

Сахапов Айрат Асхатович

Аспирант 2 курса, кафедра электроснабжение промышленных предприятий

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИКИ СИЛОВЫХ МАГИСТРАЛЬНЫХ ШИНОПРОВОДОВ ДО 1000В И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ

В статье рассматриваются основные проблемы эксплуатации силовых магистральных шинопроводов напряжением до 1000В, связанные с ухудшением контактных соединений и старением изоляции. Проведён сравнительный анализ существующих методов диагностики: метода частичных разрядов и тепловизионного контроля. Обосновано преимущество метода свободных колебаний как интегрального подхода, позволяющего выявлять как электрические, так и механические дефекты на ранней стадии. Представлены теоретические основы метода и перспективы его применения для шинопроводов.

Ключевые слова: шинопровод, диагностика, метод свободных колебаний, собственные частоты, контактные соединения.

Введение

Силовые магистральные шинопроводы напряжением до 1000В являются ключевым элементом систем распределения электроэнергии на промышленных предприятиях, в общественных и жилых зданиях. Их отказ приводит к значительным экономическим потерям из-за простоев производства и создаёт серьёзные риски для безопасности персонала. Основными проблемами при эксплуатации шинопроводов являются ослабление соединений в стыках секций, увеличение переходного сопротивления контактов, старение и повреждение изоляции, а также механические воздействия, приводящие к деформации шин.

Надёжность шинопроводов напрямую зависит от своевременного выявления дефектов. Существующие методы диагностики не всегда позволяют получить полную картину состояния оборудования. В данной работе рассматриваются три основных подхода: метод частичных разрядов, тепловизионный контроль и метод свободных колебаний, с обоснованием преимуществ последнего.

1. Существующие методы диагностики и их ограничения

1.1 Метод частичных разрядов

Частичные разряды (ЧР) представляют собой локальные электрические разряды, возникающие в дефектных участках изоляции — пустотах, трещинах, на границах разнородных материалов. Этот метод широко применяется для диагностики высоковольтного оборудования (свыше 6 кВ) и позволяет выявлять дефекты изоляции на ранней стадии.

Однако для шинопроводов до 1000В его применение ограничено по нескольким причинам:

1. **Низкая чувствительность.** При напряжении до 1 кВ интенсивность частичных разрядов значительно ниже, чем в высоковольтных системах, что затрудняет их регистрацию на фоне промышленных помех.

2. **Сложность локализации.** Частичные разряды могут возникать как в самом шинопроводе, так и в присоединённом оборудовании, что требует сложной обработки сигналов.

3. **Ограниченный спектр выявляемых дефектов.** Метод эффективен для диагностики изоляции, но практически бесполезен для оценки состояния контактных соединений, механических повреждений шин или усталостных трещин.

Следует отметить, что даже в случае успешной регистрации ЧР интерпретация результатов требует учёта множества факторов, включая тип

разряда (коронный, поверхностный или внутренний) и его опасность для оборудования. Это дополнительно усложняет практическое применение метода.

1.2 Тепловизионный контроль

Тепловизионный контроль является наиболее распространённым методом диагностики шинопроводов в эксплуатации. Он основан на регистрации инфракрасного излучения и позволяет визуализировать температурные аномалии на поверхности оборудования.

Преимущества метода:

- **Быстрота проведения.** Обследование проводится без отключения оборудования.
- **Визуальная наглядность.** Термограмма чётко показывает зоны локального перегрева, характерные для ослабленных контактов.
- **Безопасность.** Бесконтактный метод исключает риск поражения электрическим током.

Однако тепловизионный контроль имеет существенные недостатки:

1. **Необходимость наличия нагрузки.** Для достоверного выявления перегрева токовая нагрузка должна составлять не менее 30% от номинальной. При малых нагрузках или в режиме холостого хода дефектные соединения могут не проявляться.
2. **Поверхностный характер измерений.** Инфракрасная камера фиксирует только внешнюю температуру. Внутренние дефекты (например, микротрещины в шинах или глубокие повреждения изоляции) могут остаться незамеченными.
3. **Влияние внешних факторов.** Результаты сильно зависят от состояния поверхности (загрязнения, окисление), коэффициента излучения материала и отражающих свойств окружающих предметов.

4. **Ограниченная точность для закрытых шинопроводов.** В современных комплектных шинопроводах токоведущие части закрыты кожухом, что искажает тепловую картину и снижает точность диагностики.

5. **Зависимость от опыта оператора.** Интерпретация термограмм требует высокой квалификации, а ложные срабатывания и пропуски дефектов встречаются достаточно часто.

Несмотря на широкое распространение, тепловизионный контроль не является универсальным решением. Он дополняет другие методы, но не заменяет их.

