

Система мониторинга вводов силовых трансформаторов на основе беспроводных интеллектуальных датчиков марки DB-2S

Для контроля состояния высоковольтных вводов силовых трансформаторов используются достаточно сложные и дорогие системы мониторинга, при помощи которых контролируется несколько основных параметров изоляции ввода. К ним относятся величина емкости ввода C_1 , тангенс угла потерь в изоляции, наличие зависимости параметров ввода от температуры, тренд изменения всех параметров.

Монтаж таких систем является непростой задачей, но особенно трудоемко эти системы устанавливать на уже эксплуатируемых силовых трансформаторах, где приходится заново монтировать датчики и диагностическое оборудование, прокладывать сигнальные, силовые и информационные кабельные линии в условиях действующей подстанции.



Рис. 1. Внешний вид беспроводного датчика марки DB-2S с переходником для крепления на вводах производства фирмы «Масса».

Этих недостатков лишена система мониторинга состояния вводов, созданная на основе беспроводных датчиков марки DB-2S, предназначенных для контроля токов проводимости изоляции ввода. Эти датчики имеют меньшую стоимость и легко монтируются на любом трансформаторе, как только выпущенном с завода, так и на уже находящемся в эксплуатации длительное время.

Беспроводные датчики марки DB-2S являются интеллектуальными, поскольку все процессы регистрации сигналов, обработки и оценки технического состояния вводов производятся во внутреннем программном обеспечении датчика. Выходной информацией датчика DB-2S являются не просто сигналы, а итоговая экспертная информация о текущем техническом состоянии контролируемого высоковольтного ввода.

По этой причине, а также благодаря простоте монтажа и демонтажа, беспроводные датчики марки DB-2S являются оптимальным и оптимальным средством для организации мониторинга, оперативной диагностики и оценки состояния вводов.

Достоинства датчиков DB-2S

Датчики марки DB-2S предназначены для контроля технического состояния высоковольтных вводов всех типов и классов рабочих напряжений, оснащенных измерительным выводом.

Конструктивно и алгоритмически датчик DB-2S является основным элементом для систем мониторинга состояния вводов. Он позволяет оперативно решать все основные задачи диагностического мониторинга.

Особенностью конструкции датчика DB-2S является его полностью беспроводное исполнение. Встроенная электроника датчика питается от тока проводимости контролируемого ввода, а выходную информацию о его техническом состоянии датчик передает по беспроводным интерфейсам.

К основным достоинствам датчика DB-2S можно отнести следующее:

- Компактное защищенное исполнение, благодаря которому датчик может быть оперативно смонтирован на вводе и включен в режим мониторинга за время короткого вывода трансформатора из эксплуатации.
- Беспроводная работа датчика, когда его питание осуществляется от тока проводимости ввода.
- Контроль двух технических параметров состояния ввода: тока проводимости, на основании которого рассчитывается величина емкости ввода C_1 , а также текущей температуры ввода.
- Передача информации о состоянии ввода в систему АСУ-ТП при помощи беспроводного интерфейса LoRa ONE на дальность до 1 км.
- Использование двойного шифрования выходной информации о состоянии ввода, передаваемой по беспроводному интерфейсу. Это обеспечивает высокую информационную безопасность системы мониторинга состояния вводов.

Контролируемые параметры состояния ввода

Определение технического состояния ввода и оценка возможности его дальнейшей эксплуатации в датчике DB-2S производятся по двум основным дефектным параметрам.

Основным диагностическим параметром, определяющим техническое состояние ввода, является изменение емкости C_1 в процессе эксплуатации. Величина этой емкости определяется как суммарная емкость последовательно включенных изолирующих обкладок, служащих для выравнивания распределения электрического поля внутри ввода.

Самым опасным, дефектом изоляции вводов является пробой диэлектрика на одном или нескольких изоляционных промежутках, который приводит к замыканию между проводящими обкладками из фольги. Исключение из общей цепи одной из последовательно

включенных емкостей изоляционных промежутков приводит к повышению суммарной емкости ввода C_1 .

