

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ НЕЧЕТКОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Асп. ГОРОШ А. В.

Белорусская государственная политехническая академия

Надежность работы систем электроснабжения определяется надежностью как силового электротехнического оборудования, так и характеризующих его состояние измерений переменных.

Надежность измерительной информации в условиях эксплуатации можно существенно повысить за счет своевременного обнаружения недостоверных показаний приборов, что позволяет сократить время восстановления их исправного состояния.

Правильность работы алгоритмов контроля достоверности показаний измерительных приборов зависит от адекватности математической модели, на основе которой осуществляется синтез алгоритмов. Неполнота и неточность исходных данных приводят к нечеткости модели. Конкретными причинами неадекватности модели могут быть погрешности [1]:

изменяющихся во времени характеристик точности измерительной аппаратуры;

описания законов распределения погрешностей измерений контролируемых переменных;

задания пределов изменений в нормальных режимах работы значений измеряемых технологических переменных и их первых приращений;

описания взаимных функциональных связей между измеряемыми переменными.

Попытки уточнить математическую модель в реальных условиях эксплуатации оборудования затруднительны из-за большого объема и сложности сбора необходимых данных. С другой стороны, более точная модель сложна и затрудняет синтез алгоритмов контроля достоверности из-за необходимости применения трудоемких вычислительных методов. В этих условиях целесообразна постановка задачи синтеза алгоритмов контроля достоверности на базе семипараметрических методов и методов принятия решений на основе нечетких моделей [2].

Примером такого подхода является задача обнаружения недостоверных измерений переменных электрических токов на основе использования 1-го закона Кирхгофа в условиях, когда имеет место неопределенность в описании уравнения связи между токами из-за неодинаковости углов фазового сдвига напряжения и токов в ветвях электрической цепи [3].

Другим примером служит методика выбора значения переменной, замещающего недостоверный результат ее измерения, которое предположительно более близко к неизвестному истинному значению в условиях отсутствия точной информации о законах распределения случайных погрешностей измерений, соответствующих классам точности измерительной аппаратуры [4, 5].

Особенно большие вычислительные сложности возникают при синтезе коллективных (многопризнаковых) методов контроля достоверности измерений [6]. Оптимальные границы принятия решения о наличии или отсутствии грубых погрешностей измерений в этом случае определяются по критерию минимума средней цены многократного распознавания ошибок

$$\min C_{\text{cp}} = \min_{1 \leq l \leq s} [(1 - q)c_1 F_{l1} + q c_2 F_{l2}], \quad (1)$$

где s – число потенциально возможных логических структур обработки результатов контроля достоверности;

q – априорная вероятность грубой погрешности измерения;

c_1 – цена ошибки принятия решения первого рода (ложной тревоги);

F_{l1} – результирующая вероятность ошибки принятия решения первого рода (с учетом результатов контроля по всем диагностическим признакам);

c_2 – цена ошибки принятия решения второго рода (ложного спокойствия);

F_{l2} – результирующая вероятность ошибки принятия решения второго рода (с учетом результатов контроля по всем диагностическим признакам).

Одним из признаков может служить условие обнаружения погрешности по методу предельных значений. Это наиболее простой и распространенный метод контроля достоверности измерений несвязанных аналоговых переменных, представляющий собой разновидность известной двухальтернативной задачи распознавания грубых погрешностей, или контроль с двухсторонним допуском.

В соответствии с этим методом результат измерения переменной сравнивается с нижней и верхней границами допустимых значений этой переменной и условие достоверности измерения можно записать в виде

$$2x_0 - \gamma \leq \bar{x}(t) \leq \gamma, \quad (2)$$

где $\bar{x}(t)$ – результат измерения переменной;

γ – верхняя граница принятия решения о достоверности результата измерения ($\gamma = x_0 + k \sigma_{x_1}$);

k – квантиль, характеризующий уровень значимости разброса измеренных без грубых погрешностей значений контролируемой переменной x_1 ;

$(2x_0 - \gamma)$ – симметричная нижняя граница принятия решения о достоверности измерения;

σ_{x_1} – среднеквадратичное отклонение контролируемой переменной x_1 от среднего значения x_0 (рис. 1).

Значения x_0 и σ_{x_1} определяются путем статистической обработки информации, автоматически накапливаемой в процессе работы системы контроля.

Результат измерения при отсутствии грубой (и систематической) погрешности измерения рассматривается как полезный сигнал $x_1(t)$

$$x_1(t) = x(t) + \xi(t), \quad (3)$$

где $x(t)$ – истинное значение переменной;

$\xi(t)$ – нормированная негрубая случайная погрешность.

