

## ДИАГНОСТИКА СИГНАЛИЗАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Докт. техн. наук АНИЩЕНКО В. А., инж. ШУТОВ А. Л.

*Белорусская государственная политехническая академия*

Надежность функционирования систем электроснабжения определяется как надежностью силового оборудования — электроустановок и электроприемников, так и достоверностью измерительной информации, характеризующей режимные параметры и состояние оборудования. В состав этой информации входят, в частности, результаты сигнализации положения коммутационных электрических аппаратов (автоматических выключателей, разъединителей, заземляющих ножей).

Основные усилия в обеспечении достоверности сигнализации положения аппаратов до последнего времени направлялись на повышение надежности технических средств, в том числе каналов передачи измерительной информации и вычислительных комплексов, собирающих и представляющих результаты сигнализации. Эксплуатационная надежность сигнализации положения коммутационных аппаратов может быть существенно повышена также за счет выявления ее ошибок путем функционального диагностирования.

В отличие от тестового диагностирования, производимого на выключенном оборудовании при проведении профилактики и ремонтов путем подачи тестовых воздействий в соответствии со специальной испытательной программой, функциональное диагностирование осуществляется практически непрерывно в процессе работы оборудования. Ошибочные результаты сигнализации при функциональном диагностировании обнаруживаются с запаздыванием, обусловленным циклической частотой опроса пассивных датчиков дискретной информации, или практически без задержки времени при использовании инициативных датчиков.

В настоящей статье рассматривается задача функциональной диагностики измерительной информации о положении коммутационных электрических аппаратов: приводится краткий анализ достигнутых результатов и намечены направления дальнейших разработок в этой области.

**Анализ функциональных методов диагностики сигнализации положения коммутационных аппаратов.** В современных автоматизированных системах электроснабжения различных уровней сбор, обработка измерительной информации и выработка на ее основе управляющих воздействий производится с помощью управляющих вычислительных комплексов (УВК). Схема основных информационных потоков в задачах сигнализации положения и оперативных переключений коммутационной аппаратуры, куда наряду с результатами сигнализации входят результаты измерения аналоговых переменных (электрических токов, напряжений, активных и реактивных мощностей), представлена на рис. 1.

Недостоверность результатов сигнализации положения коммутационных аппаратов может вызываться:

неисправностями датчиков дискретной информации из-за недовключения или залипания вспомогательных блок-контактов коммутационных аппаратов;



Рис. 1

ошибками монтажа цепей сигнализации, когда результаты сигнализации положения одних аппаратов приписываются другим;

влиянием электромагнитных внешних наводок в датчиках, вторичных преобразователях, каналах связи, устройствах ввода информации в УВК и самих УВК;

отказами в цепях оперативного тока, питающих схему сигнализации.

Оперативно выявлять большинство ошибочных результатов сигнализации практически возможно только методом функциональной диагностики. Теоретической предпосылкой реализации такой возможности является наличие информационной избыточности. Последняя может быть обеспечена за счет дублирования датчиков и измерительных каналов, что требует значительных дополнительных затрат и может быть рекомендовано только для особо важных в технологическом смысле коммутационных аппаратов. Для основной массы контролируемых дискретных переменных информационная избыточность достигается совместным рассмотрением результатов сигнализации и результатов измерений связанных с ними аналоговых переменных. Здесь возможны два метода. При двухступенчатой структуре диагностики вначале проверяется достоверность измерений аналоговых переменных, а затем сопоставляются результаты сигнализации с достоверными значениями аналоговых переменных. Признаком неисправности сигнализации является технологическая противоречивость этих данных [3]. При совместной (одноступенчатой) структуре диагностики одновременно обнаруживаются как ошибки сигнализации, так и аномально большие ошибки измерений аналоговых переменных четырех типов [4, 5]. Это ошибки:

сигнализации типа «отключено», когда фиксируется отключенное положение при фактически включенном аппарате;

сигнализации типа «включено», когда фиксируется включенное положение при фактически отключенном аппарате;

измерения аналоговых переменных типа «нет сигнала», когда показывается отсутствие сигнала, а в действительности он имеет место;

измерения аналоговых переменных типа «есть сигнал», когда показывается присутствие сигнала, а в действительности его нет.

