

<https://doi.org/10.5281/zenodo.4743960>
УДК 621.315.2.016.2

ОБЗОР МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЯ СИЛОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

О.Н. Рошин,
магистрант 2 курса группы МЭСз-191 кафедры «Электроэнергетика и
электротехника», профиль «Электроэнергетические системы, сети,
электропередачи, их режимы, устойчивость и надежность»,
А.Н. Бабаевский,
доц., к.т.н.,
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.
Шухова,
г. Белгород

Аннотация: Кабельные линии электропередачи предназначены для передачи электрической энергии от источника питания к потребителям. Обслуживание кабельных линий электропередач при их нормальной работе производится строго в установленные сроки. Также производится осмотр на предмет наличия видимых повреждений. В целях определения состояния кабельной линии производятся периодические испытания повышенным напряжением. В статье приводится обзор существующих методов определения мест повреждения кабельных линий на основе неразрушающей диагностики.

Ключевые слова: кабельная линия, мониторинг, диагностика, изоляция

OVERVIEW OF METHODS NON-DESTRUCTIVE TESTING USED TO LOCATE THE DAMAGED SPOTS OF CABLE LINES

O.N. Roshchin,
Second course Masters Degree student of group “MESz-191” Academic
department “Electrical Energy Industry and Electrical Engineering” Specialty
“Electrical Energy Systems, Networks, Power Transmissions, Their Modes,
Durability and Reliability”
A.N. Babaevskii,

Docent, PhD of Engineering Sciences,
Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
Belgorod

Annotation: Cable transmission lines are designed to transfer electric energy from the power source to consumers. Maintenance of cable power transmission lines during their normal operation shall be carried out strictly within the specified period. It is also inspected for visible damage. In order to determine the condition of the cable line, periodic high voltage tests are carried out. This article provides an overview of existing methods for determining cable line damage based on nondestructive diagnostics.

Keywords: cable line, monitoring, diagnostics, insulation

Для повышения надёжности электроснабжения потребителей производится оценка состояния изоляции кабельных линий, которая служит для принятия решений по продолжению их эксплуатации, ремонта или замены. В большинстве случаев состояние изоляции кабельных линий определяется испытанием повышенным напряжением в соответствии с действующими нормативами (ПУЭ и нормы испытаний электрооборудования).

Положительные результаты испытаний повышенным напряжением промышленной частоты кабельных линий не дают гарантий безаварийной последующей их эксплуатации [1-3]. Наиболее опасны такие испытания для кабельных линий с большим сроком службы.

С помощью испытаний повышенным напряжением промышленной частоты невозможно выявить дефекты, особенно на ранних стадиях их развития в связи неэффективностью применяемых для этого методов и неправильно выбранной периодичности испытаний.

Объективные данные о техническом состоянии изоляции кабельных линий можно получить только диагностическими методами. Предупреждающая диагностика позволит своевременно исключить повреждения в кабельных линиях на основе своевременной оценки состояния изоляции [3-5].

Данные методы более эффективны и полезны по сравнению с существующей системой измерений и испытаний. Новая система диагностики способна предотвратить множество аварий и сэкономить средства, для послеаварийного восстановления кабельных линий.

Диагностика кабельных линий.

Диагностика кабельных линий выполняется методами, не приводящими к старению и ухудшению изоляции. С помощью данных методов можно определить не только техническое состояние, но и вовремя локализовать имеющиеся дефекты. Комплексная диагностика различными методами неразрушающего контроля дает возможность оценить степень старения изоляции и ориентировочно рассчитать остаточный ресурс кабеля.

Кроме того, применение диагностических методов позволяет:

- производить проверку качества монтажа при вводе в эксплуатацию и ремонтах;
- предотвратить перебои в подаче электроэнергии;
- экономить затраты на техническое обслуживание;
- экономить затраты за счет частичной замены элементов кабельных систем;
- осуществлять надежный контроль качества после ремонта.

Методы диагностики.

В настоящее время на основе применения современных технологий были созданы компактные диагностические системы и приборы для неразрушающей диагностики силовых кабельных линий в условиях эксплуатации, которые могут использоваться либо как отдельные переносные системы, либо могут быть встроены в передвижные лаборатории.