Результат измерения при наличии грубой погрешности измерения:

$$x_2(t) = x(t) + \xi(t) + n(t), \quad (4)$$

где $n(t)$ – грубая погрешность измерения.

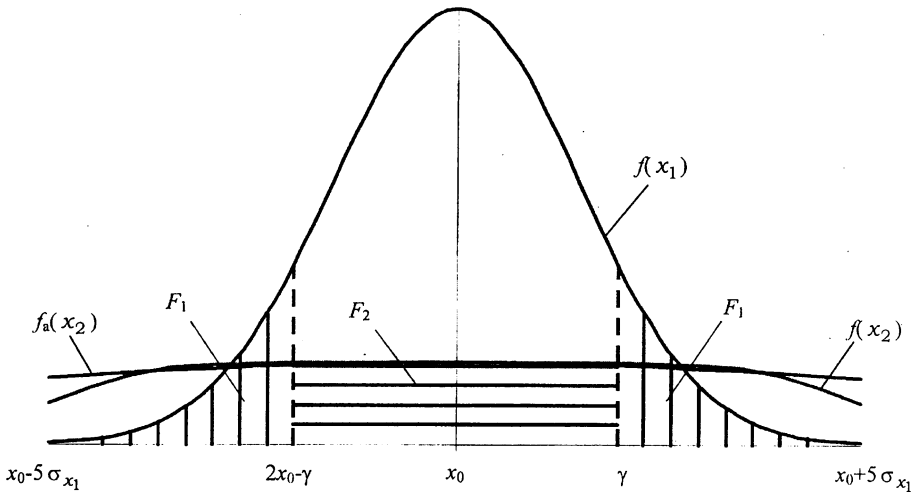


Рис. 1. Зависимости вероятностей ошибок 1-го и 2-го рода от границы принятия решения о достоверности измерений

Величина $x_1(t)$ подвержена разбросу вследствие изменения состава оборудования, условий и различных режимов работы электростанций и подстанции. Для многих переменных этот разброс описывается нормальным законом распределения

$$f(x_1) = \frac{1}{\sigma_{x_1} \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x_1 - x_0)^2}{2\sigma_{x_1}^2}\right]. \quad (5)$$

Закон распределения измеренной с грубой погрешностью переменной $x_2(t)$ описывается выражением [8]

$$f(x_2) = \frac{1}{20\sigma_{x_1}} \left[\Phi\left(\frac{x_0 + 5\sigma_{x_1} - \gamma}{\sigma_{x_1}}\right) - \Phi\left(\frac{x_0 - 5\sigma_{x_1} - \gamma}{\sigma_{x_1}}\right) \right], \quad (6)$$

где $\Phi(z)$ – нормированная функция Лапласа.

Вероятностям ошибок F_1 , F_2 , входящих в состав результирующих вероятностей ошибок первого и второго рода, соответствуют заштрихованные области на рис. 1.

Вероятности F_1 и F_2 определяются по формулам:

$$F_1 = 2 \int_{\gamma}^{x_0 + 5\sigma_{x_1}} f(x_1) dx; \quad F_2 = 2 \int_{x_0}^{\gamma} f(x_2) dx. \quad (7)$$

Поиск оптимальной границы γ усложняется необходимостью решения громоздких уравнений, содержащих двойные интегралы. Для облегчения синтеза коллективных методов, где используется рассматриваемый диагностический признак по методу предельных значений, предлагается заменить точную интегральную функцию (5) приближенной экспоненциальной

$$f_a(x_2) = \frac{1}{\sigma_{x_{1a}} \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x_2 - x_0)^2}{2\sigma_{x_{1a}}^2}\right], \quad (8)$$

где значение $\sigma_{x_{1a}} = 8\sigma_{x_1}$ выбрано исходя из равенства функций $f_a(x_2) = f(x_2)$ в точке x_0 .

Замена интегральной функции (5) экспоненциальной вида (7) существенно упрощает задачу синтеза коллективных методов.

Аналогичные упрощения можно ввести и для описания распределения невязок уравнений связи переменных, в том числе дублированных измерений, при наличии грубых погрешностей и для описания распределения первых приращений при грубых погрешностях измерений.

Второе предлагаемое упрощение состоит в замене отношения цен ошибок принятия решения c_1/c_2 , зависящего, как показано в [7], от границы принятия решения γ , постоянным и равным среднему значению $[c_1/c_2]_{cp} = 2,85$ в реальном предполагаемом диапазоне задания границы принятия решения $\gamma \in [1...5] \sigma_{x_1}$.

