

УДК004.896

ОБЗОР МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ
OVERVIEW OF FAULT DIAGNOSIS METHODS IN POWER SUPPLY SYSTEMS

В.В. Карвецкий, А.С. Буйко

Научный руководитель – Ю.И. Богданов, ассистент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

V. Karvetski, A. Buiko

Supervisor – Y. Bogdanov, assistant
Belarusian national technical university,
Minsk, Belarus

***Аннотация:** Переходная устойчивость имеет важное значение для энергосистем. Для восстановления переходной устойчивости необходимо отделить такие возмущения, как неисправности. В данной статье представлен полный обзор методов диагностики неисправностей в системе передачи электроэнергии. Как правило, для анализа используются образцы напряжения и тока. Обсуждаются извлечение признаков, преобразования и методы снижения размерности. Методы классификации и локализации неисправностей в основном используют методы искусственного интеллекта (ИИ) и обработки сигналов.*

***Annotation:** Transient stability is important for power systems. To restore transient stability, disturbances such as faults must be separated. This article presents a complete overview of how to diagnose faults in a power transmission system. Typically, voltage and current samples are used for analysis. Feature extraction, transformations, and dimensionality reduction techniques are discussed. ways to systematize and localize faults mainly use artificial intelligence (AI) and signal processing techniques.*

***Ключевые слова:** сети переменного тока; искусственный интеллект (ИИ), дискретное преобразование (DWT), обнаружение неисправностей (FD), линии передачи (TL), локализация неисправностей (FL), машинное обучение (ML), глубокое обучение (DL).*

***Keywords:** AC networks; artificial intelligence (AI),discrete wavelet transform (DWT), fault detection (FD), transmission lines (TL), fault localization (FL), machine learning (ML),deep learning (DL)*

Введение

Достижения в области методов обработки сигналов, искусственного интеллекта (AI) и машинного обучения (ML) помогли исследователям принять более комплексный и специализированный подход к исследованиям, связанным с привычными методами защиты от повреждений.

Короткие замыкания в энергосистемах (PS) возникают чаще, чем последовательные замыкания, разрывы на пути тока. Шунтовые замыкания оказывают плохое влияние на энергосистему: приводят к катастрофам и

оставляют опасные последствия. Короткие замыкания можно разделить на симметричные и несимметричные, дальнейшая классификация представлена на рисунке 1 для трехфазной системы

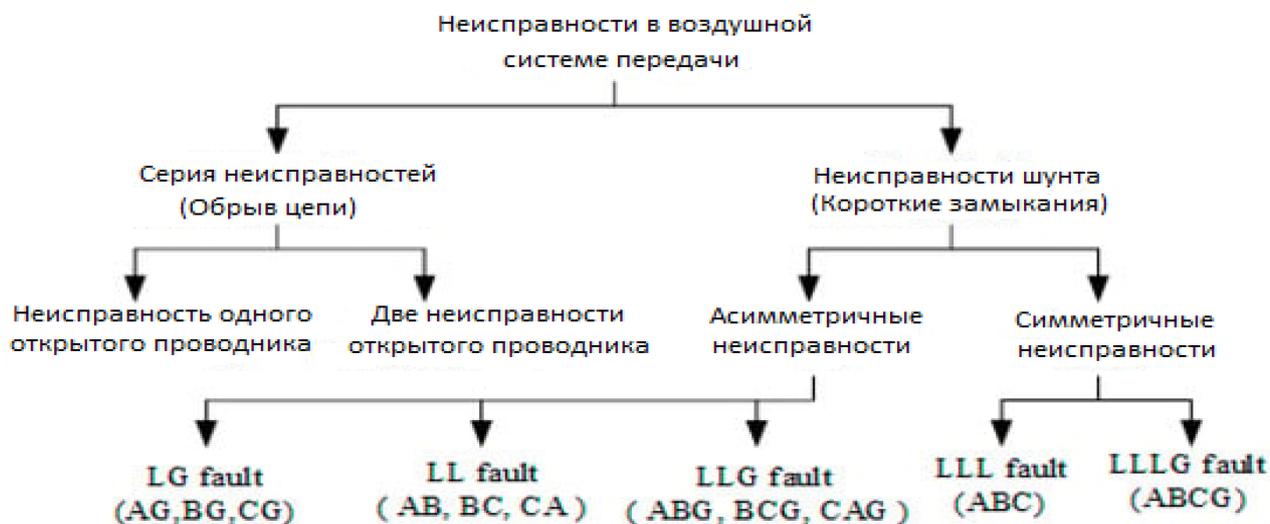


Рисунок 1. Различные типы неисправностей, которые могут возникнуть в трехфазных системах передачи электроэнергии.