К наиболее популярным сегодня методам диагностики относятся:

- метод измерения характеристик частичных разрядов;
- метод измерения диэлектрических потерь изоляции;
- метод измерения и анализа возвратного напряжения;
- тепловизионный контроль;
- рефлектометрия.

Метод измерения характеристик частичных разрядов в силовых кабельных линиях.

В силовых кабельных линиях, напряжением до 35 кВ, основными причинами снижения электрической прочности изоляции в процессе длительной эксплуатации является воздействие частичных разрядов (ЧР) и повышенных температур.

В кабелях с бумажно-пропитанной изоляцией ЧР возникают в воздушных включениях, наличие которых происходит во время изготовления данных кабелей. В процессе эксплуатации кабелей с вязкой пропиткой возможно образование пустот в изоляции из-за нагрева и

охлаждения кабелей и поперечного распределения пропиточного состава. При длительном воздействии ЧР приводят к старению изоляции, так как они вызывают эрозию твердого диэлектрика. В этой зоне повышается температура, появляются продукты распада, воздействующие на изоляцию. Эти процессы со временем приводят к пробое изоляции.

Существуют различные способы измерения характеристик ЧР как на отключенных от сети КЛ, так и под рабочим напряжением без отключения КЛ от сети.

Так на первом этапе происходит контроль изоляции под рабочим напряжением, при этом возможно несколько вариантов его технической реализации:

- измерение характеристик ЧР под рабочим напряжением;
- измерение тангенса угла диэлектрических потерь под рабочим напряжением;
- осциллографирование токов и напряжений в сети, а также в цепях заземления.

Наиболее точным и простым в анализе результатов является первый способ, когда еще на стадии непрерывного контроля можно определить тип дефекта и в ряде случаев даже локализовать его местонахождение. При измерении тангенса угла диэлектрических потерь или осциллографировании на первом этапе происходит лишь определение факта наличия и развития дефекта в изоляции, по результатам которого необходим переход ко второму этапу. Второй этап диагностики подразумевает точное определение типа дефекта и его локализацию, для последующего ремонта. Выбор метода диагностирования на втором этапе происходит исходя из полученных на первом этапе данных о наблюдаемом дефекте.

Данные методы не оказывают разрушительного влияния на изоляцию кабельных линий, так как подаваемые при испытаниях напряжения не превышают значения $1,73U_{ном}$. Недостатки у них тоже имеются – для получения многих характеристик придется временно выводить линию из работы, но даже в этом случае вывод из работы заранее запланирован и не является аварийным.

Для локализации места возникновения дефекта используется метод рефлектометрии, при котором на линию подается импульс, который впоследствии отражается от места дефекта и от второго конца линии. Зная разницу во времени отраженных импульсов, а также скорость распространения импульса по кабельной линии, определяется расстояние до местонахождения дефекта от конца кабельной линии.

Компания ЭКРА предлагает решение по непрерывному мониторингу частичных разрядов высоковольтных кабелей под нагрузкой.

Это стационарная система непрерывного онлайн-мониторинга активности (ЧР) в электрической изоляции высоковольтных кабельных систем, в том числе концевых и соединительных муфт, находящихся в работе. Система надёжно выявляет дефекты изоляции, связанные с ЧР, и локализует место их возникновения по всей длине высоковольтных кабелей.

Данные об активности ЧР синхронно собираются высокочастотными трансформаторами тока (ВЧТТ) (рис. 1), установленными на шинах заземления экранов или соединительных шинах всей кабельной арматуры, и передаются в устройство сбора данных для предварительной обработки. Технология, основанная на статистическом методе динамической рефлектометрии (sTDR) при измерении на обоих концах, обеспечивает точное определение расположения дефектов ЧР по всей длине высоковольтных кабелей.

Система подходит для мониторинга ЧР как коротких, так и длинных кабельных линий, в том числе в кабелях, проложенных в грунте или туннеле.