2. Метод свободных колебаний как альтернативный подход

Метод свободных колебаний (виброакустический метод) относится к интегральным методам неразрушающего контроля. В отличие от частичных разрядов и тепловизионного контроля, он позволяет оценить не отдельные характеристики (состояние изоляции или температуру контактов), а общее механическое состояние объекта исследования.

2.1 Теоретические основы метода

Шинопровод как протяжённая конструкция представляет собой упругую механическую систему с распределёнными параметрами. При внешнем импульсном воздействии (ударе) в нём возникают свободные затухающие колебания. Частота собственных колебаний и декремент затухания являются интегральными характеристиками, зависящими от геометрических параметров, механических свойств материала и, что наиболее важно, от наличия дефектов.

2.2 Применение метода к шинопроводам

Применительно к силовым шинопроводам метод свободных колебаний позволяет выявлять следующие дефекты:

1. **Ослабление креплений и опор.** Изменение условий закрепления приводит к изменению коэффициента частоты и, соответственно, собственной частоты.

2. **Трещины и усталостные повреждения шин.** Любая трещина изменяет жёсткость сечения, что влияет на частотный спектр и декремент затухания колебаний.

3. **Ослабление соединений в стыках.** Контактные соединения представляют собой дополнительные упругие и демпфирующие элементы, изменяющие динамические характеристики системы.

4. **Внутренние дефекты изоляции** (в случае изолированных шинопроводов) — они также изменяют плотность и демпфирующие свойства конструкции.

Преимущества метода свободных колебаний:

- **Интегральный характер.** Метод позволяет обнаруживать дефекты вне зависимости от их природы (механические, электрические, изоляционные) — любые изменения в конструкции влияют на динамический отклик.

- **Работа без нагрузки.** Диагностика может проводиться как на отключённом, так и на работающем оборудовании — результаты не зависят от токовой нагрузки.

- **Высокая чувствительность.** Метод способен выявлять микротрещины размером порядка 200 мкм, которые недоступны для тепловизионного контроля.

- **Простота реализации.** Для проведения измерений достаточно акселерометра и портативного анализатора спектра.

- **Возможность автоматизации.** Оценка состояния может проводиться автоматически по заранее заданным критериям.

Заключение

Проведённый анализ показывает, что существующие методы диагностики силовых магистральных шинопроводов до 1000В имеют существенные ограничения. Метод частичных разрядов эффективен для выявления дефектов изоляции, но требует дорогостоящего оборудования и не позволяет оценивать механическое состояние конструкции. Тепловизионный контроль хорошо выявляет перегретые контакты при достаточной нагрузке, но не чувствителен к микротрещинам и внутренним повреждениям.

Метод свободных колебаний представляет собой универсальный интегральный подход, позволяющий одновременно выявлять широкий спектр дефектов — от ослабленных креплений до усталостных трещин. Его ключевые преимущества — независимость от токовой нагрузки, возможность работы без отключения электроэнергии и высокая чувствительность к микротрещинам — делают его наиболее перспективным для внедрения в практику диагностики низковольтных шинопроводов.

Рекомендуется проведение дальнейших исследований по адаптации метода свободных колебаний для различных типов шинопроводов, разработка нормативных документов по его применению и создание портативных приборов для оперативного контроля.

Литература

1. Гельман Л.М., Горпинич С.В. Виброакустический метод свободных колебаний для неразрушающего контроля трещин // Акустичний вісник. – 1999. – Т. 2. – № 4 – С. 13-22.
2. Ройтман А.Б. Вибрационная диагностика «дышащих» трещин в изделиях // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2000. – № 1. – С. 58-66.
3. Генкин М.Д. Акустическая динамика машин и конструкций. – М.: Наука, 1973. – 112 с.

4. Ваньков Ю.В. Методы и устройства контроля технического состояния изделий по параметрам собственных колебаний на основе конечноэлементного моделирования и статистических критериев сравнения спектров: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.11.13. – Казань, 2004. – 32 с.
5. Владимиров О.В., Ившин И.В., Низамиев М.Ф. Исследование влияния дефектов на собственные частоты колебаний деталей энергетических установок.
6. Ившин И.В. Разработка тестовых и функциональных методов контроля изделий вооружения и военной техники по виброакустическим параметрам / И.В. Ившин // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Казань: КВВКУ, 2009. С. 364.
7. Ившин И.В. Информационно-измерительная система для контроля технического состояния работающих механизмов по параметрам вибрации./ Р.С. Сайтбаталова, Ю.В. Ваньков, В.А. Гаврилов, Н.К. Мифтахова // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2012. № 3-4. С. 128-135