

УДК 621.31+681.3

СЕМАНТИЧЕСКИЙ КОЛЛЕКТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРО-, ТЕПЛО- И ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

Докт. техн. наук АНИЩЕНКО В. А.

Белорусская государственная политехническая академия

Достоверность измерительной информации определяется, в первую очередь, надежностью технических средств, с помощью которых осуществляются измерения (датчики информации), передача (информационно-измерительные каналы) и обработка собираемых данных (вычислительные комплексы).

Вместе с тем для обеспечения систем электро-, тепло- и газоснабжения достоверной информацией в процессе эксплуатации необходимо своевременное выявление недостоверных измеряемых данных семантическими методами контроля, основанными на анализе смыслового значения контролируемых переменных, их логичности, технологической непротиворечивости и согласованности.

Для повышения эффективности семантического контроля предлагается агрегирование индивидуальных решений о наличии или отсутствии недостоверных данных, получаемых параллельно несколькими различными методами, в соответствующий коллективный вывод. Идея оптимального коллектива алгоритмов имеет исторические корни в социальной области в виде концепции разделения труда и в дальнейшем получила распространение в технических приложениях, например при решении задачи прогноза статической устойчивости работы энергетической системы [1], для повышения точности измерений [2] и т. д.

Идея коллективного решающего правила позволяет оптимальным образом решать вопрос о достоверности производимых измерений в тех случаях, когда различные методы контроля дают противоречивые ответы. Такой подход обусловлен вероятностной природой возникновения погрешностей измерений.

Классификация семантических методов контроля достоверности. В индивидуальных (однопризнаковых) методах контроля достоверности решение о наличии (отсутствии) недопустимо больших погрешностей измерений производится на основе одного диагностического признака. Для систем электро-, тепло- и газоснабжения разработаны следующие

индивидуальные методы контроля достоверности измерений аналоговых переменных (электрических токов, напряжений и мощностей, расходов и давлений пара, воды, газа):

по величине отклонения результата измерения переменной от среднего значения (уставкам, или предельным значениям) [3, 4];

по величине первого приращения переменной, включая усовершенствованный вариант по величине ошибки экстраполяции переменной [5];

по величинам невязок уравнений связи, в которые входит контролируемая переменная, в том числе контроль дублированных и троированных измерений [6].

Эти методы позволяют обнаруживать как грубые погрешности измерений (полные отказы), так и метрологические погрешности (частичные отказы), когда измерительная аппаратура работоспособна, однако показания приборов выходят за пределы классов точности.

Максимально возможное количество признаков R_{\max} и соответствующих им одно- и многопризнаковых методов K_{\max} зависят от числа уравнений связи r , в которые входит контролируемая аналоговая переменная:

$$R_{\max} = 2 + r; \quad K_{\max} = R_{\max} + 1 + 3r. \quad (1)$$

Коллективные, или многопризнаковые, методы контроля включают различные комбинации индивидуальных методов. Многообразие всех методов представлено в табл. 1, где символ * обозначает использование соответствующего диагностического признака.

Таблица 1

Методы контроля достоверности измерений аналоговых переменных

Диагностический признак контроля	Методы контроля												И т. д.			
	Однопризнаковые			Двухпризнаковые			Трехпризнаковые			Четырехпризнаковые						
Попадание (непопадание) результата измерения переменной в диапазон допустимых значений	*			*	*		*	*		*	*					И т. д.
Превышение (непревышение) модуля первого приращения или ошибки экстраполяции переменной допустимого значения		*			*			*			*			*		
Попадание (непопадание) невязок уравнений связи в диапазон допустимых значений			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	

При формировании табл. 1 рассматривались уравнения связи, объединяющие как одноименные переменные (например, электрические токи или мощности), так и разноименные переменные (например, ток, напряжение и мощность). Учитывались невязки независимых и зависи-

мых уравнений связи, что повышает эффективность диагностирования грубых и особенно метрологических погрешностей измерений.

