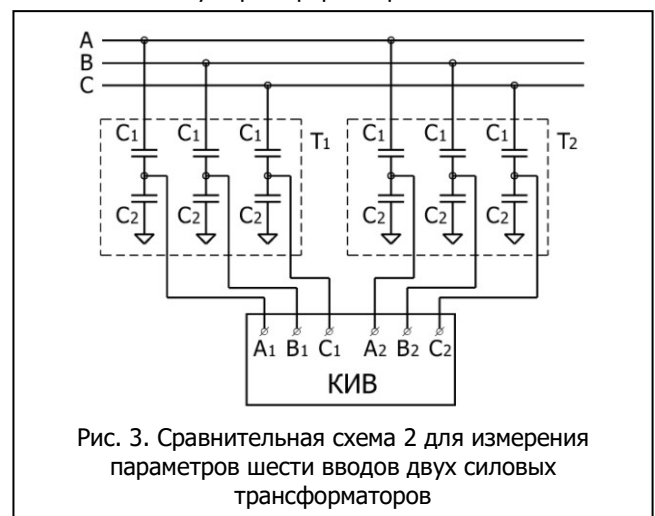
Недостатком этой измерительной схемы является то, что в ней не предусмотрен параллельный (в идеале синхронный) контроль параметров векторов фазных напряжений питающей сети. Любой перекося этих векторов, какими бы причинами он не был вызван, например, несимметричной нагрузкой системы, или подключением или отключением дополнительных ЛЭП,

будет диагностироваться как появление, или как исчезновение (что еще хуже и опаснее для эксплуатации) признаков дефектного состояния одного из вводов.

Чаще всего такая схема используется в приборах защиты высоковольтных вводов. На работу защитных устройств колебания параметров векторов питающей сети не оказывают критического влияния, так как пороги срабатывания устройств защиты обычно грубее, чем возможные колебания параметров сети.

Однако при проведении диагностических измерений, когда экспертные алгоритмы более чувствительны, возможно значительное снижение итоговой достоверности получаемых заключений.

1.2. Сравнительная схема для контроля параметров шести вводов двух трансформаторов.



Для одновременного контроля параметров шести вводов двух силовых трансформаторов, расположенных рядом друг с другом, используется измерительная схема, показанная на рисунке 3. Обязательным условием для использования этой схемы является питание трансформаторов от одной секции шин подстанции.

Измерение параметров вводов и выявление дефектного ввода производится с использованием следующего экспертного алгоритма:

- Производится синхронная регистрация шести токов проводимости вводов при помощи одного векторного измерителя.
- 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 различных 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 полностью является окончательным, необходимо проводить дополнительные исследования.

- 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.

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

1.3. Схема измерения параметров трех высоковольтных вводов с использованием векторов напряжений от измерительного ТН.

Такая измерительная схема для контроля параметров вводов силовых трансформаторов используется в том случае, когда есть техническая возможность подключить к одному векторному измерителю контролируемые вводы силового трансформатора и трехфазные напряжения от измерительного ТН.

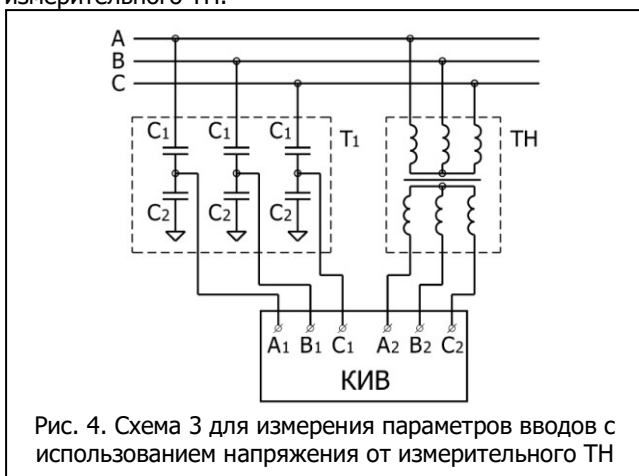


Рис. 4. Схема 3 для измерения параметров вводов с использованием напряжения от измерительного ТН

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 максимально высокую точность так как позволяет определять истинные значения параметров вводов. По точности она приближается к классической схеме раздельного (по фазам) измерения параметров вводов

по методу амперметра – вольтметра, основанному непосредственно на законе Ома.

Погрешность, которая может возникнуть при использовании этой измерительной схемы, обычно является следствием того, что силовой трансформатор, вводы которого контролируются в измерительной схеме, и измерительный ТН обычно располагаются в разных точках подстанции, и заземлены в различных точках. При протекании по заземляющим шинам возникновения уравнивающих токов различной природы возникновения на них будут возникать падения напряжения, которые суммируются с напряжениями ТН и вносят погрешность в диагностические заключения о техническом состоянии вводов трансформатора.

