

# Осторожно, под напряжением!

## Пассивная индикация включенной линии

Ян Чижевский, Мацей Венек, Марек Флорковский, Томас Лильенберг, Курт Кальтенеггер

Каждый школьный учитель физики напоят и с удовольствием разъяснит, что для измерения напряжения необходимы две точки. Одна точка сама по себе не имеет напряжения, разность потенциалов измеряется относительно какой-либо другой точки. Однако сотрудникам, проводящим работы в распределительстве, важно знать, находится ли конкретный проводник под напряжением относительно любой близлежащей точки, будь то соседний проводник или заземленный компонент. Чтобы помочь в этом, компания АББ разработала индикатор, который отвечает именно на такой вопрос без выбора какой-то определенной точки для сравнения. Как это было сделано и что же случилось с законами физики?

Индикатор напряжения – совершенно необходимый прибор для персонала, работающего с высоковольтным распределительным оборудованием. Такие индикаторы помогают отследить повреждения и определить, безопасно ли заземлять систему в данный момент времени. При работе с различными компонентами высоковольтных установок даже при соблюдении всех требований техники безопасности и выполнении измерительных процедур дополнительное независимое устройство позволит сделать работу более безопасной.

Обычно система индикации напряжения состоит из делителя напряжения (емкостного или резистивного), понижающего напряжение до уровня, который можно измерять непосредственно (от единиц до приблизительно 100 вольт). А уже к делителю подключается простой прибор-индикатор напряжения. В большинстве систем первичное сопротивление делителя встроено в высоковольтные элементы, например, в изолирующую втулку, трансформатор тока или опорный изолятор. От этого компонента на панель идет провод, подключенный к вторичному сопротивлению делителя и устройству индикации. Такие системы обычно применяются только в закрытых распределительных устройствах.

В распределительной системе, однако, существует огромное число мест, в которых индикация напряжения была бы желательна, но в силу определенных трудностей (необходимости в дорожных устройствах наружной установки, отсутствия

первичного сопротивления и т.д.) не устанавливается. Типичными примерами этого служат выводы распределительных трансформаторов, наружные наконечники кабелей в месте подключения к воздушным линиям или выводы выключателей или разъединителей наружной установки.

В идеале, при условии, что цена такого решения будет достаточно низкой, индикация напряжения должна быть предусмотрена в каждой точке системы.

Было разработано два типа индикаторов PVI с двумя диапазонами чувствительности для таких задач, как поиск повреждений или обеспечение безопасности при заземлении.

Если дать волю воображению, можно представить себе систему, в которой каждая шина или проводник окрашиваются в определенный цвет, если на них подано напряжение. В таком случае находящиеся под напряжением проводники можно было бы с легкостью отличать от временно отключенных.

### Используем поле

Поскольку вокруг любого проводника под напряжением возникает электрическое поле, связанное с его потенциалом, один из способов реализовать такую индикацию – это создать материал или устройство, меняющие оптические характеристики под воздействием поля определенной напряженности.

Эта идея заставила исследователей, работающих по программе развития нанотехнологий компании АББ, обратить внимание на технологии изготовления дисплеев. В принципе, для решения задачи может оказаться пригодной любая технология создания дисплеев, в которой с помощью электрического поля оптические свойства активного материала или структуры изменяются таким образом, что это становится заметным человеческому глазу. В теории это звучит просто, однако, напряженность электрического поля вокруг проводника типичной распределительной системы с воздушной изоляцией лежит в пределах от долей до нескольких киловольт на сантиметр (кВ/см) – это очень малые величины для электрооптичес-

ких материалов. Ни один из известных материалов, применяемых в дисплеях, непосредственно на такое слабое поле не реагирует.

Несмотря на технические трудности, в 2002 году был создан первый действующий прототип устройства, обладающий необходимой чувствительностью. Этот прототип (рис. 1) был изготовлен на основе новинки – гибкого электрофоретического материала, который часто называют «электронной бумагой». Но и этот материал не реагировал непосредственно на интересующее электрическое поле. Приспособление, разработанное в АББ, позволяет накапливать энергию за несколько периодов колебаний переменного напряжения (продолжительность этого процесса – менее секунды), за счет чего фактическая чувствительность повышается. В результате местная напря-

**1** Первый прототип-демонстратор принципа действия пассивного индикатора напряжения. В электрическом поле с частотой колебаний 50 Гц и средней напряженностью 1 кВ/см на экране индикатора хорошо виден контрастный знак

Электрическое поле отсутствует.