Аналогично табл. 1, выглядит структура одно- и многопризнаковых методов диагностики недостоверных значений дискретных переменных о состоянии двухпозиционных датчиков, характеризующих положения коммутационных электрических аппаратов (выключателей, разъединителей и их заземляющих ножей) и запорной трубопроводной арматуры (затворов, вентилей, задвижек). Диагностическими признаками контроля в данном случае могут служить соответствия (несоответствия):

дублированных результатов сигнализации положения контролируемого аппарата;

результатов сигнализации положений контролируемого аппарата и заблокированного с ним другого аппарата;

результатов сигнализации положений контролируемого аппарата и измерений технологически связанных с ним аналоговых переменных.

В данном случае одновременно с контролем достоверности результатов сигнализации положений коммутационной и запорной аппаратуры обнаруживаются грубые погрешности измерений связанных с ними аналоговых переменных [7, 8]. Максимальное количество признаков R_{\max} и общее число всех одно- и многопризнаковых методов K_{\max} зависят от числа дискретных n_d и соответствующих им аналоговых переменных n_a :

$$R_{\max} = n_d + n_a; \quad K_{\max} = 1 + n_d + 4n_a. \quad (2)$$

Для электрических аппаратов максимальное число $n_d = 2$ имеет место для разъединителей, когда сигнализация дублируется по двум каналам, в одном из которых задействован вспомогательный замыкающий, а в другом — размыкающий блок-контакт электропривода, и осуществляется блокировка разъединителя и заземляющего ножа, исключающая одновременное их включение.

Критерии формирования методов коллективного контроля. Коллективные методы контроля, как и однопризнаковые, основываются на теории статистических решений. Синтез оптимальной структуры R -признакового контроля достоверности и выбор оптимальных границ принятия решений о недопустимо больших (грубых и метрологических) погрешностях измерений аналоговых переменных производится [9–11] по критерию минимума средней цены их многократного распознавания

$$C_{cp}(R) = \min_{1 \leq j \leq s} \left\{ (1-q) C_I F_j^{пт}(R) + q C_{II} F_j^{лс}(R) \right\}, \quad (3)$$

где q — априорная вероятность погрешности измерения контролируемой аналоговой переменной;

S — число возможных логических структур совместной обработки результатов контроля («и», исключаяющих «или», мажоритарных), равное количеству имеющихся диагностических признаков;

C_I — цена ложной тревоги, т. е. необоснованного решения о наличии недопустимой погрешности измерения;

C_{II} — цена ложного спокойствия, т. е. необоснованного решения об отсутствии недопустимой погрешности измерения;

$F_j^{пт}(R)$ — результирующая (с учетом результатов контроля одновременно по всем R признакам) вероятность ложной тревоги;

$F_j^{пс}(R)$ — результирующая (с учетом результатов контроля одновременно по всем R признакам) вероятность ложного спокойствия.

Результирующие вероятности $F_j^{пт}(R)$, $F_j^{пс}(R)$ зависят от j -й логической структуры совместной обработки результатов R -признакового контроля и вероятностей соответствующих неверных решений $F_i^{пт}$, $F_i^{пс}$, которые принимаются при i -х однопризнаковых методах контроля. Выражения для расчета результирующих вероятностей формируются путем выделения из определяемого биномиальным разложением множества всех состояний R -признакового контроля состояний, соответствующих данной j -й логической структуре обработки результатов контроля.

Критерием достоверности сигнализации положений коммутационных или запорных аппаратов являются совпадение комбинации $F_{c,и}(\overline{x_1}, \dots, \overline{x_m})$ бинарных результатов сигнализации дискретных и измерений, связанных с ними аналоговых переменных $\overline{x_1}, \dots, \overline{x_m}$ с одной из технологически непротиворечивых комбинаций $F_{i,н/пр}(x_1, \dots, x_m)$ значений этих переменных x_1, \dots, x_m [7, 8]

$$F_{c,и}(\overline{x_1}, \dots, \overline{x_m}) = F_{1,н/пр}(x_1, \dots, x_m) \vee F_{2,н/пр}(x_1, \dots, x_m) \vee \dots \\ \dots \vee F_{L,н/пр}(x_1, \dots, x_m), \quad i = 1, 2, \dots, L, \quad (4)$$

или несовпадение ни с одной из технологически противоречивых комбинаций $F_{j,пр}(x_1, \dots, x_m)$

$$F_{c,и}(\overline{x_1}, \dots, \overline{x_m}) \neq F_{1,пр}(x_1, \dots, x_m) \vee F_{2,пр}(x_1, \dots, x_m) \vee \dots \\ \dots \vee F_{M,пр}(x_1, \dots, x_m), \quad j = 1, 2, \dots, M. \quad (5)$$

В формулах (4), (5) приняты обозначения: \vee — знак дизъюнкции; m — число контролируемых дискретных и аналоговых переменных; L — число непротиворечивых комбинаций; M — число противоречивых комбинаций.