Программное обеспечение дает возможность просматривать состояние всей контролируемой кабельной системы на обзорном экране в режиме реального времени.

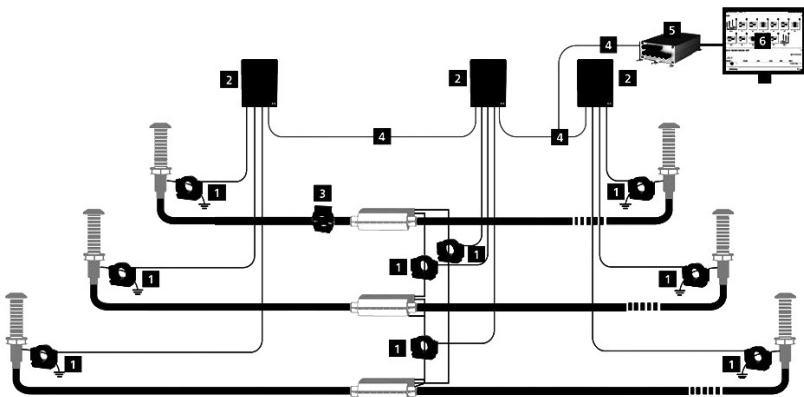


Рисунок 1 – Структурная схема подключения компонентов системы [1-5]

1 – высокочастотный трансформатор тока, 2 – Устройство сбора данных, 3 – индуктивный источник питания, 4 – волоконно-оптическая связь, 5 – главный блок управления, 6 – центральный компьютер с ПО для мониторинга

Измерение диэлектрических потерь изоляции.

Изоляция токоведущей жилы кабеля относительно других жил и заземленной оболочки в трехфазном кабеле и относительно заземленной оболочки в одножильном кабеле образует емкость, изолирующая способность которой характеризуется диэлектрическими потерями в ней, а также тангенсом угла диэлектрических потерь tg . При наличии местного дефекта на начальной стадии развития, например, на кабельной линии, величина tg изменится незначительно. Однако изменение tg будет наблюдаться при наличии дефекта, в зависимости от приложенного напряжения. Именно по характеристикам изменения этой величины можно судить о состоянии кабеля и вынести первую оценку состояния изоляции, после чего применить более точный метод по определению типа дефектов.

Метод измерения и анализа возвратного напряжения.

Данный метод основан на измерении и анализе зависимостей его от времени прохождения тока зарядки в процессе зарядки емкости диагностируемого кабеля постоянным напряжением 1 и 2 кВ [4-9]. Эти зависимости характеризуют состояние, степень старения и содержание влаги в изоляции силовых кабельных линий.

Степень старения изоляции оценивается по максимальному возвратному напряжению, скорости нарастания возвратного напряжения и коэффициенту нелинейности (соотношение измеренных величин при разных значениях зарядного напряжения).

Одним из разработчиков данного метода и установок для проведения диагностики методом анализа возвратного напряжения в условиях эксплуатации является фирма Seba KMT. Ею была создана диагностическая система CD 31, предназначенная для диагностики силовых кабельных линий напряжением до 35 кВ как с полиэтиленовой, так и с бумажной пропитанной изоляцией.

Система состоит из высоковольтного блока (включающего генератор высокого постоянного напряжения, высоковольтный выключатель и разрядное устройство), блока управления и высоковольтных соединительных кабелей. Она подключается к

портативному компьютеру через интерфейс для управления процессом диагностики, записи, обработки и архивирования результатов измерения.

Результаты диагностики с использованием системы CD 31 (рис. 2, рис. 3) показали следующее: для кабелей с бумажной пропитанной изоляцией наиболее информативной характеристикой, чувствительной к старению изоляции (гораздо более чувствительной, чем максимальное возвратное напряжение или другие характеристики изоляции), является скорость нарастания возвратного напряжения.

Изоляция новых (несостаренных) кабелей имеет малую интенсивность процессов поляризации и соответственно малую скорость нарастания возвратного напряжения. Для новых кабелей скорости нарастания возвратного напряжения при зарядных напряжениях 1 и 2 кВ (GR1 и GR2) не превышают 5 и 10 В/с соответственно (рис. 2).