1.4. Схема измерения параметров трех вводов трансформатора с «относительным» использованием векторов трехфазного питающего напряжения.

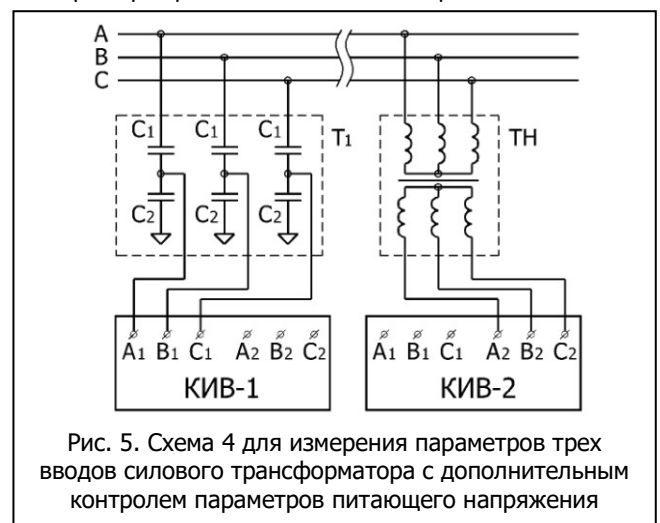


Рис. 5. Схема 4 для измерения параметров трех вводов силового трансформатора с дополнительным контролем параметров питающего напряжения

В этой измерительной схеме, показанной на рисунке 5, для повышения достоверности работы сравнительной схемы измерения параметров вводов производится дополнительный (но раздельный!) контроль питающих напряжений.

Для этого в схеме предусмотрено использование второго векторного измерителя, который будет контролировать трехфазное напряжение от измерительного ТН. Этот измеритель устанавливается на подстанции в том месте, где можно подключиться к напряжениям измерительного ТН.

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

Оба векторных измерителя в этой схеме включаются на регистрацию с использованием режима усреднения контролируемых параметров. Это делается так для того, чтобы на практике максимально обеспечить режим синхронизации измерений двумя приборами, удаленными друг от друга на значительное расстояние.

Диагностическое заключение о техническом состоянии контролируемых вводов в данной измерительной схеме формируется в два этапа.

По результатам проведенных измерений сначала производится обычная сравнительная оценка технического состояния трехфазной группы вводов прибором КИВ-1.

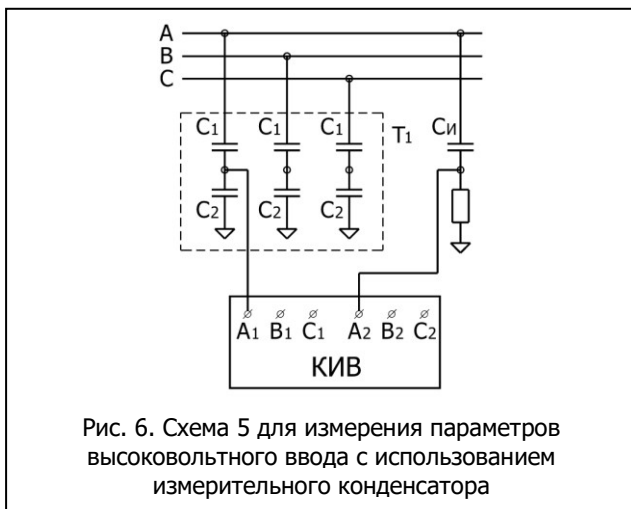
На втором этапе диагностического анализа оценка технического состояния контролируемых вводов силового трансформатора производится с учетом выявленных отличий взаимных соотношений фазных векторов напряжения питающей сети (ТН), полученных при помощи прибора КИВ-2.

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 «дефектный ввод» имеет нормальное техническое состояние.

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 нем реальных признаков дефектного состояния.

Эта измерительная схема является модификацией предыдущей схемы 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 расчетов под рабочим напряжением.

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 до 110 кВ. Конденсаторы на большие напряжения обычно являются 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.

Комплекс диагностического оборудования, позволяющий реализовать систему периодического контроля параметров вводов под рабочим напряжением

Для реализации системы периодического оперативного мониторинга параметров высоковольтных вводов силовых трансформаторов под рабочим напряжением фирмой ДИМУС 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 ДВ-2.
- Устройство присоединения к измерительным трансформаторам напряжения УП-ТН.
- INVA - программное обеспечение мониторинга, диагностики и оперативного управления эксплуатацией высоковольтного оборудования.