



**ИСПЫТАНИЕ ИЗОЛЯТОРОВ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ НА  
ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ**

Чарльз Жан, Dr. Eng

## Введение

Состояние изоляторов на линиях передачи и распределения электроэнергии представляет собой первостепенно важное условие для успешного функционирования энергосистемы. Поврежденные или не отвечающие требованиям по своим электрическим характеристикам дефектные изоляторы могут привести к дорогостоящим отключениям в энергосистеме, серьезным травмам или смертельным случаям.

Данные измерений, полученных путем периодических обследований гирлянд изоляторов, могут систематически загружаться и сохраняться, создавая таким образом диагностическую базу данных. Эта база данных может использоваться для выявления недостаточно надёжных изоляторов, обнаружения повреждений или дефектов изоляторов, а также для прогнозирования ухудшения их состояния с течением времени на основе анализа накопленных количественно выраженных данных.

Данная статья описывает каким образом методика измерения электрического поля может своевременно предупредить использующего её специалиста о наличии опасной ситуации на находящихся под напряжением линиях посредством визуального и звукового контроля, подающего предупредительный сигнал: «Исправно/Неисправно» что означает «Опасно работать на линии или нет».

Линейные подвесные изоляторы обычно характеризуются продолжительным сроком службы и не требуют больших усилий по поддержанию их нормального технического состояния. Тем не менее, полезно предпринимать профилактические меры для того, чтобы выявить поврежденные (деградировавшие) или вышедшие из строя изоляторы до того, как они создадут серьезные проблемы. Методы проверки состояния изоляторов предполагают возможность использования различных подходов - от простой визуальной инспекции до процедур с использованием испытательного оборудования и различаются по степени простоты и надежности.

Отказы изоляторов могут быть разделены на три категории: загрязнение поверхности, пробой (утечка тока), вандализм. Если отказы первой категории можно исправить путем очистки изоляторов, то отказы второй и третьей категорий носят необратимый и постоянный характер. Каждый вид отказов изменяет электрические свойства изоляторов увеличивая их электропроводность. Это и позволяет выявлять ухудшение свойств изоляторов и гирлянд изоляторов, используя метод измерения электрического поля. Следует заметить, что в случае гирлянды керамических изоляторов отказ одного изолятора не обязательно вызывает потерю электрических свойств всей гирлянды в целом.

Гирлянды керамических изоляторов с металлическими соединительными элементами формируют параметры электрического поля вдоль гирлянды. Удлиненные композитные (полимерные) изоляторы со стекловолоконными стержнями, составляющими основу изоляторов, характеризуются величиной тока утечки, измеряемого в микроамперах (при

условии хорошего состояния) и оказывают относительно небольшое воздействие на формирование электрического поля вблизи изолятора. Таким образом, напряженность электрического поля на обоих концах композитного изолятора гораздо выше, чем на гирлянде керамических изоляторов. Как это доказано на практике, изменение в распределении электрического поля вдоль изолятора служит эффективным методом для определения деградации всех видов изоляторов включая керамические и композитные изоляторы.



**Проверка композитного изолятора  
с использованием метода измерения электрического поля**

## Методология

Линейные подвесные изоляторы используются на воздушных линиях электропередач для того, чтобы механически поддерживать высоковольтные провода, обеспечивая в то же время достаточную изоляцию для того, чтобы выдержать перенапряжения, вызванные переключениями (коммутациями) и разрядами молний. Поскольку эксплуатационную долговечность конкретных изоляторов трудно прогнозировать, их состояние должно периодически контролироваться для того, чтобы постоянно обеспечивать надлежащую надежность линии.

На протяжении многих лет множество методов контроля применялось для этой цели, и каждый из них имеет свои отличительные преимущества и недостатки.

Существует четко выраженная необходимость в надежном и безопасном методе испытания изоляторов, который отвечал бы следующим условиям:

- не требовал бы вывода из строя изолятора путем воспроизводства условий короткого замыкания (экстремальный метод);
- незамедлительно предупреждал электромонтеров о любом опасном дефекте, приводящем к перекрытию изоляции, визуальным и слуховым сигналом, сообщающим о том, безопасно или нет работать на линии;
- сразу же после испытания изолятора воспроизводил на экране портативного компьютера (ноутбука) или планшета графически выраженное распределение электрического поля;
- обладал легким весом и позволял легко и быстро произвести сканирование;

- обеспечивал автоматическую регистрацию дефектных изоляторов и выполнял в автоматическом режиме измерения и оценку неисправностей, а также их местонахождения;
- не зависел от субъективного суждения работающего на линии персонала относительно определения вида неисправности;
- повышал эффективность и производительность работающих на линии и служил полезным инструментом для технического обслуживания;
- являлся безопасным в использовании на линиях под напряжением;
- использовался для получения статистических данных о функционировании и ухудшении состояния установленных керамических и композитных изоляторов.