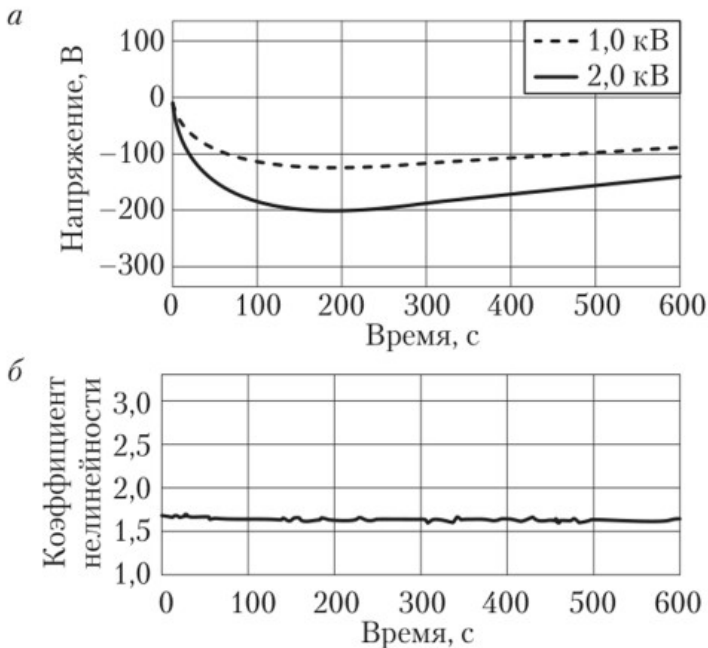


Рисунок 2 – Кривые возвратного напряжения (а) и коэффициента нелинейности (б) для нового кабеля на напряжение 10 кВ с бумажной пропитанной изоляцией

Для кабелей с длительным сроком эксплуатации (более 30-40 лет) скорость нарастания возвратного напряжения в сильно состаренной изоляции может вырасти в 10-15 раз и более по сравнению со скоростью нарастания возвратного напряжения, характерной для несостаренной бумажной пропитанной изоляции (рис. 3).

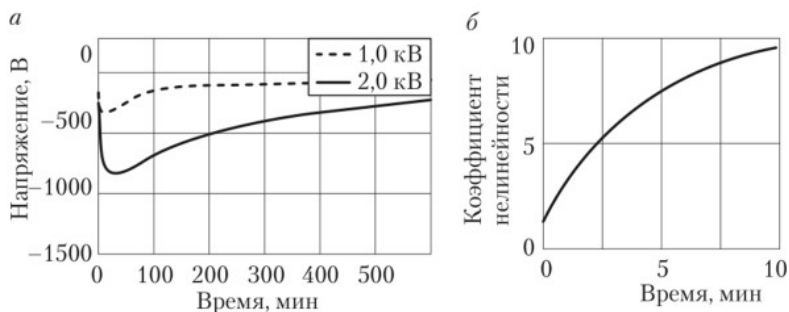


Рисунок 3 – Кривые возвратного напряжения (а) и коэффициента нелинейности (б) для состаренного кабеля на напряжение 10 кВ с бумажной пропитанной изоляцией

По увеличению коэффициентов нелинейности можно судить о состоянии изоляции диагностируемых кабелей. Для сильно состаренной бумажной пропитанной изоляции характерно значительное изменение коэффициента нелинейности в зависимости от времени измерения возвратного напряжения (рис. 3).

Тепловизионный контроль.

Можно отметить следующие достоинства тепловизионной диагностики:

- возможность дистанционного, безопасного выполнения диагностики в рабочем режиме в любое удобное время;
- возможность одновременного выполнения диагностики и оперативного обследования большого объема кабельных линий и муфт.

Вывод. Использование неразрушающих способов диагностики кабельных линий с применением диагностического оснащения позволяет оценивать состояние изоляции и локализовать проблемные места в них, не травмируя изоляцию КЛ; принимать правильное решение о последующей эксплуатации или сроках замены кабелей, отработавших нормативный срок эксплуатации; рационально и обоснованно

планировать сроки проведения ремонтов КЛ и в целом будет способствовать повышению надёжности работы силовых КЛ 6 – 35 кВ с бумажной пропитанной изоляцией.