Выявление перечисленных типов ошибок производится на основе логики высказываний и аппарата булевой алгебры. Множество возможных состояний бинарных результатов сигнализации и измерений определяется по формуле

$$N = 2^{(n_d + n_A)}, \quad (1)$$

где  $n_d$  — число дискретных переменных, характеризующих сигнализацию положения аппаратов;

$n_A$  — число аналоговых переменных.

Это множество разделяется на подмножество истинных, т. е. технологически непротиворечивых состояний, и подмножество ошибочных (противоречивых) состояний. Первое подмножество образует таблицу истинности, второе — таблицу ошибок.

В терминах технической диагностики систему сигнализации можно рассматривать как дискретный комбинационный объект диагноза, особенностью которого являются включенные в состав координат объекта аналоговые переменные. Выявление ошибок сигнализации и измерений производится с помощью функционального диагностирования по результатам рабочих воздействий, присущих нормальному неаварийному режиму работы системы электроснабжения. В процессе диагностических операций результаты сигнализации и измерений сопоставляются со значениями переменных, входящих в таблицу истинности или ошибок. Результаты этой процедуры являются диагностическими признаками, по которым осуществляется контроль достоверности.

Полное в результате поэлементного сравнения совпадение (или несовпадение) результатов сигнализации и измерений с одним из табличных состояний означает отсутствие недостоверных данных. В противном случае формируется массив подозреваемых в недостоверности значений переменных с последующей их локализацией. Последняя заключается в нахождении табличных состояний переменных, в минимальной степени отличающихся от измеренного состояния. Ошибочными принимаются значения переменных, неодинаковые в выделенных таким способом состояниях.

Альтернативой рассмотренному методу являются непрерывные методы оценивания аналоговых переменных, модифицированные для обнаружения неисправностей сигнализации [6, 7]. Из известных таких методов отметим следующие:

- 1) идентификацию сопротивлений связи;
- 2) введение булевых переменных в состав оцениваемых.

Вероятно, применение непрерывных методов может оказаться более эффективным для выявления неисправности сигнализации в электроэнергетических системах. Перспектива их использования на электрических подстанциях и в распределительных устройствах станций вызывает сомнения, так как в этом случае сопротивления ветвей на несколько порядков меньше, чем в системах, что приводит к значительно более низкой разрешающей способности методов. Окончательный ответ может быть получен после анализа опыта практического применения всех рассмотренных выше методов.

**Основные направления развития методов функциональной диагностики сигнализации положения коммутационных аппаратов.** Функциональные методы диагностики позволяют выявлять неисправности сигнализации для конкретной, существующей в текущий момент времени схемы электрических соединений системы электроснабжения. При этом могут остаться необнаруженными ошибки сигнализации, проявляющиеся при других возможных схемах электрических соединений. Однако оперативность выявления неисправностей в темпе происходящих процессов, отсутствие необходимости вывода из работы электрооборудования для проверки состояния сигнализации, наличие требуемой для диагностики информации – собираемых в УВК показаний сигнализации и измерительных приборов дают основание рекомендовать функциональную диагностику для широкого применения в автоматизированных системах диспетчерского управления. В связи с этим нуждаются в дальнейшем теоретическом и практическом исследовании следующие принципиальные вопросы:

обоснование выбора одно- или двухступенчатой структуры построения функциональной диагностики с учетом числа контролируемых дискретных и аналоговых переменных, показателей надежности сигнализации и измерений, информационной избыточности;

обоснование выбора таблицы истинности или ошибок в качестве базовой. При этом должны учитываться такие факторы, как соотношение размерностей этих таблиц, требуемый объем памяти и скорость решения задачи на ЭВМ, состав контролируемых дискретных переменных, топологические особенности схемы электрических соединений;

