

ВЫВОДЫ

1. Метод расчета параметров электромагнитного поля переходного режима проводника уединенного прямоугольного сечения распространен на случай многополосных шинопроводов.

2. Исследования характеристик поля многополосных шинопроводов при коротких замыканиях показали, что они сопровождаются неравномерным распределением плотности тока в полосах пакета и снижением величины коэффициента добавочных потерь в переходном режиме. Отмеченные особенности вызывают необходимость обоснования допущений (равномерное распределение плотности тока и постоянство коэффициента добавочных потерь во времени), принимаемых при расчете динамической и термической стойкости многополосных шинопроводов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимович Д. А., Носайрат Фаиз, Мелешко И. Н. Токораспределение в шине прямоугольного сечения при затухающем законе изменения силы тока // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2000. – № 1. – С. 27–35.

2. Герасимович Д. А., Носайрат Фаиз. Электромагнитные характеристики шины прямоугольного профиля в переходных режимах // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2000. – № 2. – С. 15–24.

3. Герасимович А. Н., Герасимович Д. А. Расчет токораспределения в многополосных шинопроводах // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 1997. – № 1–2. – С. 25–32.

Представлена кафедрой
электрических станций

Поступила 10.03.2000

УДК 621.311

ВЫБОР ЗАМЕЩАЮЩИХ ЗНАЧЕНИЙ ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ НЕДОСТОВЕРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ АНАЛОГОВЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

Докт. техн. наук АНИЩЕНКО В. А., инж. ГОРОШ А. В.

Белорусская государственная политехническая академия

Постановка задачи. Для автоматического бесперебойного обеспечения достоверной информацией о состоянии электро- и теплоэнергетических объектов необходимо в темпе контроля и управления технологическими процессами программно выбирать замещающие значения аналоговых переменных (электрических токов, напряжений, мощностей, температур, давлений, расходов пара, газа, воды), измеренных с большими, выходящими за допустимые пределы, погрешностями.

Показателем качества замещения недостоверного результата измерения является рассогласование замещающего значения $x_{\text{зам}}(t)$ и неизвестного истинного значения контролируемой переменной $x(t)$

$$\Delta x_{\text{зам}}(t) = x_{\text{зам}}(t) - x(t). \quad (1)$$

С учетом случайного характера колебаний аналоговых переменных за критерий качества замещения принимаем минимум дисперсии рассогласования

$$D(\Delta x_{\text{зам}}) = \min. \quad (2)$$

При выборе замещающих значений можно использовать следующие источники информации о контролируемых переменных:

априорно известные границы диапазонов возможных значений переменных в нормальных режимах работы;

результаты экстраполяции значений переменных на рассматриваемый момент времени на основе их известных вероятностных характеристик;

уравнения взаимных связей между переменными.

В общем случае при наличии сразу нескольких источников информации возникает задача синтеза оптимальных замещающих значений.

Выбор замещающих значений на основе известных границ изменений переменных. В данном случае замещающее значение определяется как среднее в диапазоне возможных значений в нормальных условиях работы и является величиной постоянной

$$x_{1\text{зам}} = \frac{1}{2}(x_{\text{в}} + x_{\text{н}}), \quad (3)$$

где $x_{\text{в}}$ — верхняя граница диапазона;

$x_{\text{н}}$ — нижняя граница диапазона.

Дисперсия ошибки такого способа замещения недостоверного измерения зависит от характера распределения вероятности переменной [1].

