

Остаточный срок службы кабелей среднего напряжения

Новые возможности усовершенствованных диагностических измерений коэффициента диэлектрических потерь

В отношении диагностики измерением коэффициента диэлектрических потерь и выполняемого на ее основании анализа состояния кабелей среднего напряжения сохраняется множество устаревших, противоречивых или даже неверных представлений. При этом сам метод уже трансформировался в комплексную современную технологию. Торстен Шлендер рассказывает об открываемых этой технологией возможностях, а также об их пределах.

Опыт компании Baug GmbH в сфере определения состояния кабелей среднего напряжения с помощью измерения коэффициента диэлектрических потерь (диагностического измерения ТД) берет свое начало в 1990-х годах. Вот уже 30 лет она поставляет соответствующее измерительное оборудование, что позволило ей накопить богатейший опыт в этой области. Ниже мы расскажем о том, как развивалась эта технология — от измерения среднего значения тангенса дельта (MTD) до введения новых параметров оценки и пороговых значений для определения остаточного срока службы кабелей среднего напряжения.

Новое аналитическое программное обеспечение statex стало последней вехой на пути развития технологий диагностики кабелей. Оно позволяет точно определить степень старения, скорость старения и статистический остаточный срок службы кабельного участка.

В ПО statex, наряду со стандартными параметрами оценки в соответствии со стандартом IEEE 400.2 (SDTD, MTD и ΔTD), также учитывается новый параметр TD-Skirt, характеризующий устойчивость коэффициента диэлектрических потерь с течением времени. Он позволяет рассчитать коэффициент старения изоляции и скорость старения кабельного участка. Также программа выдает точную дату, когда рекомендуется провести повторное измерение на данном участке или когда следует выполнить его замену (рис. 1).

Проблемы, с которыми сталкивались при предыдущих попытках определения остаточного срока службы

В основе повреждения кабеля могут лежать различные механизмы, вызывающие пробой. Поэтому невозможно определить остаточный срок службы с помощью одной простой аналитической формулы. Компания Baug обошла эту проблему, построив свое решение на статистике и опы-

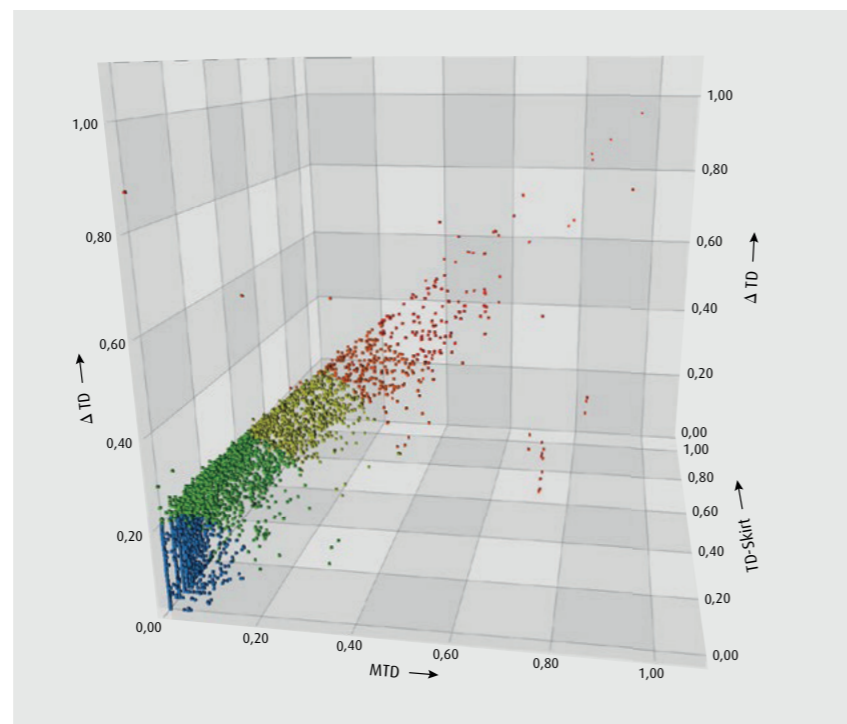


Рис. 1. Отображение коэффициента старения в трехмерном кластере — каждая точка соответствует одному диагностическому измерению

те. Первым шагом в определении остаточного срока службы является оценка степени старения.