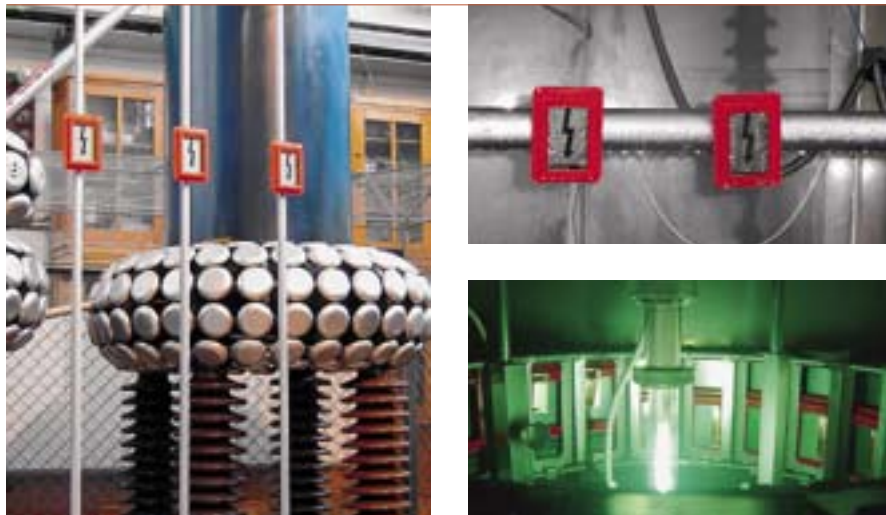
Электрическое поле напряженностью 1кВ/см.



**2** Прототип пассивного индикатора напряжения (PVI)



**3** Индикаторы PVI проходят испытания на 3-фазной линии под напряжением 6 кВ. Полусное расстояние – 20 см. Наличие напряжения обозначается четко видимыми крупными символами «молнии» (слева). Индикаторы PVI работают в соляном тумане (вверху справа) и подвергаются испытанию в камере с ксеноновой дуговой лампой (внизу справа)



женность электрического поля в слое материала достигает значений, значительно превышающих пиковые значения напряженности, наблюдаемые вне материала. За счет этого устройство может реагировать на электрические поля напряженностью менее 1 кВ/см.

Тем не менее, для применения новой технологии в силовом оборудовании недостаточно просто обеспечить нужную чувствительность. На высоковольтном оборудовании, в особенности при наружной установке, материал должен выдерживать воздействие окружающей среды – большой разброс температур, колебания влажности, дождь и прямой солнечный свет. Кроме того, после установки этот материал должен сохранять способность к функционированию в течение многих лет, не требуя обслуживания. Исполнение таких требований лишь на основе технологии чисто пластиковой «электронной бумаги» потребовало бы значительных дополнительных усилий.

Учитывая необходимый рабочий диапазон температур и общие требования к стойкости системы, коллектив разработчиков обратил внимание на ЖК-индикаторы на закрученных нематических жидких кристаллах – простейший, но самый надежный вид индикаторов. Хотя чувствительность индикаторов, изготовленных по этой технологии, была в 10-100 раз ниже необходимой, можно было снова создать микроскопическую структуру, обеспечивающую местное увеличение напряженности электрического поля. И в таком случае снова можно было бы достичь нужного уровня чувствительности, не жертвуя преимуществами выбранного типа индикаторов – хорошо отлаженной технологией производства и низкой ценой.

Успешная реализация этого этапа разработки позволила команде создать прототип индикатора напряжения (рис. 2), получившего название «пассивный индикатор напряжения» (PVI, passive voltage indicator). Особое внимание уделялось тому, чтобы прототип был пригоден для использования в устройствах наружной установки. Первые прототипы PVI, изготовленные в количестве около 100 шт., были подвергнуты длинному ряду испытаний (рис. 3). Проводились испытания на функционирование в трехфазной высоковольтной системе, в соляном тумане, под действием яркого солнечного света (свет был имитирован с помощью ксеноновой дуговой лампы) и в условиях ускоренного старения под действием атмосферных условий. Результаты испытаний показали, что устройство способно выдержать такие суровые условия. В настоящее время идет разработка опытного изделия (рис. 4). Устройство PVI будет функционировать без подачи питания извне, а после установки не будет нуждаться в обслуживании.

Было разработано два типа индикаторов PVI для двух диапазонов чувствительности. Номенклатура изделий будет охватывать весь диапазон номинальных средних напряжений по МЭК и ANSI от 3 кВ до 36 кВ. В указаниях по применению будут даны разъяснения, какой тип прибора следует использовать в каждом случае, в зависимости от номинального напряжения системы и геометрического расположения проводников. Например, на номинальном напряжении 6 кВ прибор PVI может функционировать при любом полюсном расстоянии от 125 мм (наименьшее из распространенных значений) до 400 мм. Порог индикации напряжения соответствует рекомендованному в стандартах МЭК на приборы индикации

**4** Внешний вид опытного изделия PVI с эластомерным (силиконовым) корпусом, подходящим для постоянной работы на открытом воздухе



напряжения (IEC-61958 и IEC-61243), т.е. порог индикации наличия напряжения всегда на 45% ниже номинального напряжения системы.

Установка индикаторов PVI будет возможна как во время технического обслуживания, когда система отключена, так и на находящиеся под напряжением линии с помощью изолированной штанги. Несомненно, индикаторы PVI помогут при выполнении таких работ, как поиск повреждений, а также окажутся полезным дополнительным средством обеспечения безопасности при заземлении.

**Ян Чижевский**  
**Мацей Венек**  
**Марек Флорковский**  
ABB Corporate Research  
Краков, Польша  
jan.czyzewski@pl.abb.com

**Томас Лильенберг**  
ABB Corporate Research,  
Вестерос, Швеция  
thomas.liljenberg@se.abb.com

**Курт Кальтенеггер**  
ABB Power Technology Products Management Ltd  
Цюрих, Швейцария  
kurt.kaltenegger@ch.abb.com