



УДК 621.312

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

ТАКЫРБАШЕВ К.Б., СУЕРКУЛОВ М.А.
izvestiya@ktu.aknet.kg

Непрерывный мониторинг состояния процессов, происходящих в КЛ, позволяет своевременно обнаружить начало разрушения изоляции кабеля и осуществлять динамическое управление нагрузкой и режимом работы кабельных линий. Рассмотрена современная интеллектуальная система диагностики КЛ.

Введение. Темпы развития инфраструктуры силовых кабелей и ее значимость выдвигают современные требования к эксплуатации кабелей. В настоящее время и в перспективе самым оптимальным и действенным способом при обслуживании КЛ станут методы интегральной и локальной оценки ее состояния.

1.1. Система интегральной оценки работоспособности бумажно-масляных кабелей и кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена осуществляется переносным прибором CDS.

Метод измерения возвратного напряжения применяется для оценивания состояния бумажно-масляных кабелей по следующим параметрам: - степень старения.

- качество изоляции.
- остаточный ресурс кабеля.
- степень влажности оболочки кабеля.

Изотермический анализ тока релаксации применяется для оценки ресурсоемкости кабелей с изоляцией из СПЭ, последующем определении сроков ремонта или замены кабеля.

Имеется многоступенчатое интеллектуальное программное обеспечение, используемое для оценки результатов, учитываются конструктивные особенности кабеля и формируется информация о прогнозируемой остаточной прочности.

Программное обеспечение содержит в себе базу данных оценок состояния различных кабелей, с возможностью автоматизированного информационного поиска данных для расчета значения остаточной прочности кабеля и протоколирование результатов.

Любой диэлектрик (изоляция) боится превышения температур выше допустимого, поэтому на современных кабельных линиях необходимо непрерывно контролировать температуру в режиме реального времени для обеспечения комплексной безопасности, предотвращения аварийных ситуаций и увеличения пропускной способности КЛ.

Для регистрации температуры применяется оптическое волокно, которое расположено в экране или на поверхности кабеля. Принцип работы основан на обработке измерений спектрального состава обратного Романовского рассеяния импульса излучения лазера в многомодульном оптическом волокне.

Программное обеспечение производит необходимые расчеты для анализа текущего состояния силового кабеля.

Расчет температуры жилы кабеля, расчет максимально допустимой нагрузки кабеля, отображение топологии КЛ, совмещенные с температурными профилями, предоставляет диспетчеру оперативные данные в наглядном виде.

1.2. Система локальной оценки.

Локализация мест повреждений частичных разрядов производится методом рефлектометрии.

Принцип метода заключается в искусственном создании частичного разряда (ЧР) в дефектных местах изоляции кабеля и последующем анализе ЧР. На основании полученной информации можно сделать вывод о техническом состоянии КЛ, а также оценить его резерв.

Определяются следующие параметры кабеля:

- Уровень напряжения зажигания ЧР.
- Уровень напряжения гашения ЧР используется для определения мощности ЧР.
- Уровень ЧР. Определяются дефектные места в изоляции КЛ и их тип.



Все эти данные хранятся в базе данных КЛ.

1. Особенности кабеля СПЭ.

Кабели с пластмассовой изоляцией. Особенно чувствительна изоляция из СПЭ к высокочастотным воздействиям, при котором импульс воздействующей силы приводит к механическому нарушению сшитого полиэтилена.

Анализ ситуаций в кабельных сетях показывает, что высоко-частотные воздействия на изоляцию кабелей могут наблюдаться в основном:

- При ОДЗ в случае повторных замыканий дуги.
- При коммутациях кабелей вакуумными выключателями (ВВ), сопровождающихся повторным зажиганием дуги в вакуумной дугогасительной камере (ВДК).

Требования к характеристикам вакуумных выключателей.

Наибольшие частоты собственных колебаний возникают на контактах ВВ. При отключении основными характеристиками любого выключателя является отключающая и коммутационная способность. Коммутационные способности определяются в начальной скорости восстановления энергетической прочности между контактами при его отключении.

Переходная восстанавливающая напряжения (ПВН) на расходящихся контактах должна быть меньше, чем восстанавливающая напряжение электрической прочности, если будет наоборот, то возникает повторное зажигание дуги и тем самым появляется высокочастотное перенапряжение.

Восстановление электрической прочности между расходящихся контактов в начальной стадии процесса выражается $U_{\text{эл. пр. (t)}} = K(t + t_0)$, где t_0 - время между началом расхождения контактов и моментом прохождения тока промышленной частоты в выключателе через нулевое значение.

Начальная скорость восстановления электрической прочности между контактом выключателя должна быть $K \geq 40$ кВ/мс – 30-90 кВ/мс.

При выборе кабеля с СПЭ должны учитываться режим заземления нейтрали и время отключения защиты при замыкании на землю.

Категории (класс) изоляции кабеля

А – отключается за менее одну минуту.

В – не должно превышать одного часа.

С – не относится к А и В.

Сети 6 кВ максимум 7,2 кВ

6 кВ категории «А» и «В»

10 кВ категории «С»

Сети 10 кВ максимум 12 кВ

10 кВ категории «А» и «В»

15 кВ категории «С»

В процессе эксплуатации КЛ подвергаются перенапряжениям, термическим перегрузкам и механическим воздействиям, что приводит к старению изоляции.