Количество изоляционных промежутков в изоляции в конкретном вводе зависит от его рабочего напряжения. Это количество варьируется от 10, что справедливо для вводов с рабочим напряжением 110 кВ, до 50 для вводов с рабочим напряжением 500 кВ.

При наличии большого количества изоляционных промежутков при замыкании двух обкладок внутри ввода его ток проводимости изменится на величину от 2 до 10% для вводов с рабочим напряжением 500 и 110 кВ соответственно. Очевидно, что при замыкании двух изоляционных промежутков увеличение величины тока проводимости будет в два раза больше.

Вторым критерием изменения технического состояния ввода является вторичный параметр, показывающий, на какую величину возрастет напряжение на оставшихся изоляционных промежутках после замыкания дефектного. Это происходит потому, что приложенное напряжение распределится на меньшее количество изоляционных промежутков.

Если условно принять, что номинальное (расчетное) напряжение на каждом изоляционном промежутке составляет 6 кВ, то после замыкания одного промежутка напряжение на оставшихся возрастет на величину от 120 до 600 В. Это количественное увеличение справедливо для вводов с рабочим напряжением 500 и 110 кВ соответственно.

Пороги изменения состояния вводов по току проводимости в датчике DB-2S определяются на основании количества замкнутых изоляционных промежутков во вводе и с учетом того, насколько возрастет напряжение, приложенное на оставшиеся изоляционные промежутки.

Количественные значения порогов применительно к токам проводимости изоляции дифференцированы для вводов наиболее часто встречающихся классов рабочих напряжений. Для разных силовых трансформаторов они приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Рабочее напряжение ввода, кВ	Порог тревожного состояния, %	Порог предаварийного состояния, %
110	-	+8
220	+6	+8
330	+4	+7
500	+3	+6
750	+3	+6

Разные величины пороговых значений в датчике марки DB-2S для вводов разных классов рабочих напряжений определяются общим количеством изоляционных промежутков. Для вводов с напряжением 110 кВ даже отсутствует порог тревожного состояния, так как даже замыкание одного изоляционного промежутка приводит к увеличению тока проводимости почти на 10%.

Влияние колебаний напряжения на датчик

Особенностью работы датчиков марки DB-2S является то, что они контролируют только величину тока проводимости ввода, и по этому параметру рассчитывается емкость ввода C_1 . При этом не учитывается возможное изменения напряжения на обмотках трансформатора, в расчетах оно принимается постоянным, равным номинальному значению.

В реальных условиях эксплуатации силовых трансформаторов напряжение в системе может меняться по различным причинам. Обычно это происходит при изменении нагрузки потребителей или при изменении конфигурации системы: подключении или отключении потребителей, линий, генераторов.

В более сложных системах мониторинга вводов силовых трансформаторов для учета колебания напряжений сети в расчетах емкости C_1 используются напряжения от измерительных ТН. Это повышает точность, но усложняет систему, а применительно к использованию беспроводных датчиков требует установки дополнительных устройств контроля напряжений ТН. Это возможно сделать, но на самом деле контроль напряжений сети не является критическим условием для работы систем мониторинга высоковольтных вводов.

Все часто происходящие колебания напряжения сети носят достаточно ограниченный характер. По имеющейся у нас информации об условиях эксплуатации более чем 8000 систем мониторинга вводов колебания напряжения системы более чем на 2% наблюдались менее чем у одного процента подстанций, да и то только для трансформаторов с рабочим напряжением 110 кВ.

Такие колебания напряжения сети 110 кВ в 2% при пороговом значении в 8% не могут оказать существенного воздействия на работу системы мониторинга высоковольтных вводов.

Для силовых трансформаторов с большим рабочим напряжением системы контроля вводов на основе DB-2S будут работать еще более устойчиво по двум причинам:

- Колебания напряжения в системе будут меньше 2%, а эта величина меньше порогового значения тревожного уровня, тем более предаварийного, по которому оценивается состояние ввода.
- Силовые трансформаторы таких классов напряжений обычно оснащаются эффективными системами контроля параметров, в число которых обязательно входит рабочее напряжение обмоток трансформатора. Знание этого параметра позволит, при необходимости, уточнить реальное значение текущей емкости контролируемого ввода C_1 .