Плотность равномерного (прямоугольного) распределения

$$\varphi(x) = \begin{cases} (x_{\text{в}} - x_{\text{н}})^{-1} & \text{при } x_{\text{н}} < x < x_{\text{в}}; \\ 0 & \text{при } x \leq x_{\text{н}}, x \geq x_{\text{в}}. \end{cases} \quad (4)$$

Дисперсия ошибки замещения равна дисперсии отклонений переменной от среднего значения $D(x)$

$$D(\Delta x_{1\text{зам}}) = D(x) = 0,0833(x_{\text{в}} - x_{\text{н}})^2. \quad (5)$$

Плотность нормального стандартизованного распределения определяется по формуле

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \frac{1}{2}(x_{\text{в}} + x_{\text{н}})}{\sqrt{D(x)}} \right)^2 \right]. \quad (6)$$

Дисперсия ошибки замещения, соответствующая вероятности пребывания переменной внутри диапазона $(x_{\text{в}} - x_{\text{н}})$

$$p(x_H < x < x_B) = 0,9973 \text{ (правило } \pm \text{ «три сигма»)}, \quad (7)$$

находится как

$$D(\Delta x_{\text{зам}}) = 0,0278(x_B - x_H)^2. \quad (8)$$

Плотность экспоненциального лапласовского распределения

$$\varphi(x) = \frac{1}{2\beta} \exp \left[-\frac{1}{2} \frac{\left| x - \frac{1}{2}(x_B + x_H) \right|}{\beta} \right]. \quad (9)$$

Дисперсия ошибки замещения, соответствующая вероятности (7), при этом будет

$$D(\Delta x_{\text{зам}}) = 2\beta^2 = 0,0143(x_B - x_H)^2. \quad (10)$$

В чистом виде рассмотренные распределения вероятностей контролируемых переменных встречаются нечасто. В большинстве случаев имеют место какие-то комбинации различных законов распределения. Следует также учитывать влияние ограниченности объемов выборок, на основе которых определяются вероятностные характеристики переменных, и нестационарность последних. Кроме того, большое влияние на значение дисперсии ошибки замещения оказывает характерная для подобного типа вероятностных задач неопределенность выбора степени усеченности нормального и лапласовского законов распределения, т. е. задаваемые значения вероятности $p(x_H < x < x_B)$. Уменьшение этой вероятности приближает нормальное и лапласовское распределения к равномерному и увеличивает дисперсии ошибок замещения (8) и (9).

С учетом обозначенных неопределенности и неполноты исходной информации можно в первом приближении ориентироваться на верхнюю оценку дисперсии ошибки замещения, рассчитываемую по (5).

Выбор замещающих значений с помощью экстраполирующих фильтров. В качестве замещающего может использоваться экстраполированное значение контролируемой переменной $x_3(t)$

$$x_{2\text{зам}}(t) = x_3(t). \quad (11)$$

Схема постановки задачи экстраполяции представлена на рис. 1.

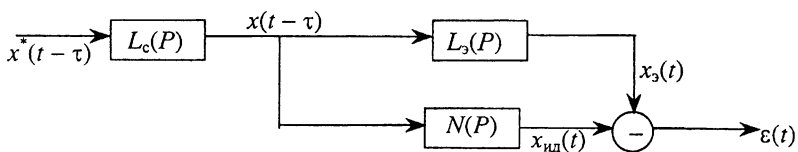


Рис. 1

Спектральная плотность случайных колебаний исходной контролируемой переменной может быть аппроксимирована выражением, соответствующим недифференцируемому случайному процессу:

$$S_{x^*}(P) = \frac{\alpha D(x^*)}{\pi(\alpha^2 - P^2)}, \quad (12)$$

где $D(x^*)$ – дисперсия случайных колебаний переменной x^* относительно ее среднего значения на входе сглаживающего фильтра $L_c(P)$;

α – коэффициент, характеризующий быстроту затухания автокорреляционной функции случайных колебаний переменной;

$P = \frac{d}{dt}$ – оператор дифференцирования.

Сглаживающий фильтр представляет собой аperiodическое звено первого порядка

$$L_c(P) = \frac{1}{TP + 1} \quad (13)$$

с постоянной времени T , учитывающей инерционность измерительной аппаратуры и желаемое технологическое осреднение контролируемого процесса.