Основная часть

Методы поиска места повреждения

Всесторонний обзор существующих методов поиска мест повреждения (FL). Методы FL можно классифицировать по источнику данных: двухсторонние, односторонние и широкозонные.

Подход к поиску повреждений в широкой зоне

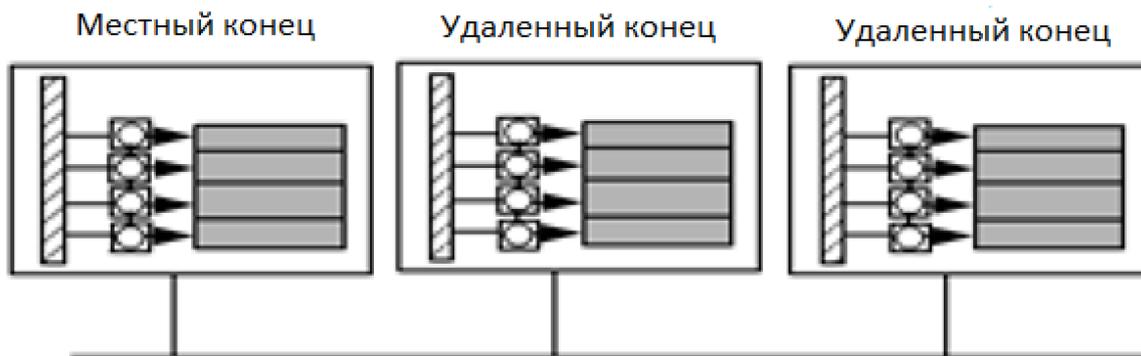


Рисунок 2. Метод локализации неисправностей в широкой зоне: локальный сайт является местом, откуда поступает запрос приложения, и отвечает за координацию удаленных реплик.

Традиционные методы поиска повреждений не могут отследить повреждения, когда ни одно из контрольных устройств, установленных на конечных зажимах линии передач(TL), не фиксирует изменения в профилях напряжения и тока. Решить данную проблему можно с помощью методов широкозонного. В методах широкозонного FL копия каждого

приложения/алгоритма работает на разных подстанциях, как представлено на рисунок 2, для того чтобы не перегружать имеющиеся вычислительные и коммуникационные ресурсы определенной станции. В таком случае, повреждение может быть найдено даже при меньшем количестве устройств, установленных в разных концах ЛЭП.

Алгоритм поиска места повреждения для FL с последовательной компенсацией

Как правило, последовательная компенсация достигается с помощью последовательных конденсаторов и металлооксидных варисторов. Нелинейная природа устройств последовательной компенсации делает более сложным процесс поиска неисправного участка и, следовательно, определение места повреждения. Обобщенная процедура поиска FL для TL с последовательной компенсацией показана на рисунке 3. Вейвлет-коэффициенты третьего уровня (62,5-125 кГц) находятся при помощи метода дискретного вейвлет-преобразования(DWT) из двух циклов после повреждения и одного цикла до повреждения. Признаки, базирующиеся на стандартном отклонении в коэффициентах сигналов напряжения и тока, служат входом для искусственной нейронной сети(ANN).

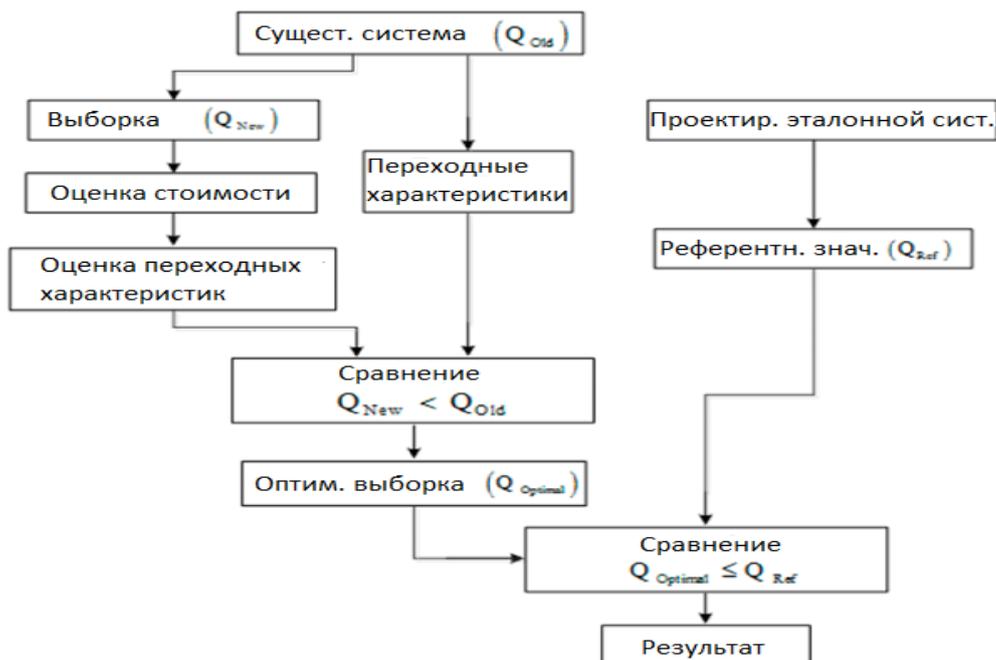


Рисунок 3. Алгоритм FL для последовательно компенсированных линий передачи.