Обеспечение безопасной работы ввода

Основными требованиями к датчику контроля высоковольтных вводов, наряду с обеспечением необходимой точности измерений тока проводимости, является обеспечение безопасности работа ввода во всех режимах, включая переходные.

При создании систем мониторинга вводов в устройства присоединения, устанавливаемые на измерительных выводах, необходимо встраивать защиты двух типов:

- Защита ввода от внешних перенапряжений на измерительном выводе, ограничивающей возможные импульсные броски напряжения уровнем в 500 В. Основной причиной таких перенапряжений являются грозовые и коммутационные импульсы.

- Защита измерительного вывода ввода от повышения уровня напряжения, которое может возникнуть при обрыве сигнального кабеля от устройства присоединения к прибору системы мониторинга.

В случае использования беспроводных датчиков для контроля вводов необходимо использовать только один тип защиты – от импульсных перенапряжений на измерительном выводе. Соединительный кабель в беспроводной системе мониторинга отсутствует, поэтому необходимость в использовании защиты от его обрыва отсутствует.

Практическое применение датчиков DB-2S

Датчики монтируются на измерительных выводах высоковольтных вводов силового трансформатора с использованием переходных втулок и уплотнений.

При включении трансформатора в работу через емкость C_1 начинает протекать ток проводимости, и электроника датчика начинает работать. Производится измерение тока и температуры датчика. В соответствии с рабочим напряжением трансформатора, связанными с величиной тока проводимости, определяется текущее техническое состояние контролируемого ввода.

Вся информация о состоянии ввода доступна обслуживающему персоналу в трех вариантах:

- Визуальный контроль во время проведения периодических осмотров оборудования. На торцевой крышке датчика расположены два ярких светодиода, работающие в импульсном режиме. Зеленый светодиод информирует о нормальной работе датчика. Если дополнительно мигает красный светодиод, то это говорит о наличии проблем в изоляции ввода и превышении тревожного порога. Мигание только одного красного светодиода сигнализирует о превышении предаварийного порога состояния ввода.

- Техническое состояние ввода обслуживающий персонал может контролировать дистанционно во время периодических осмотров оборудования. Для этого на смартфон или планшет устанавливается соответствующее программное обеспечение. Передача информации от датчика на смартфон производится по стандартному протоколу Bluetooth, действующему на расстоянии до 50 метров от датчика. Используя

смартфон, пользователь может не только просмотреть текущие данные, но и скачать архив измеренных параметров.

- Удаленный мониторинг технического состояния вводов. Независимо от мигания светодиодов и просмотра информации на смартфоне датчик DB-2S периодически пересылает информацию о состоянии ввода по стандартному беспроводному интерфейсу LoRa ONE, действующему в условиях подстанции на расстоянии до 1 км. Приемник системы LoRa ONE располагается в помещении подстанции, подключен к системе АСУ-ТП и может собирать информацию от всех датчиков DB-2S, установленных на вводах трансформаторов. Наличие в системе АСУ-ТП такого параметра, как напряжение на трансформаторе, может, при необходимости, уточнить величину емкости C_1 .

Конструктивное исполнение DB-2S

Комплект поставки беспроводной системы мониторинга вводов силовых трансформаторов включает универсальные датчики марки DB-2S и набор дополнительных переходных втулок, которые предназначены для надежного и герметичного монтажа корпуса датчика на измерительных выводах высоковольтных вводов различных производителей.

Вся электроника датчика смонтирована в герметичном защищенном металлическом корпусе с радиопрозрачным окном для антенны беспроводной связи. Она состоит из блока питания от тока проводимости ввода, датчиков тока и температуры, измерительной схемы и передатчика беспроводных интерфейсов связи.

Конструкция и электронная часть беспроводного датчика DB-2S является универсальной, она может быть использована для контроля вводов любого класса рабочего напряжения.