Твердая изоляция из СПЭ при воздействии высокочастотных перенапряжений со временем более интенсивно подвергается деградации и существенно снижает свои диэлектрические свойства.

Установлено, что при резком вводе энергии в твердый диэлектрик происходит разрыв связей на молекулярном уровне между молекулами водорода и углерода. Это приводит к изменению структуры и физико-механических свойств СПЭ и внутри появляются микрополости, которые способствуют быстрому зарождению и развитию трингов (микротрещин).

2. Актуальность интеллектуальной диагностики кабеля.

Учитывая отсутствие эффекта самолечения изоляционной конструкции кабеля СПЭ, актуальным считается своевременное выявление ослабленных мест изоляции. Диагностику технического состояния кабеля СПЭ необходимо осуществлять по американскому принципу «терапия вместо хирургии», т.е. по возможности работать на опережение и предварительно предупреждать каскадный выход из строя КПИ. После диагностического обследования и анализа основных характеристик диагностируемых параметров (ЧР и $\text{tg } \delta$) эксплуатационный персонал, в основном, интересуется следующей информация:

- максимально достоверный прогноз остаточного ресурса кабеля;
- рекомендации по дальнейшим условиям эксплуатации кабеля;



- сроки проведения последующего диагностического обследования;
- какие в будущем должны быть параметры профилактических испытаний диагностируемого кабеля.

В настоящее время нет единой точки зрения на алгоритм и методику проведения как профилактических испытаний, так и диагностического обследования КЛ для различного исполнения.

Для кабелей с СПЭ особенно важно отслеживать динамику деградации СПЭ – изоляции и своевременно предупреждать ее выход из строя.

При замене кабеля по г. Бишкек нужно обратить внимание на оптимальный выбор режима заземления нейтрали, грамотный выбор вакуумных выключателей, грамотное проектирование процесса прокладки кабеля. Поэтому перед началом эксплуатации кабелей с СПЭ необходимо осуществить мониторинг текущего состояния кабелей с полиэтиленовой изоляцией (КПИ).

3. Принцип выполнения защиты от однофазного замыкания на землю.

Для защиты от ОЗЗ в кабельных сетях применяются следующие принципы:

- Измерение напряжения нулевой последовательности $3 U_0$.
- Измерение токов нулевой последовательности $3 I_0$.
- Измерение заземления нейтрали через высоковольтный резистор.
- Измерение гармонических составляющих в токе ОЗЗ в режиме компенсированной нейтрали.
- Измерение мощности нулевой последовательности для изолированной нейтрали.
- Измерение теплостойкости кабеля.

Тепловая функция защиты кабеля обеспечивает защиту кабелей от перегрузок и основана на измерении потребляемого тока. Ток, измеренный с помощью функции тепловой защиты, является действующим значением 3-х-фазного тока, который учитывает все гармоники, вплоть до 13.

Нагрев пропорционален значению потребляемого тока в квадрате, зависит от потребляемого тока и предыдущего теплового состояния.

При постоянном режиме нагрев равен $E = \left(\frac{I_{\phi}}{I_{\phi}} \right)^2 \cdot 100\%$, где

I_{ϕ} - фазный ток кабеля, I_{ϕ} – значения базового тока.

$I_{\phi} = \frac{I_{\text{дон.}}}{1,4}$, где $I_{\text{дон.}}$ - допустимый ток кабеля.

Время отключения защиты устанавливается с помощью постоянной времени T

$$\frac{t}{T} = l_n \cdot \frac{\left(\frac{I}{I_{\phi}} \right)^2 - 1}{\left(\frac{I}{I_{\phi}} \right)^2 - \left(\frac{I_{\phi}}{I_{\phi}} \right)^2}$$
, T – постоянное время кабеля зависит от способа прокладки кабеля.

l_n - натуральная логарифма.

Для кабеля, проложенного в земле, постоянное время находится в пределах 20-60 минут.

Выводы:

1. Необходимость в интеллектуальной диагностике технического состояния КЛ – выбор оптимальных параметров диагностики и профилактических испытаний КПИ.
2. Нельзя часто подходить к замене кабелей с бумажной изоляцией на кабели с СПЭ.
3. Необходим грамотный выбор вакуумных выключателей с требуемыми параметрами ВДК, т.е. скорость восстановления электрической прочности должна быть 30-90 кВ/ м сек.
4. Квалификация монтажного персонала.
5. Способы прокладки кабеля в специальных местах.
6. Амплитудно-временные параметры воздействия перенапряжений.
7. Оптимальный выбор режима заземления нейтрали.
8. Наличие квалифицированного инженера – эксперта, который сможет дать заключение о фактическом состоянии кабеля.



Литература

1. Труды четвертой всероссийской научно-технической конференции ограничений перенапряжений. Режим заземления нейтрали. Новосибирск, 2006.
2. Шабад М.А. Обзор заземления нейтрали и защиты от замыканий на землю в сетях 6-35 кВ России. „Энергетик“. № 3, 1999.
3. Кадомская К.П., Качесов В.Е. Диагностика и мониторинг кабелей среднего напряжения. „Электротехника“. № 11, 2000.