Методы FL для гибридных TL

Гибридные TL, которые состоят из подземных кабелей, а также из воздушных (ОН), на стыках имеют разрывы, в которых происходит отражение сигналов тока и напряжения. Скорости бегущих волн отличаются в кабельных и воздушных линиях. Традиционные подходы нуждаются в модернизации для применения их в гибридных системах передачи. Скорости бегущих волн также могут быть использованы для определения места повреждения из-за различных скоростей бегущих волн(TW) в гибридных системах передачи. Предлагаются

методы определения локализации повреждений на основе TW, применяются переходные процессы, возникшие в процессе работы автоматического выключателя, вместо переходных процессов, вызванных повреждением. Время прибытия элементов бегущей волны находится с помощью Вейвлет-преобразования (WT), а зона повреждения выявляется по полярности отражений.

Алгоритм на основе ANN для FL

Определение места повреждения также может быть решено в сетях электропередачи с помощью применения ANN различных видов, поскольку они демонстрируют самоорганизацию, высокую отказоустойчивость, самообучение, быстрый анализ и аппроксимацию нелинейных функций. ANN таких типов обучаются на основе детальных коэффициентов, полученных с помощью DWT, которые затем применяются в алгоритме Левенберга-Марквардта для поиска неисправностей.

Алгоритм на основе нечетких интерференционных систем (FIS) для FL

Способность алгоритмов FIS к самообучению и отказоустойчивости дает возможность им конкретизировать предварительно заданные нечеткие правила, которые затем используются для поиска неисправностей. Эффективность подтверждена с помощью моделирования Монте-Карло, и ошибка составила 5%. Норма энтропии коэффициентов гармоник (62,5-500 Гц), коэффициентов основной частоты (0-62,5 Гц) и коэффициентов переходных процессов (500-4000 Гц) получена с помощью 6-уровневой DWT с использованием материнского вейвлета Db4.

Подход на основе регрессии вектора поддержки для FL

Задачи регрессии могут быть решены благодаря машинам опорных векторов (SVM) путем введения потерь ϵ -функции, нечувствительной к потерям. Эту технику называют регрессией опорных векторов (SVR). SVR сохраняет свойства SVM, такие как минимизация возможностей переборки данных путем выбора дискриминантных функций на основе принципов структурной минимизации. После классификации, полученной с помощью SVM, используется радиальное базисное ядро SVR, соответствующее типу неисправности. Она реализуется заменой гауссовского окна S-образного преобразования (ST) на гиперболическое окно в качестве асимметричного окна для извлечения признаков из сигналов тока и напряжения.

Заключение

В данной статье изложена информация о методах обнаружения, классификации и локализации повреждений на ЛЭП.

Методы машинного обучения используются на широкой основе исследователями для анализа и определения типов неисправностей. Однако в дополнение к FIS, SVM, ANN и DT для классификации рекомендованы к использованию перспективные алгоритмы, в основе которых лежит глубокое обучение.

Алгоритмы поиска неисправностей рассматриваются с применением методов искусственного интеллекта. Машинное обучение совместно с методами глубокого обучения рекомендуется для будущих способов поиска

неисправностей в связи с растущим участием коммуникаций и вычислений в системах передачи.

Литература

1. A Review of Fault Diagnosing Methods in Power Transmission Systems [Электронный ресурс]/ A Review of Fault Diagnosing Methods in Power Transmission Systems. - Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/4/1312>. – Дата доступа: 17.04.24
2. Методы для обнаружения и диагностика неисправностей применительно IoT [Электронный ресурс]/ Методы для обнаружения и диагностика неисправностей применительно IoT. - Режим доступа: <https://habr.com/ru/amp/publications/567574/>. – Дата доступа: 17.04.24
3. Анализ методик и подходов к проблеме диагностирования технического состояния сетей электроснабжения [Электронный ресурс]/ Анализ методик и подходов к проблеме диагностирования технического состояния сетей электроснабжения. - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodik-i-podhodov-k-probleme-diagnostirovaniya-tehnicheskogo-sostoyaniya-setey-elektrosnabzheniya/viewer>. . – Дата доступа: 17.04.24