Пороги технического состояния контролируемого ввода в датчике формируются автоматически. Основанием для этого служит величина измеренного тока проводимости изоляции, прямо связанная с рабочим напряжением ввода. При необходимости пороги можно скорректировать по радиоканалу со смартфона при помощи установленной программы настройки системы мониторинга.

Режим передачи информации по беспроводному интерфейсу имеет особенности для вводов с рабочим напряжением 110 кВ. В связи с тем, что ток проводимости таких вводов невелик и составляет примерно 5 мА, энергии для постоянной работы передатчиков, потребляющих достаточно много, не хватает.

Для компенсации малой мощности источника питания в схеме предусмотрен накопитель энергии. В постоянном режиме производится только регистрация тока проводимости, а весь избыток энергии накапливается. При достижении определенного уровня заряда дается разрешение на работу передатчика беспроводного интерфейса.

Чем больше ток проводимости ввода, тем короче паузы, в течение которых производится накопление энергии. При токах проводимости вводов от 15 мА передатчик может работать постоянно.

Монтаж DB-2S на измерительном выводе

Каждый из отечественных и зарубежных производителей высоковольтных вводов использует свою конструкцию узла подключения, герметизации и заземления измерительного вывода. Поэтому оптимальной для системы контроля высоковольтных вводов трансформаторов является конструкция, состоящая из универсального датчика и переходной крепежной втулки, уникальной для каждого типа высоковольтного ввода.

Перечень и размеры наиболее часто встречающихся посадочных мест для измерительных выводов приведен в таблице 2.

Таблица 2.

ПИН	Фирма	Марка вводов
UHF 2,25"	ABB, TRENCH	ОТА, СОТ, ЕТА, ГОЕ
M16x1,5	ABB, TRENCH	ОТА, СОТ, ЕТА, ЕТГ
ТР 3/4"	ABB	BRIT, RTXF, RTKF
M24x1,5	HSP	SETFL, ETFT, STARIP
M30x2	ABB	GSA, GSB
M30x1,5	HSP, MGC	EKTO, TRAVESCA
M42x1,5	Мосизолятор	ГКТ
M39x2	Мосизолятор	
D56	Мосизолятор	ГБМТ, ГМТ, ГТТ, ГМР

Фирмой ДИМРУС производятся 12 переходников, которые включают все типоразмеры, приведенные в таблице 2. При помощи этих переходников на измерительных выводах высоковольтных вводов монтируются стандартные устройства присоединения марки DB-2, которые используются для всех «проводных» систем мониторинга и сертифицированы для применения на всех высоковольтных



Рис. 2. Переходники для установки датчиков DB-2 и DB-2S на измерительных выводах вводов

трансформаторах. Фото этих переходников приведено на рисунке 2.

Переходники, применяемые для монтажа устройств присоединения, можно без какой-либо модификации использовать для монтажа беспроводных датчиков марки DB-2S на вводах различных производителей. Это возможно потому, что и датчики марки DB-2S, и устройства присоединения марки DB-2 имеют одинаковые посадочные размеры.

Технические параметры датчика DB-2S

Ток проводимости вводов, мА	5 ÷ 70
Погрешность измерения тока, %	0,5
Рабочее напряжение вводов, кВ	до 700
Диапазон рабочих температур, град	-40 ÷ +80
Размеры датчика (L*D), мм	70 * 60
Вес датчика, не более, кг	0,5

Выводы и заключения

1. Система мониторинга на основе беспроводных интеллектуальных датчиков марки DB-2S является максимально дешевым универсальным и эффективным диагностическим средством контроля состояния высоковольтных вводов.

2. Передача информации о текущем состоянии вводов при помощи нескольких беспроводных интерфейсов обеспечивает гибкость и оперативность работы системы мониторинга.

3. Использование в интерфейсе LoRa ONE двойного шифрования передаваемой информации обеспечивает необходимую безопасность работы системы мониторинга.

4. Использование универсальных беспроводных датчиков марки DB-2S эффективно для контроля проблемных вводов, поставленных на контроль, на которых можно оперативно смонтировать систему мониторинга.