На степень старения кабеля среднего напряжения оказывает влияние множество факторов. К ним в том числе относятся:

- электрическая нагрузка,
- механическое напряжение,
- тепловая нагрузка,
- химические процессы,
- влажность,
- качество монтажа и ввода в эксплуатацию,
- дефекты материалов,
- разница в качестве кабелей и арматуры различных производителей.

Многие из таких факторов просто неизвестны или требуют наличия богатого на-

работанного опыта. Какой нагрузке подвергался кабель за последние 30 лет? Сколько произошло коротких замыканий? Какие муфты были установлены и каких производителей?

В какой «форме» находился установивший их монтажник? Чтобы обойти проблему недостатка информации, было принято во внимание то, что все эти факторы оказывают влияние на данные, получаемые в ходе диагностических измерений (рис. 2).

Новые разработки в сфере диагностики на основании коэффициента диэлектрических потерь

Статистика и опыт

Опыт, собранный на протяжении нескольких десятилетий, и база данных, включающая в себя более 100 000 измерений,



Рис. 2. Процессы старения в кабелях с полимерной и пропитанной бумажной изоляцией согласно статье центра NEETRAC (National Electric Energy Testing, Research, and Applications Center) «Диагностические испытания подземных кабельных систем» (Diagnostic Testing of Underground Cable Systems) от 12.2010.

представляют собой фундамент, на основании которого ведутся дальнейшие разработки в области диагностики кабелей. Были сделаны новые выводы, например, что «кривая интенсивности отказов» не применима к модулированию динамики старения кабелей среднего напряжения (рис. 3).

Новые пороговые значения для различных типов изоляции, новые критерии оценки, такие как TD-Skirt, а также новые комбинации методов, такие как Full-MWT (комбинированное испытание и диагностика ТД/ЧР) — это лишь некоторые из достижений за последние годы.

Дополнительная информация благодаря одновременной диагностике

Испытание кабеля, измерение коэффициента диэлектрических потерь и измерение частичных разрядов идеально дополняют друг друга, поскольку позволяют выполнить как оценку общего состояния кабеля, так и поиск и локализацию конкретных повреждений. Одновременное проведение испытаний и диагностических измерений позволяет получить дополнительную информацию без лишних усилий.

Обнаружение водных триингов уже не является главной областью применения

Изначально диагностика тангенса дельта использовалась в основном для кабелей, поврежденных в результате возникновения водных триингов (Water Trees, WT). Благодаря использованию современных кабелей с продольной и поперечной герметизацией эта область применения уходит на задний план. Тем интереснее становятся новые сферы использования данной

технологии. Теперь определяется не столько наличие или отсутствие водных триингов, сколько общая степень старения кабеля. Диагностика тангенса дельта и ПО statex также работают с кабелями, пораженными водными триингами, однако не только с ними.

Экономия ресурсов за счет интеллектуального выбора объектов испытаний

Другой вывод, полученный в результате анализа измерений тангенса дельта, заключается в том, что причиной повышенных значений коэффициента диэлектрических потерь у новых или недавно проложенных кабелей являются продукты разложения сшивок. В этих случаях со вре-

менем коэффициент диэлектрических потерь снижается. Только после того, когда он снова начнет увеличиваться, имеет смысл измерять степень старения. Именно поэтому был введен параметр «точка отсчета деградации» — DSP (Degradation Starting Point). Химические анализы, проводимые после каждого года эксплуатации, показали, что старение многих типов кабелей начинается после тринадцатого года. Это также подтвердили наблюдения самих производителей кабелей.