Введенные упрощения позволяют избежать трудоемких численных методов при минимизации средней цены многократного распознавания ошибок и путем подстановки вероятностей (6) в уравнение (1) с последующим его дифференцированием получить в явном виде формулу для определения оптимальной границы принятия однопризнакового решения

$$\gamma_{opt} = x_0 + 1,425\sigma_{x_1} \sqrt{\ln \frac{8(1-q)c_1}{q c_2}}. \quad (9)$$

Для оценки точности полученной формулы построим зависимости оптимальной границы принятия решения о достоверности измерения переменной от априорной вероятности грубой погрешности с учетом принятых допущений (кривая 2) и сравним ее с той же зависимостью, но рассчитанной по точным формулам (кривая 1, рис. 2).

Полагая, что в реальных условиях априорная вероятность грубых погрешностей $q \leq 0,1$, предел ошибки от произведенных упрощений не превышает 10 %, что укладывается в понятие инженерной точности.

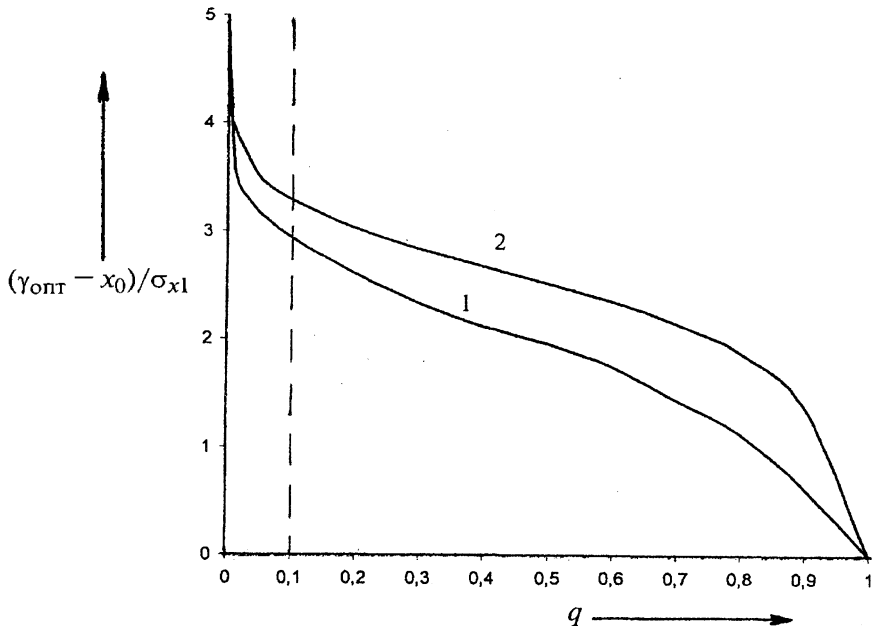


Рис. 2. Зависимость границы принятия решения о достоверности измерения аналоговой переменной от априорной вероятности грубой погрешности

ВЫВОДЫ

1. Предложена упрощенная математическая модель описания погрешностей измерений и цен принятия решений при синтезе структур многопризнаковых методов контроля достоверности.
2. Использование предложенных упрощений позволяет существенно снизить трудоемкость процесса синтеза коллективных методов контроля достоверности измерений переменных.
3. Результаты расчетов показывают, что предел ошибки от приведенных упрощений укладывается в понятие инженерной точности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анищенко В. А., Горош А. В. Неточные математические модели контроля достоверности и повышения точности измерений в системах электроснабжения // Материалы 53-й международной науч.-техн. конф. // Мн., БГПА, 1999. – Ч. 1. – С. 13.
2. Беллман Р. Е., Заде Л. А. Принятие решений в расплывчатых условиях / Вопросы анализа процедуры принятия решений. – М.: Мир, 1976. – С. 172–215.
3. Анищенко В. А., Горош А. В. Обнаружение недостоверных измерений переменных электрических токов на основе первого закона Кирхгофа // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1999. – № 4. – С. 34–39.
4. Анищенко В. А., Горош А. В. Анализ путей совершенствования контроля достоверности измерений в системах электроснабжения // Материалы 54-й международной науч.-техн. конф. // Мн., БГПА, 2000. – Ч. 2. – С. 35.
5. Анищенко В. А., Горош А. В. Выбор замещающих значений при обнаружении недостоверных измерений аналоговых переменных // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2001. – № 1. – С. 24–30.
6. Анищенко В. А., Казанская 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.
7. Анищенко В. А. К задаче контроля достоверности в АСУ ТП электростанций // Энергетика... (Изв. высш. учебн. заведений). – 1985. – № 8. – С. 16–20.

Представлена кафедрой
электроснабжения

Поступила 20.03.2001