Величины L , M , m связаны соотношением

$$L + M = 2^m. \quad (6)$$

Критерий локализации недостоверных результатов сигнализации и измерений после установления факта их наличия имеет вид

$$G = \min_{1 \leq i \leq L} \prod_{t=1}^{k_i} q_{it}, \quad (7)$$

где k_i — число результатов сигнализации и измерений противоречивой комбинации, которыми она отличается от i -й непротиворечивой комбинации;

q_{ii} — априорная вероятность недостоверности сигнализации (измерения) i -й переменной, входящей в число k_i переменных.

Анализ достигнутых результатов и направление дальнейших разработок. Из возможных коллективных методов распознавания грубых и метрологических погрешностей измерений аналоговых переменных (табл. 1) были синтезированы два двухпризнаковых метода: 1) по отклонению измеренного значения переменной от среднего значения и ее дублированному измерению [10]; 2) по отклонению измеренного значения и первому приращению переменной [11].

Было показано, что в обоих случаях оптимальной структурой обработки результатов контроля однопризнаковыми индивидуальными методами является логическая схема «или» и оптимальные границы принятия решения при такой схеме существенно отличаются от оптимальных границ при раздельном применении индивидуальных методов. Средняя цена многократного распознавания погрешностей снижается при этом в несколько раз.

Накопленный опыт выявил объективные и субъективные трудности, возникающие при разработке коллективных методов контроля аналоговых переменных. Причины объективных трудностей следующие.

1. Неполная и неточная информация о вероятностных характеристиках отклонений от средних значений и первых приращениях контролируемых переменных, априорных вероятностях и законах распределения метрологических и грубых погрешностей измерений переменных (с учетом погрешностей передачи информации по каналам связи и ее ввода в ЭВМ), законах распределения случайных погрешностей измерений, соответствующих классам точности измерительных приборов. Анализ результатов исследований фактических распределений погрешностей измерений различных переменных показал [12], что они могут сильно отличаться от часто принимаемых за основу экспоненциальных (гауссовского, лапласовского) и равномерного законов и представлять собой их различные композиции (уплощенные законы). Это можно отнести и к законам распределения отклонений контролируемых переменных от средних значений и их первых приращений. Следует также учитывать, что характеризующие законы распределения параметры, как правило, представляют собой нестационарные случайные процессы, что еще больше увеличивает расхождение реальной ситуации и исходной модели, положенной в основу синтеза коллективных методов контроля достоверности.

2. Современная теория и практика анализа погрешностей измерений в настоящее время подвергается критике. Идет дискуссия о целесообразности замены традиционной концепции погрешности результата измерения на концепцию неопределенности измерения [13]. Очевидно, вероятностная природа возникновения погрешностей препятствует однозначной трактовке этой проблемы. Например, до сих пор нет четкого технологического обоснования величины квантиля k при отбраковке метрологических и грубых погрешностей по правилу « $k\sigma$ ».

Субъективные трудности синтеза коллективных методов контроля достоверности измерений аналоговых переменных связаны с вычисли-

тельными сложностями при определении средней цены многократного распознавания погрешностей. Невозможность получения конечных выражений в аналитической форме вызывает необходимость применения численных методов, в частности при вычислении двойных интегралов.

С учетом изложенных факторов нецелесообразно стремиться к излишне точному и подробному описанию исходной математической модели и можно при решении задачи синтеза коллективного контроля достоверности измерений аналоговых переменных рекомендовать применение семипараметрических статистических методов, которые в отличие от параметрических не требуют подробной априорной информации о вероятностных характеристиках контролируемых переменных и погрешностях их измерений. Измерительная информация при этом рассматривается как нечеткий диагностируемый объект и синтез оптимальной структуры коллективного контроля производится в реальных расплывчатых условиях.