Отказ от измерений ТД на кабелях, которые еще не достигли статистического момента начала старения, позволяет высвободить ресурсы. Эти ресурсы можно

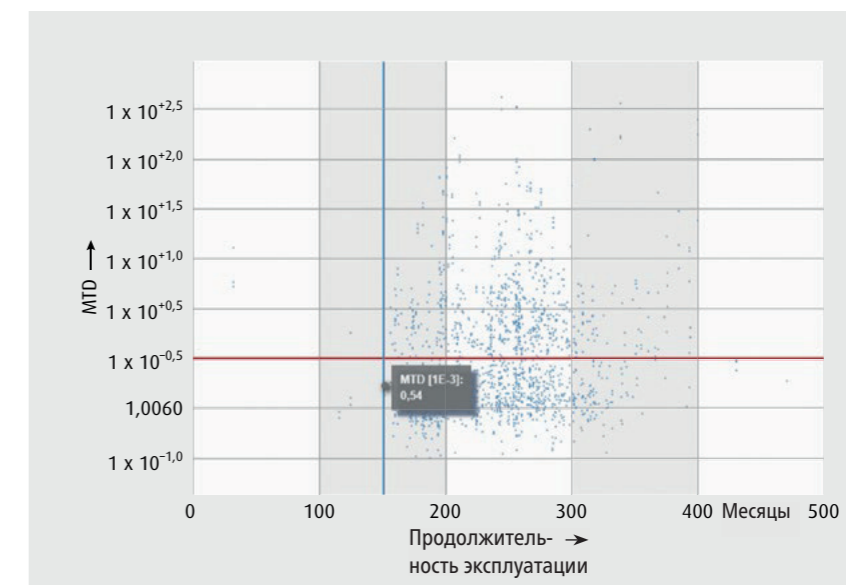


Рис. 3. Статистическая оценка нескольких тысяч диагностических измерений показывает, что динамика старения не следует по «кривой интенсивности отказов», а имеет более широкую рассеянность.