Четко выраженное преимущество метода измерения электрического поля состоит в том, что он позволяет измерять величину, пропорциональную разнице в напряжении на разных участках композитного изолятора или гирлянды фарфоровых изоляторов, исключая необходимость соприкосновения металла с изолятором.

Тестер изоляторов состоит из специальным образом сконструированного сенсора электрического поля (датчика), который поперечно монтируется на салазковый механизм, который перемещается по изоляторам при помощи изолирующей штанги. Тестер включает в себя портативный компьютер или планшет для воспроизведения и хранения результатов.

Метод измерения электрического поля может использоваться для керамических, композитных и стеклянных изоляторов.

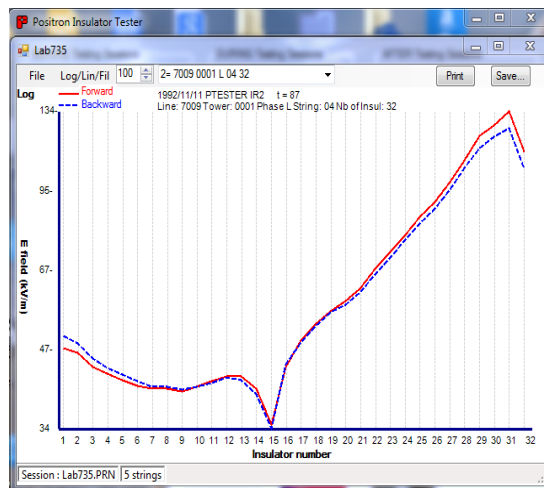
#### **А) Тестирование гирлянды керамических изоляторов**

Керамический (или стеклянный) изолятор (диск) состоит из двух металлических частей (шапки и пестика), изолированных друг от друга керамическим или стеклянным материалом. Гирлянда изоляторов включает в себя от 3 до 35 дисков. Напряжение линии по отношению к земле распределяется между этими дисками. Когда происходит пробой стеклянного изолятора, то его стеклодеталь рассыпается, что легко определить визуальным осмотром. Пробитые диски керамических изоляторов не могут быть выявлены визуально. При этом, однако, напряжение вдоль шапки и пестика существенно падает. Поскольку напряжение электрического поля вблизи диска примерно соответствует напряжению между шапкой и пестиком, падение на графике (электрического поля на изоляторе с определенным номером) будет заметным в том месте, где находится пробитый диск.

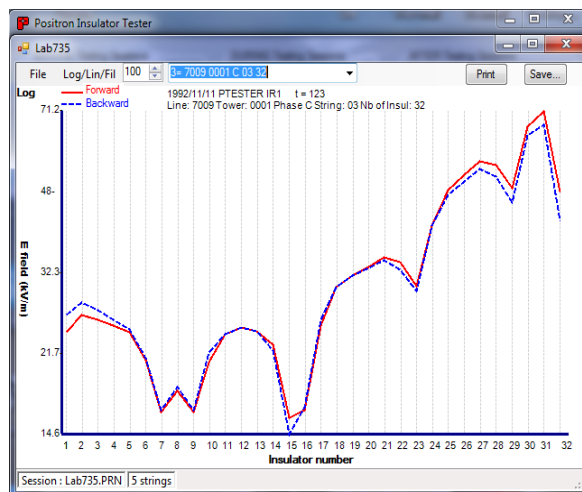


### Тестер для керамического изолятора

Измерения электрического поля на гирлянде керамических изоляторов:



### Керамический диск №15 пробит



### Керамические диски №7, 9, 15, 16, и 29 пробиты

## Б) Тестирование композитных изоляторов

В отличие от керамического изолятора, композитный изолятор не имеет металлических частей внутри изоляционного промежутка. Длина изоляционного промежутка равняется длине композитного изолятора за исключением оконцевателей. Любой проводящий материал (углеродные треки или проводящие дорожки, влага, загрязнения и т.п.), внутри изоляционного промежутка будет оказывать воздействие на распределение электрического поля по длине изолятора.