разработка методики минимизации базовой таблицы истинности или ошибок. Число возможных состояний системы, определяемое, согласно (1), для реальных схем электрических соединений подстанций и распределительных устройств, весьма велико. Это делает практическую осуществимость диагностики сильно зависимой от возможности обоснованного сокращения размерности базовой таблицы. Необходимо иметь в виду возможное уменьшение глубины, т. е. точности локализации диагностирования, при минимизации базовой таблицы истинности (ошибка) даже при сохранении достоверности диагностирования;

разработка методики оперативной коррекции математической модели диагностики при оперативных изменениях схемы электрических соединений. В качестве ориентира может служить алгоритм [8], позволяющий идентифицировать существующий в данный момент времени вариант схемы электрических соединений и формировать соответствующую ему систему уравнений связи аналоговых переменных в функции положения автоматических выключателей.

## **В Ы В О Д Ы**

1. Показаны возможности повышения эксплуатационной надежности систем электроснабжения путем оперативной диагностики сигнализации положения коммутационной аппаратуры.

2. Проведен анализ известных функциональных методов диагностики сигнализации положения коммутационной аппаратуры.

3. Намечены и обоснованы основные пути совершенствования и дальнейшего развития функциональных методов диагностики сигнализации положения коммутационной аппаратуры.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Matsumoto K., Sakaguchi T., Uemura K. Verification of switching operation with temporal logic // IEEE Trans. Power Appar. and System. – 1971. – V. PAS-90. – № 6. – P. 2718–2723.
2. А н и щ е н к о В. А. Информационное обеспечение задач контроля достоверности и повышения точности измерений на электростанциях и подстанциях // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1997. – № 7–8. – С. 11–14.
3. А н и щ е н к о В. А. Выявление ошибок сигнализации положения коммутирующей аппаратуры при помощи ЭВМ // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений). – 1982. – № 9. – С. 24–28.
4. А н и щ е н к о В. А. Совместный контроль достоверности сигнализации положения коммутационной аппаратуры и измерений аналоговых переменных // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1994. – № 1–2. – С. 9–13.
5. А н и щ е н к о В. А., Суле И то па М а л и к. Комбинированный контроль достоверности сигнализации положения коммутационной аппаратуры и измерений аналоговых переменных // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1995. – № 3–4. – С. 52–56.
6. Войтов О. Н., Воронин В. Н., Гамм А. З. Автоматизированная система оперативно-диспетчерского управления электроэнергетическими системами / Под ред. М. Н. Розанова, В. А. Семенова. – Новосибирск: Наука, 1986. – 208 с.
7. Арбаचाускене Н. А., Григалюнас А. К., Каминскас В. А. Динамическое оценивание режимных и сетевых параметров электроэнергетических систем // Алгоритмы обработки данных в энергетике. – Иркутск: СЭИ СО АН СССР, 1982. – С. 61–69.
8. А н и щ е н к о В. А., К а з а н с к а я Т. Н. Достоверизация учета электроэнергии при изменении главной схемы электрических соединений электростанции // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1993. – № 3–4. – С. 11–14.

Представлена кафедрой  
электроснабжения

Поступила 21.09.1999

УДК 621.3.066.06

### **ТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ В ШИНЕ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ ЗАТУХАЮЩЕМ ЗАКОНЕ ИЗМЕНЕНИЯ СИЛЫ ТОКА**

**Инженеры ГЕРАСИМОВИЧ Д. А., НОСАЙРАТ ФАИЗ,  
канд. физ.-мат. наук, доц. МЕЛЕШКО И. Н.**

*Белорусская государственная политехническая академия*

Переходные режимы в электрических цепях сопровождаются возникновением свободного затухающего тока. Закон изменения этого тока обусловлен параметрами цепи переходного процесса. Данный ток может быть затухающим аperiодическим или колебательным. Электромагнитные параметры токоведущей части, как правило, столь незначительны, что не оказывают заметного влияния на закон изменения свободного тока. В силу этого свободный ток по отношению к проводникам можно рассматривать как некоторый вынужденный, обусловленный параметрами внешней цепи. Исследования, посвященные анализу электромагнитных полей шинопроводов при наличии затухающей составляющей тока, практически отсутствуют. Можно отметить лишь работу [1], в которой проведено исследование