

службы позволит благодаря учету реального суточного графика нагрузки полностью использовать в случае режимной необходимости потенциальную перегрузочную способность трансформаторов. Реализация метода предполагается с помощью автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии.

#### Литература

1. ГОСТ 14 – 09 – 97 (МЭК 354 – 91) Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов.

УДК 621.311

### **МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Анищенко В.А., д. т. н., проф., Немкович А.С., асп.  
*Белорусский национальный технический университет  
г. Минск, Республика Беларусь*

Надежность работы системы электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и иных потребителей существенно зависит от достоверности и точности измерительной информации, характеризующей положения коммутационных электрических аппаратов (дискретные переменные) и значений аналоговых переменных (токов, напряжений, активных и реактивных мощностей и потоков энергий). Недостоверная и недостаточно точная информация может привести к ошибкам при формировании на ее основе управляющих воздействий систем автоматики, защиты и действий оперативного персонала.

Достоверным считается результат измерения аналоговой переменной, соответствующий расчетной точности измерительной аппаратуры, которая характеризует надежность всего измерительного тракта, включающего измерительные трансформаторы тока и напряжения, датчики измерений, каналы передачи информации.

Точность измерения характеризует его близость к неизвестному точному значению аналоговой переменной.

Высокая достоверность и точность измерительной информации может быть достигнута двумя путями:

- выбором высоконадежных технических средств для производства измерений и передачи информации на стадии проектирования систем электроснабжения;

- оперативным контролем достоверности измерительной информации в процессе эксплуатации систем.

Необходимым и достаточным условием обнаружения недостоверных измерений является наличие информационной избыточности. Программно-логические методы оперативного контроля достоверности аналоговых измерений подразделяются в зависимости от источника информационной избыточности на следующие [1,2]:

- контроль достоверности по предельным значениям (уставкам), выявляющий грубые погрешности измерений, когда используется априорная избыточная информация о законе распределения и границах, в которых могут находиться значения контролируемой переменной в нормальных режимах работы;

- контроль достоверности по первым приращениям, выявляющий грубые погрешности измерений, когда используется априорная избыточная информация по возможной максимальной скорости изменения значений контролируемой переменной в нормальных режимах работы;

- контроль достоверности дублированных измерений, выявляющий их грубые погрешности, когда контролируемая переменная измеряется одновременно двумя датчиками и используется априорная избыточная информация о законе распределения и границах, в которых могут находиться значения контролируемой переменной в нормальных режимах работы, а также апостериорная информация о величине невязки измерений;

- контроль достоверности измерений взаимосвязанных переменных, выявляющий грубые погрешности, когда используется априорная избыточная информация о топологии переменных, законах распределения и границах, в которых могут находиться их значения, и апостериорная информация о величинах невязок уравнений связи;

- контроль достоверности, выявляющий систематические погрешности взаимосвязанных переменных, основанный на использовании априорной избыточной информации о топологии переменных, законах распределения и границах, в которых могут находиться их значения, и апостериорной информации об осредненных по временным циклам величинах невязок уравнений связи.

При контроле взаимосвязанных переменных возникает необходимость локализации недостоверных измерений. Для обеспечения эксплуатационной надежности системы электроснабжения следует оперативно производить замену недостоверных результатов измерений наиболее вероятными замещающими значениями, поскольку устранение возникающих неисправностей измерительной аппаратуры может потребовать достаточно продолжительного времени.

В качестве замещающего значения могут назначаться последний достоверный результат измерения или среднее значение переменной в диапазоне ее возможных в нормальных режимах работы значений. В первом случае точность замещающего значения снижается с увеличением скорости изменения переменной и интервала времени между последним достоверным результатом измерения и текущим моментом времени. Во втором случае точность замещающего значения снижается с увеличением диапазона возможных значений измеряемой переменной.

Выбор замещающих значений должен производиться таким образом, чтобы их подстановка в уравнения связи вместо недостоверных измерений, ликвидирующая недопустимо большие невязки, не приводила к появлению новых недопустимых невязок в других уравнениях [3].