Оптимальный экстраполирующий фильтр $L_3(P)$, минимизирующий дисперсию рассогласования $\varepsilon(t)$ экстраполированного значения переменной на выходе физически нереализуемого идеального фильтра $N(P) = \exp(P\tau)$ и физически получаемой оценкой $x_3(t)$, содержит усильтельное и дифференцирующее звенья [2]

$$L_3(P) = k_1 + k_2 P, \quad (14)$$

где

$$k_1 = \frac{\exp(-\alpha\tau) - \alpha T \exp(-\tau/T)}{1 - \alpha T}; \quad (15)$$

$$k_2 = \frac{T[\exp(-\alpha\tau) - \exp(-\tau/T)]}{1 - \alpha T};$$

τ – интервал экстраполяции, равный интервалу временной дискретизации контролируемого процесса.

На выходе фильтра (14) формируется экстраполированное значение переменной

$$\dot{x}_3(t) = k_1 x(t - \tau) + k_2 \frac{dx(t - \tau)}{dt}. \quad (16)$$

Дисперсия ошибки экстраполяции определяется формулой

$$D(\varepsilon) = \left(1 - k_1^2 - k_2^2 \frac{\alpha}{T}\right) D(x). \quad (17)$$

С увеличением интервала экстраполяции τ и коэффициента затухания автокорреляционной функции α дисперсия ошибки экстраполяции возрастает и стремится к дисперсии отклонений переменной относительно среднего значения. Следовательно, верхняя оценка ошибки замещения по условию (11) совпадает при оптимальной экстраполяции с дисперсией ошибки замещения (5) по условию (3):

$$D(\Delta x_{2\text{зам}}) = \lim_{\tau(\alpha) \rightarrow \infty} D(\varepsilon) = D(x); \quad (18)$$

Если вследствие неполной информации о вероятностных характеристиках случайных колебаний переменных экстраполяция осуществляется по правилу «без изменений» и в качестве замещающего значения берется последний достоверный результат измерения, т. е.

$$x_{2\text{зам}}(t) = x_s(t) = x(t - \tau), \quad (19)$$

то верхняя оценка дисперсии ошибки замещения в два раза превышает дисперсию при оптимальной экстраполяции:

$$D(\Delta x_{2\text{зам}}) = \lim_{\tau(\alpha) \rightarrow \infty} D(\varepsilon) = 2D(x); \quad (20)$$

Выбор замещающих значений на основе взаимных связей. Линеаризованная система уравнений связи после подстановки результатов измерений переменных в общем случае имеет вид [3]

$$\sum_{i=1}^k a_{ji} x_i + c_j = \delta_j, \quad j = 1, 2, \dots, r, \quad (21)$$

где a_{ji} – коэффициенты, принимающие значения $a_{ji} = \pm 1$;

k – число измеряемых переменных;

c_j – постоянный член j -го уравнения связи;

δ_j – невязка j -го уравнения связи;

r – общее число независимых и зависимых уравнений связи.

В случае одного локализованного недостоверного измерения x_s замещающее его значение определяется выражением

$$x_{3\text{зам}(s)} = \frac{1}{q} \sum_{j=1}^q (x_s - a_{js} \delta_j) \quad (22)$$

при условии, если соблюдаются ограничения

$$\delta_j^* \leq \delta_{j\text{доп}}, \quad j = 1, 2, \dots, r, \quad (23)$$

где q – число независимых и зависимых уравнений связи ($q \leq r$) с невязками, превышающими допустимые значения δ_j ; последние рассчитываются в зависимости от погрешностей измерительной аппаратуры [3];

δ_j^* – невязка j -го уравнения после подстановки в него замещающего значения $x_{3\text{зам}(s)}$.

Дисперсия ошибки замещения по условию (22) с учетом (21) определяется по формуле

$$D(\Delta x_{3\text{зам}(s)}) = \frac{1}{q^2} \left[\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq s}}^k D(\Delta x_i) + \sum_{j=1}^q D(\Delta c_j) \right], \quad (24)$$

где $D(\Delta x_i)$ – дисперсия нормированной погрешности измерения i -й переменной;

$D(\Delta c_j)$ – то же, погрешности задания постоянного члена j -го уравнения связи.

В случае несовместности скорректированного решения, когда отсутствует замещающее значение, удовлетворяющее ограничения (23), можно найти наилучшее приближение несовместного режима по критерию минимума максимального модуля уклонения невязок уравнений связи от допустимых значений [4].