Трудности при разработке контроля результатов сигнализации положений коммутационной и запорной аппаратуры связаны прежде всего с очень большим числом комбинаций значений контролируемых дискретных и аналоговых переменных. Попытки минимизировать соответствующие таблицы истинности и ошибок приводят к снижению точности локализации недостоверных данных. Разрешение этого противоречия должно повысить эффективность контроля достоверности.

В Ы В О Д

Обоснована целесообразность семантического коллективного контроля достоверности результатов измерений аналоговых переменных и сигнализации положений коммутационных и запорных аппаратов в системах электро-, тепло- и газоснабжения. Контроль основывается на теории статистических решений и предполагает одновременное использование нескольких диагностических признаков. Отмечены трудности, возникающие при решении данной задачи. Предложено использовать для синтеза оптимальных алгоритмов распознавания семипараметрические статистические методы и методы принятия решений на основе нечетких моделей.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Растрингин Л. А., Эренштейн Р. Х. Метод коллективного распознавания. — М.: Энергоиздат, 1981. — 80 с.
2. Левин В. И. Автоматная теория коллективных измерений // Измерительная техника. — 2000. — № 2. — С. 15–20.
3. Контроль достоверности оперативной информации в автоматизированной системе диспетчерского управления электрической системой // И. О. Кнеллер, А. Г. Оранский, А. В. Коломыйченко и др. // Электричество. — 1977. — № 4. — С. 5–10.
4. Анищенко В. А. К задаче контроля достоверности в АСУ ТП электростанций // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений). — 1985. — № 8. — С. 16–20.
5. Анищенко В. А. Контроль достоверности измерений параметров энергетических объектов на основе экстраполирующих фильтров // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений). — 1990. — № 8. — С. 49–52.
6. Анищенко В. А., Казанская Т. Н. Общая структура контроля достоверности измерений взаимосвязанных параметров энергетических объектов // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений). — 1989. — № 9. — С. 33–37.

7. А н и ш 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.

8. А н и ш е н к о В. А. Совместный контроль достоверности сигнализации положений коммутационной аппаратуры и измерений аналоговых переменных // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1994. – № 1–2. – С. 9–13.

9. А н и ш е н к о В. А., К а з а н с к а я Т. Н. Многопризнаковый контроль достоверности информации в АСУ ТП / Ред. журн. «Приборы и системы управления». – М.: 1988. – 6 с. – Деп. в Информприборе 25.08.1988, № 4303.

10. А н и ш е н к о В. А. Двухпризнаковый контроль достоверности информации в АСУ ТП // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений). – 1988. – № 8. – С. 42–44.

11. А н и ш е н к о В. А., К а з а н с к а я Т. Н. Двухпризнаковый контроль достоверности измерений несвязанных переменных состояния энергетического объекта // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений). – 1990. – № 9. – С. 31–34.

12. Н о в и ц к и й П. В., З о г р а ф И. А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.

13. Ч у н о в к и н а А. Г. Погрешность измерения, неопределенность измерения и неопределенность измеряемой величины // Измерительная техника. – 2000. – № 7. – С. 19–23.

Представлена кафедрой
электроснабжения

Поступила 6.12.2000

УДК 621.315.1.072

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЭС С ПОМОЩЬЮ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ДЕМПФИРУЮЩИХ СИГНАЛОВ

Докт. АЛИ ФАРХАН МУХСЕН

Ярмухский университет (Иордания)

Инж. БАМПИ Ю. С.

НИГП «БелТЭИ»

Широкое распространение синхронных электрических машин во многом зависит от развития и совершенствования систем управления их возбуждением. До сих пор применение синхронных генераторов с низкими электромеханическими характеристиками и пониженным уровнем устойчивости все еще возможно как раз благодаря прогрессу в области систем возбуждения. Автоматическое регулирование возбуждения синхронных машин позволяет поддерживать статическую и динамическую устойчивость больших объединенных энергетических систем.

Системы регулирования возбуждения (т. е. синтез закона регулирования и выбор параметров стабилизации) применяются во многих странах. В бывшем СССР, например, использовались автоматические регуляторы возбуждения сильного действия (АРВ СД), в которых законы управления содержали не только отклонения режимных параметров, но также первые и (или) вторые производные их отклонений [1] от заданных значений. Большинство крупных турбогенераторов и практи-