Ни один из перечисленных выше однопризнаковых методов контроля достоверности не может гарантировать стопроцентное выявление недостоверных измерений в силу вероятностной природы возникновения погрешностей. Максимальную достоверность распознавания недостоверных измерений можно обеспечить с помощью многопризнакового (коллективного) метода контроля, согласно которому окончательный вывод о недостоверности измерений производится путем совместной обработки результатов контроля несколькими однопризнаковыми методами [2]. При этом возникает задача оптимизации логической схемы совместной обработки («И», «ИЛИ», миноритарная) [4].

Сложность и стоимость измерительной аппаратуры возрастают с повышением достигаемой точности измерений. В связи с этим представляют значительный интерес методы статистического оценивания, позволяющие расчетным путем корректировать достоверные показания приборов. В результатах статистического оценивания определяются оптимальные оценки измеренных переменных, которые можно рас-

смагивать как «псевдоизмерения», якобы произведенные приборами более высокого класса точности. В среднем эти оценки точнее фактических показаний установленной измерительной аппаратуры.

Контроль достоверности дискретных переменных, то есть сигнализации включенного или отключенного положения коммутационных электрических аппаратов (выключателей, разъединителей и их заземляющих ножей), возможен при совместном анализе результатов сигнализации и измерений аналоговых переменных. Для этого формируется таблица состояний комбинаторной системы, соответствующая топологии схемы электрических соединений. Таблица состояний подразделяется на таблицу истинности и таблицу ошибок, таблица истинности составляется из технологически непротиворечивых комбинаций дискретных результатов сигнализаций и значений аналоговых переменных, характеризующих наличие или отсутствие тока, напряжения. Таблица ошибок составляется из технологически противоречивых комбинаций значений переменных.

Недостоверные результаты сигнализации положений коммутационных аппаратов выявляются путем сравнения комбинаций фактических результатов сигнализации и измерений с табличными истинными или ошибочными комбинациями.

Реализация программно-логических методов контроля достоверности измерительной информации предполагается в рамках автоматизированных систем контроля, учета и управления электрооборудованием.

#### Литература

1. Анищенко, В.А. Надежность измерительной информации в системах электроснабжения / В.А. Анищенко. – Мн.:БГПА, 2000. – 128 с.
2. Анищенко, В.А. Достоверность дублированных измерений энергетических переменных / В.А. Анищенко, А.С. Немкович // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2013. – №1. – С. 15-16.
3. Анищенко, В.А. Выбор замещающих значений при обнаружении недостоверных измерений аналоговых переменных / В.А. Анищенко, А.В. Горош // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ).). – 2001. – №1. – С. 25-31.
4. Анищенко, В.А. Систематический коллективный контроль достоверности измерений в системах электро-, тепло- и газоснаб-

жения / В.А. Анищенко // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2001. – №4. – С. 3-9.

5. Анищенко, В.А. Разработка математической модели для диагностики ошибок сигнализации положений коммутационных электрических аппаратов / В.А. Анищенко, А.Л. Шутов // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ).). – 2000. – №4. – С. 6-12.

**УДК 621.3**

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДНОГО ПРОГРЕВА БЕТОНА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗДАНИЙ И ООРУЖЕНИЙ АПК**

Василевский Ю.Л., Василевский Л.В.

*Белорусский национальный технический университет  
город Минск, Республика Беларусь*

При строительстве зданий и сооружений агропромышленного комплекса из монолитного бетона и железобетона в осенне-зимний период широко используется электродный электропрогрев бетона. Данный метод основан на принципе нагрева проводника при прохождении через него переменного тока. Следует отметить, что постоянный ток для этих целей не подходит, так как при его применении происходит электролиз воды, коррозия и экранирование поверхности электродов выделяемыми газами.

Электропрогрев бетона осуществляется следующим образом. В свежееуложенный бетон вводят металлические электроды, через которые пропускают переменный электрический ток. Электрическое сопротивление свежеприготовленного бетона, уложенного в опалубку, увеличивается по мере затвердевания бетона. Оказалось, что на ранней стадии твердения бетон обладает достаточно хорошей электропроводностью; его можно отнести к проводникам второго рода с ионной проводимостью. Включенный в электрическую цепь, он нагревается при прохождении электрического тока. Тепло, выделяющееся при схватывании бетона, способствует интенсификации химического взаимодействия воды с минералами цементного клинкера, что вызывает твердение бетона. При этом чем больше будет сопротивление, тем выше будет напряжение тока.