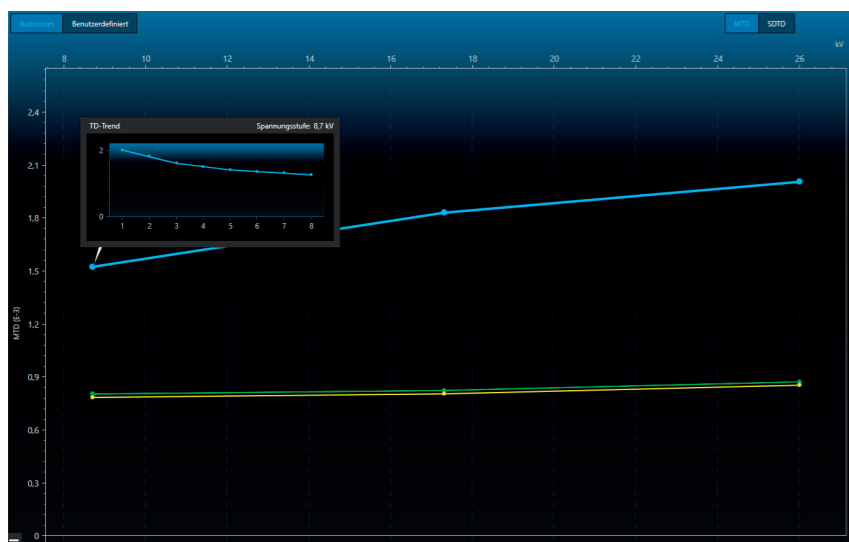


Рис. 4. На влажность в муфте L1 (синяя) указывает понижение тренда

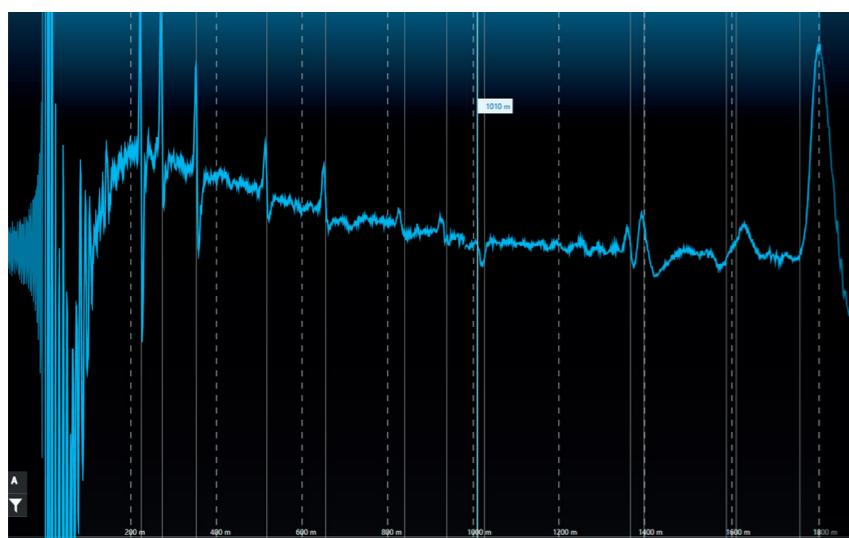


Рис. 5. Рефлектометрическая/калибровочная кривая, указывающая на муфту с проникшей влагой на расстоянии 1010 м

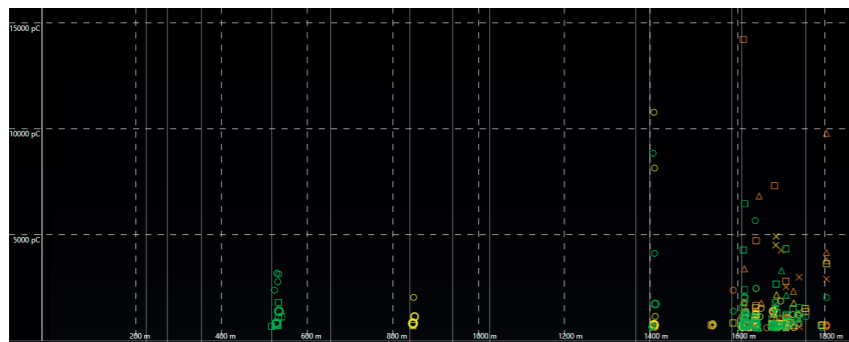


Рис. 6. Влажная муфта, регистрируемая с помощью измерения ТД, не определяется при измерении ЧР.

использовать для диагностики кабельных участков со значительной степенью старения и/или находящихся в критическом состоянии.

Диагностические измерения коэффициента диэлектрических потерь для определения локальных проблемных мест

Зависимость коэффициента диэлектрических потерь от напряжения и его тренд в рамках одного шага напряжения предоставляют хорошую возможность выявлять факторы воздействия кабельной арматуры. Влажные муфты можно определить, например, на основании опускающегося тренда ТД (рис. 4). Местоположение муфты можно затем установить с помощью

измерения методом импульсной рефлектометрии (рис 5). В данном случае измерение частичных разрядов было бы недостаточно, поскольку часто их невозможно регистрировать в условиях высокой влажности (рис. 6).

При наличии влажности или частичных разрядов в кабельной арматуре рекомендуется замена отдельной арматуры для получения лучших результатов и более точного определения остаточного срока службы кабельного участка. Прежде всего у коротких кабелей или кабелей с низкими значениями ТД неисправная кабельная арматура является существенным негативным фактором и поэтому должна быть заменена. На рис. 7 показана упрощенная блок-схема, демонстрирующая алгоритм действий: Диагностическое измерение ЧР и ТД на кабеле среднего напряжения выполняется либо в соответствии с планом, либо по случаю события (после повреждения и ремонта). Если это измерение свидетельствует о наличии частичных разрядов или последствий воздействия влаги, необходимо выполнить требуемые краткосрочные мероприятия. Если кабель (затем) не имеет частичных разрядов и не подвержен влиянию влажности, с помощью ПО statex можно определить остаточный срок службы и дату следующего измерения.