Показатели электрического поля определяются на границах каждого ребра изолятора. Дефект обычно приходится на более чем одно ребро изолятора. Поврежденная область (проводящая область) может быть обединенной или плавающей. Большинство известных неисправностей происходит вблизи особенностей, появляющихся в результате обугливания, вызванного присутствующим здесь электрическим полем высокого напряжения. Эти нарушения обычно связаны с высоким напряжением вблизи оконцевателей и возрастают по направлению к заземленным элементам концевой арматуры. Дефекты вновь формирующейся проводящей области не всегда можно обнаружить невооружённым взглядом, и именно они представляют наибольшую опасность для находящихся поблизости работников. Эти дефекты обычно возникают на границе между стекловолоконным стержнем и материалом его покрытия (полимером). Разряды, возникающие из-за действия электрического поля, приводят к обугливанию стержня. Это приводит к механическому ослаблению стержня за счет сгорания стекловолокна. Обугливание постепенно распространяется вдоль стержня, снижая тем самым общую эффективную изолирующую длину изолятора.



### Тестер композитного изолятора

Тестер композитного изолятора использует тот же метод, что и тестер керамического изолятора, однако его салазковый механизм и датчик имеют меньшие размеры для того, чтобы соответствовать меньшему диаметру рёбер изоляторов в сравнении с дисками керамических изоляторов.

Полученные на графике кривые могут загружаться и расшифровываться (интерпретироваться) пользователем посредством портативного переговорного устройства или прямого соединения с портативным компьютером или планшетом. Автоматическая расшифровка для сигнала о сиюминутной опасности осуществляется микропроцессором, встроенным в датчик (функция подачи сигнала «Исправно/Неисправно»). Отклонение от типичной кривой, характеризующей распределение электрического поля вдоль изолятора, является показателем того, что в композитном изоляторе присутствует проводящий дефектный (аварийный) участок.

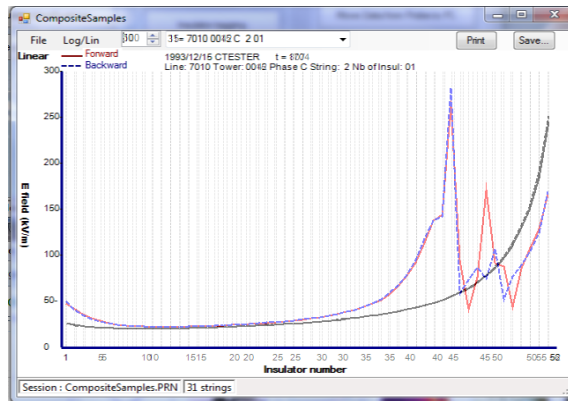
Как показали всесторонние исследования, проведенные CESI в Италии (1), в качестве подхода к оценке результатов проверки состояния изоляторов может быть принят следующий. Изоляторы, для которых максимальное отклонение напряженности поля составляет менее 10%, рассматриваются как не имеющие дефектов, тогда как изоляторы с отклонением, превышающим 30%, должны рассматриваться как критические с точки зрения безопасности, надежности и продолжительности срока службы, и потому должны быть выведены из использования для дальнейшей углубленной проверки». Опасное состояние изолятора может быть обусловлено невидимым нарастающим внутри него дефектом. Оно может быть также вызвано серьезным загрязнением.

В лабораторных условиях было доказано (1), что дефекты разного происхождения, распространяющиеся на 25% длины изолятора, не являются критическими для функционирования линии с точки зрения состояния ее изоляторов, особенно по отношению к условиям безопасности работы на линии под напряжением.

Использование этого метода позволяет систематически выявлять критические дефекты.

Степень чувствительности метода настолько высока, что в дополнение к критическим или опасным дефектам он позволяет регистрировать и показывать графически наличие очень незначительных (кратковременных) и преходящих дефектов. «Метод измерения электрического поля, применяемый к проверке сухих или даже влажных чистых композитных изоляторов, обеспечивает хорошую оценку процентной составляющей изоляции, подверженной дефектам или опасному загрязнению. Использование этого метода на линиях под напряжением должно повысить степень безопасности тех, кто осуществляет проверку линий» (2).