Синтез оптимальных замещающих значений. Если при обнаружении недостоверного результата измерения имеется возможность найти замещающее значение сразу несколькими способами, то целесообразно синтезировать средневзвешенное замещающее значение, в среднем более близкое к неизвестному истинному, чем отдельно определяемые замещающие значения:

$$x_{\text{зам}} = \frac{\omega_1 x_{1\text{зам}} + \omega_2 x_{2\text{зам}} + \omega_3 x_{3\text{зам}}}{\omega_1 + \omega_2 + \omega_3}, \quad (25)$$

где $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ – весовые коэффициенты, обратно пропорциональные дисперсиям замещения различными способами;

$$\omega_1 = \frac{1}{D(\Delta x_{1\text{зам}})}; \quad \omega_2 = \frac{1}{D(\Delta x_{2\text{зам}})}; \quad \omega_3 = \frac{1}{D(\Delta x_{3\text{зам}})}. \quad (26)$$

Дисперсия ошибки определения средневзвешенного замещающего значения рассчитывается по формуле

$$D(\Delta x_{\text{зам}}) = \frac{1}{(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3)^2} \left[\omega_1^2 D(\Delta x_{1\text{зам}}) + \omega_2^2 D(\Delta x_{2\text{зам}}) + \omega_3^2 D(\Delta x_{3\text{зам}}) \right]. \quad (27)$$

Сопоставляя возможные величины весовых коэффициентов (26), можно отметить примерно одинаковое влияние на осредненное замещающее значение $x_{\text{зам}}$ замещающих значений, определяемых на основе известных границ $x_{1\text{зам}}$ и по результатам экстраполяции контролируемых переменных $x_{2\text{зам}}$. Влияние замещающего значения $x_{3\text{зам}}$, определяемого на основе взаимных связей, изменяется в широких пределах. Оно возрастает и становится соизмеримым с влиянием $x_{1\text{зам}}$ и $x_{2\text{зам}}$ при увеличении числа связанных переменных и нормированных погрешностей их

измерений и сужении диапазонов возможных значений переменных в нормальных режимах работы.

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены различные способы выбора замещающих значений при выявлении недостоверных результатов измерений аналоговых переменных, характеризующих состояние электро- и теплоэнергетических объектов.

2. Разработан метод синтеза оптимальных замещающих значений с минимальной дисперсией ошибки замещения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Под ред. И. Р. Арамановича. — М.: Наука, 1974. — 832 с.

2. Анищенко В. А. Фильтрация и экстраполяция колебаний мощности межсистемной электропередачи // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. — 1978. — № 3. — С. 74–80.

3. Анищенко В. А. Оценивание состояния энергетического объекта с предварительной идентификацией грубых и систематических ошибок измерений // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). — 1994. — № 7–8. — С. 29–34.

4. Петров В. В., Анищенко В. А. Приближение несовместного режима электроэнергетической системы // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. — 1976. — № 4. — С. 152–155.

Представлена кафедрой
электроснабжения

Поступила 13.04.2000

УДК 621.311

МЕТОДИКА ДИАГНОСТИКИ ОШИБОК СИГНАЛИЗАЦИИ ПОЛОЖЕНИЙ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ И ИЗМЕРЕНИЙ АНАЛОГОВЫХ ПЕРЕМЕННЫХ

Инж. ШУТОВ А. Л.

Белорусская государственная политехническая академия

Цель исследования. В статье рассматриваются методика и алгоритмы диагностики недостоверных измеряемых данных на основе разработанной в [1, 2] полной математической модели сигнализации положений коммутационных электрических аппаратов и измерений аналоговых переменных.

Одной из составляющих, определяющих надежность функционирования систем электроснабжения промышленных предприятий, городов и сельского хозяйства, является надежность сигнализации положений коммутационных электрических аппаратов (автоматических выключателей, разъединителей и их заземляющих ножей), а также измерений аналоговых переменных.