Возможность компенсации внешних факторов влияния

Внешние факторы влияния, такие как частичные разряды или токи утечки, могут повлиять на результаты диагностического измерения ТД. Однако и их можно компенсировать без особых усилий. Коронные частичные разряды в месте подключения и на конце кабельного участка можно предотвратить с помощью противокоронных экранов, например, алюминиевых полусфер.

Токи утечки переходят на землю через поверхность концевых муфт и таким образом влияют на результат измерения. Токосъёмные кольца, накладываемые вокруг концевых муфт, позволяют отводить, измерять и компенсировать эти токи.

Диагностическое измерение коэффициента диэлектрических потерь можно и нужно проводить для всех типов кабелей среднего напряжения

Значения ТД у различных типов кабелей варьируются. Кабели с пропитанной бумажной изоляцией, кабели с полимерной изоляцией первого и второго поколения демонстрируют существенную разницу в измеренных значениях. Также существует разница и внутри этих различных типов. Так, имеются различия между измеренными значениями кополимерных и гомополи-

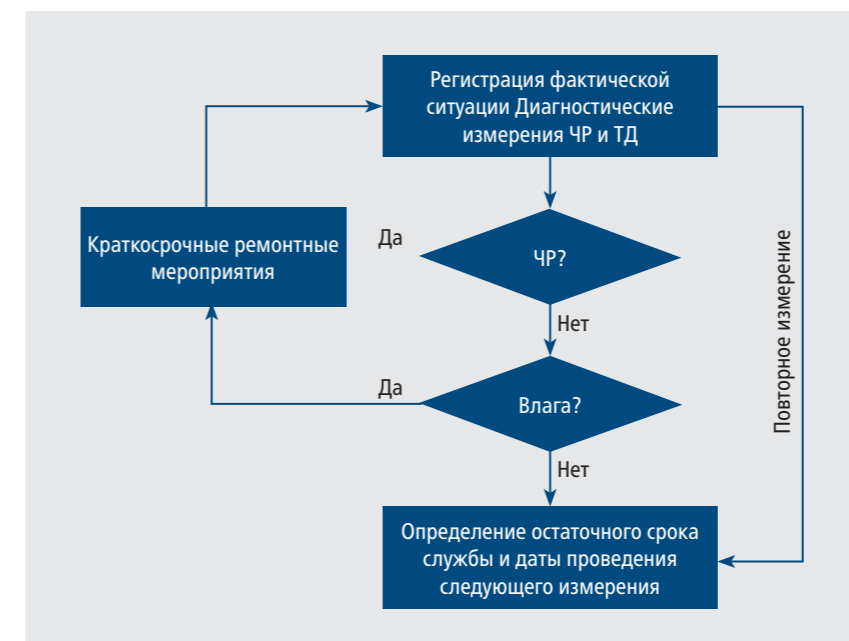


Рис. 7. Схема: краткосрочные ремонтные мероприятия и определение остаточного срока службы

мерных кабелей, прежде всего в плане значений MTD (средние значения ТД на каждом шаге напряжения). Поскольку эти особенности известны уже довольно давно, соответствующие пороговые значения для различных типов кабелей были включены в приложение к стандарту IEEE 400.2-2013.

Кроме того, ПО statex дает возможность задавать различные типы изоляции и их субкатегории. Это позволяет, например, отдельно анализировать смешанные кабельные участки с различным соотношением кабельных секций с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ). Это также позволяет установить остаточный срок службы смешанных кабельных участков (рис. 8).