## Измерения электрического поля композитных изоляторов:



**Цветные кривые показывают, что изолятор в опасном состоянии, черная линия – эталон.**

### **В) Проверка полых опорных изоляторов и вводов HollowPost, Bushing&Lighting Arrestor**

Метод измерения электрического поля используется также для проверки многих других типов изоляторов как в полевых, так и лабораторных условиях. Конструкция датчика остается прежней за исключением того, что салазочный механизм удаляется и заменяется изолирующим табулятором. Получение показателей инициируется легким нажатием на табулятор. Корпус изолятора может иметь разнообразные формы и не ограничивается размером салазочного механизма тестера. Отклонение от типичной кривой определяет предпочтительный способ расшифровки (интерпретации) показателей.



**Универсальный тестер**

### **Комментарии по другим методам обнаружения дефектов**

Ультрафиолетовый детектор – это метод, основанный на измерении ультрафиолетового излучения, вызываемого коронным электрическим разрядом. Метод с применением инфракрасного детектора основан на измерении теплового контраста.

Эти методы обычно используются в лабораторных условиях. В условиях естественного освещения им свойственны следующие проблемы:



- Негерметичный или прбитый керамический изолятор не создает коронной активности и не производит тепла, которое может быть обнаружено, поэтому указанные дефекты изоляторов не могут быть выявлены. Названные методы не эффективны для керамических изоляторов.
- По данным CIGRE, ультрафиолетовая камера не может обнаружить дефектов, распространенных на менее 20-30% длины изолятора (4).
- Инфракрасная камера не обнаруживает дефектов в композитных изоляторах до тех пор, пока они не окажутся в очень опасном состоянии. Таким образом, она не относится к устройствам обнаружения дефектов на ранней стадии
- Ультрафиолетовая камера может оказаться не в состоянии обнаружить дефекты, скрытые внутри корпуса или остающиеся невидимыми, как например, дефекты, находящиеся на другой стороне изолятора.
- Ни ультрафиолетовая, ни инфракрасная камера не обеспечивают сбора количественных данных для создания базы данных, которая позволила бы планировать техническое обслуживание и оценивать ухудшение состояния изолятора с течением времени.
- Ультрафиолетовая и инфракрасная камеры являются дорогостоящими и не обнаруживают незначительных дефектов.

## Заключение

Метод измерения распределения электрического поля имеет подтвержденные длительной проверкой свидетельства обеспечения надежности результатов и безопасности использования. Этот метод может применяться для многих и разнообразных видов изоляторов. Систематическое исследование осуществляется благодаря способности этого метода определять критические дефекты и его чувствительности по отношению к различным видам дефектов.

Обширные и всесторонние исследования, проведенные в лабораториях электроэнергетических компаний для определения дефектов изоляторов разнообразных видов и в условиях высокого (до уровня 1 Мв) напряжения, свидетельствуют о том, что все дефекты, связанные с появлением участков, являющихся проводящим материалом, обнаруживаются и регистрируются.

Программы и алгоритмы во встроенном процессоре позволяют немедленно и с высокой степенью точности сообщать визуально и в виде звукового сигнала о наличии дефекта, сопровождаемого появлением проводящего материала, который делает ситуацию опасной для тех, кто работает на линии под напряжением.

**Применительно к керамическим и композитным изоляторам, независимо от характера или степени повреждения, метод измерения электрического поля позволяет всегда и с высокой степенью надежности определять неисправности на высоковольтных линиях под напряжением.**

Кроме определения дефектов и необходимости профилактического технического обслуживания, метод измерения электрического поля позволяет использовать испытательное устройство как важный инструмент обеспечения безопасности.

#### **Использованная литература:**

[1] M. de Nigris, F. Tavano, F.Zagliani CESI; “Diagnostic Methods of Non-Ceramic Insulators for H.V. Lines”

[2] D. H. Shaffner, PG&E; D. L. Ruff, BPA;  
G. H. Vaillancourt, Independent Researcher  
“Experience with a Composite Insulator Testing Instrument Based on the Electric Field Method”

[3] G. H. Vaillancourt, IREQ; S. Carignan, IREQ;  
C. Jean, Positron  
“Experience with the Detection of Faulty Composite Insulators on High-Voltage Power Lines by the Electric Field Measurement Method”

[4] CIGRE Working Group B2.21, 2012 “Assessment of composite insulators by means of online diagnosis”

За дополнительной информацией просьба обращаться к автору:

Чарльз Жан, Dr. Eng.

[cjean@positronpower.com](mailto:cjean@positronpower.com)

[www.positronpower.com](http://www.positronpower.com)

Или к русскоязычному консультанту компании Positron Inc.

Юриной Наталье Петровне

[nireena@sympatico.ca](mailto:nireena@sympatico.ca)