Список литературы

- [1] Акимова Н.А. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования. / Н.А. Акимова, Н.Ф. Котеленец, Н.И. Сентюрихин; под общ. ред. Н.Ф. Котеленца. // 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. 90-94 с.
- [2] Филипов А.С. Ремонт и монтаж кабельных линий. Часть 1. / А.С. Филипов, В.А. Филипов. – Мн.: Техноперспектива, 2005. 375 с.
- [3] Пантелеев Е.Г. Монтаж и ремонт кабельных линий. / Е.Г. Пантелеев. – М.: Энергоатомиздат, 1990. 288 с.
- [4] Сибикин Ю.Д. Справочник по эксплуатации электроустановок промышленных предприятий. / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – М.: Высш. шк., 2002. 86-90 с.
- [5] Шалыт Г.М. Определение мест повреждения в электрических сетях. / Г.М. Шалыт. – М.: Энергоиздат, 1982. 312 с.
- [6] Аксенов Ю.П. Применение рефлектометрии для диагностики кабелей. / Ю.П. Аксенов, А.Г. Ляпин, Б.Г. Певчев. // Электрические станции. – 1997. № 4.
- [7] Былина М.С., Глаголев С.Ф. Повышение точности определения расстояний по рефлектограммам кабельных цепей. / М.С. Былина, С.Ф. Глаголев. – Кабель-News, 2011. № 5.
- [8] Сайт фирмы «Экра». [Электронный ресурс]. – URL: <https://ekra.ru/>. (дата обращения: 20.03.2021).
- [9] Сайт фирмы «SebaKMT». [Электронный ресурс]. – URL: <https://sebakmt.com/>. (дата обращения: 20.03.2021).

Bibliography (Transliterated)

- [1] Akimova N.A. Installation, maintenance and repair of electrical and electromechanical equipment. / ON THE. Akimova, N.F. Kotelenets, N.I. Sentiurikhin; under total. ed. N.F. Kotelents. // 5th ed., Rev. and add. – M.: Publishing Center "Academy", 2008. 90-94 p.
- [2] Filipov A.S. Repair and installation of cable lines. Part 1. / A.S. Filipov, V.A. Filippov. – Minsk: Tekhnoperspektiva, 2005. 375 p.

- [3] Pantelev E.G. Installation and repair of cable lines. / E.G. Pantelev. – M.: Energoatomizdat, 1990. 288 p.
- [4] Sibikin Yu.D. Handbook for the operation of electrical installations of industrial enterprises. / Yu.D. Sibikin, M. Yu. Sibikin. – M.: Higher. shk., 2002. 86-90 p.
- [5] Shalyt G.M. Determination of places of damage in electrical networks. / G.M. Shalyt. – M.: Energoizdat, 1982. 312 p.
- [6] Aksenov Yu.P. OTDR application for cable diagnostics. / Yu.P. Aksenov, A.G. Lyapin, B.G. Pevchev. // Electric stations. – 1997. No. 4.
- [7] Bylina M.S., Glagolev S.F. Improving the accuracy of determining the distances from the reflectograms of cable circuits. / M.S. Bylina, S.F. Glagolev. – Cable News, 2011. No. 5.
- [8] The site of the company "Ekra". [Electronic resource]. – URL: <https://ekra.ru/>. (date of access: 20.03.2021).
- [9] Site of the company "SebaKMT". [Electronic resource]. – URL: <https://sebakmt.com/>. (date of access: 20.03.2021).

© О.Н. Роцин, А.Н. Бабаевский, 2021

Поступила в редакцию 26.03.2021

Принята к публикации 5.04.2021

Для цитирования:

Роцин О.Н., Бабаевский А.Н. Обзор методов неразрушающего контроля при определении мест повреждения силовых кабельных линий // Инновационные научные исследования : сетевой журнал. 2021. № 4-1(6). С. 89-98. URL: <https://ip-journal.ru/>