Анализ ТД представляет особый интерес при работе с кополимерными СПЭ-кабелями (используются примерно с 2005 года), так как влияние токовой нагрузки, изменений температуры, гармонических составляющих и т.д. на процесс старения еще мало изучено. В данном случае имеет смысл инвестировать в сбор и анализ диагностических данных на ранней стадии для мониторинга процесса старения и предотвращения отказов в будущем.

Вывод

Было продемонстрировано, как новые аппаратные и программные решения в сочетании с обширными знаниями и опытом способствовали дальнейшему развитию

технологии диагностических измерений ТД. Новые разработки расширяют возможности использования диагностических измерений ТД и их оценки и выводят их на качественно новый уровень, вплоть до точного определения остаточного срока службы кабелей среднего напряжения.



>> thorsten.schlender@baur-germany.de
>> www.baur.eu/de

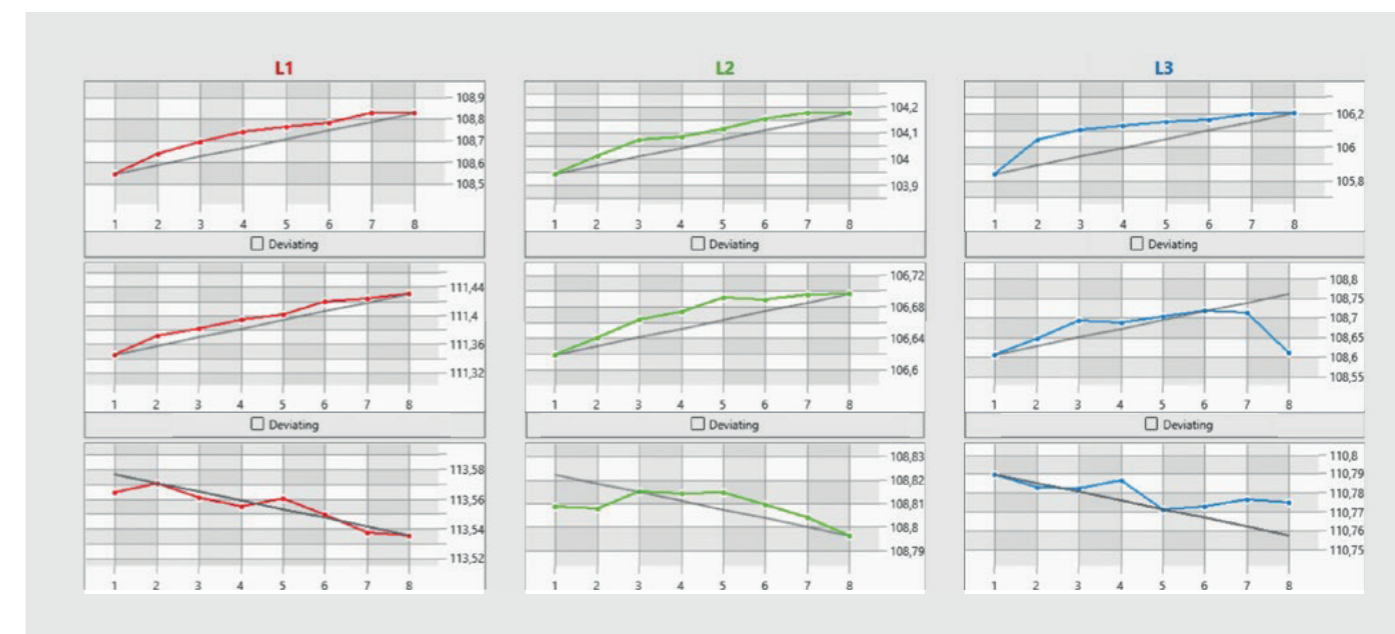


Рис. 8. Кривые, типичные для старых смешанных кабелей; на первых двух шагах напряжения (0,5 U₀ сверху и 1 U₀ в середине) преобладает повышение ТД по причине старой изоляции. Кривая шага напряжения 1,5 U₀ внизу указывает на последствия влияния влажности.