

Л.А. Гурина

ДОСТОВЕРИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

В статье предложен методический подход достоверизации информационных потоков в условиях активно-адаптивного управления электрическими сетями на основе вейвлет-анализа, теорий случайных процессов и нечетких множеств. Применение предлагаемого подхода позволяет обеспечить гибкость управления электрическими режимами.

In this paper the proposes a methodological approach to improve the accuracy of the information flow in the conditions of active adaptive management of the electric networks on the basis of wavelet-analysis, theories of random processes and fuzzy sets. Application of the proposed approach allows flexible management of the electric mode.

Развитие современных информационных и компьютерных технологий позволяет перейти к активно-адаптивному управлению электрическими сетями, что в итоге обеспечит их высокую надежность, экономичность и эффективность функционирования. Такие сети часто называют интеллектуальными. Интеллектуальная сеть требует внедрения комплекса инновационного оборудования и технологий, которое не сможет эффективно работать без нового математического обеспечения, что связано не только с увеличением объема режимной информации, но и с применением качественно иных способов ее сбора и обработки. Новая реализация системы сбора и обработки режимной информации позволит построить многоуровневую автоматизированную систему технологического управления (АСТУ), способную оперативно реагировать на изменения параметров сетей в зависимости от режима электропотребления и вырабатывать управляющие воздействия на активные сетевые элементы. Для активно-адаптивных сетей расширяется состав информационной базы за счет неоперативной информации и использования векторов состояния этих сетей. Отсюда необходим математический аппарат, позволяющий выбрать тот состав режимной информации, который обеспечит гибкость управления электрическими режимами и робастность математических моделей параметров режима как при оперативном оценивании состояния электрических сетей, так и при ретроспективном анализе, а также прогнозе в изменяющихся технологических и экономических условиях их функционирования.

Особенностью активно-адаптивных сетей является возможность изменять параметры и топологию сети по текущим режимным условиям, регулировать напряжение в узлах сети, снижать уровень потерь, обеспечивать устойчивость системы и узлов нагрузки, требуемые параметры качества электрической энергии и надежности. Для этого необходим достоверный учет электрической энергии и мощности в контролируемых узлах сети, в точках поставки электрической энергии. Управление основывается на комплексных системах измерения и учета, использующих цифровые принципы накопления, обработки и передачи информации, быстродействующие программные системы оценки состояния, и осуществляется всережимными on-line системами, оптимизирующими нормальные электрические режимы и выявляющими недопустимые отклонения

от нормы. Получаемая цифровая режимная информация может быть как стационарным, так и многомерным нестационарным случайным процессом с ярко выраженными локальными особенностями. Практическое использование Фурье-анализа показало его неэффективность при обработке информационных потоков низкого качества. Перспективным средством обработки такой информации являются вейвлеты, обеспечивающие возможность точного представления локальных особенностей случайных процессов, описывающих изменения параметров режима. Наиболее эффективны локализованные во времени компактные базисы вейвлетов, коэффициенты разложения по которым сохраняют информацию об изменении параметров аппроксимируемого и детализируемого сигнала. Преимуществом такого подхода является вейвлет-фильтрация сигналов, удаление шумов и эффективная компрессия, что особенно важно при аналогово-цифровых преобразованиях, обуславливающих появление частот, не являющихся составляющими полезного сигнала. Кроме того, вейвлет-анализ в совокупности с нечетким моделированием позволяет оптимально сократить объем исходной информации, не теряя при этом требуемую точность.

Режимная информация в цифровом формате может содержать как полезный сигнал, так и помехи в полосах низких и высоких частот. Поэтому необходимо использовать низкочастотные (НЧ) и высокочастотные (ВЧ) фильтры при ее обработке, особенно при решении задач долгосрочного планирования электрических режимов, когда необходимо выбрать из текущей и ретроспективной базы информацию, обладающую требуемой достоверностью и достаточной полнотой. Для представления сущности и реставрации информационных потоков целесообразно использовать вейвлеты Морле, В-сплайновый, «Мексиканская шляпа» и Гауссов. Для обработки режимной информации в условиях эксплуатации наиболее перспективны методы быстрого вейвлет-преобразования (алгоритм Малла) и пакетные вейвлеты. При адаптивном управлении следует применять метод анализа, в котором различные сигналы могут моделироваться с помощью временных окон разной длительности.

Исходная режимная информация, полученная при цифровой обработке сигналов, имеет дискретный характер и поступает ежесекундно, что приводит к ее избыточности, – следовательно, необходимо предусмотреть оптимальный способ ее сокращения без потери точности. Значит, математический аппарат должен обеспечивать решение в целом, с учетом достоверности и требуемой полноты информационной базы и применяемых для этой цели методов.

Необходима оценка качества используемой информации из-за возможного зашумления сигнала, – например, за счет электромагнитных помех, потери информации либо в процессе сбора, либо в процессе обработки. Как следствие, появляется недостоверная информация.

Учитывая, что помехи в измерениях, как правило, аддитивны, стационарный поток измерений любого параметра режима может быть представлен на основе модели обнаружения грубых ошибок [1], – например, для токовой нагрузки:

$$\bar{I}(t) = I(t) + \xi_I(t) + \eta(t), \quad (1)$$

где $I(t)$ – достоверный поток информации; $\xi_I(t)$ – случайные ошибки, обусловленные погрешностями средств измерения, путей передачи, обработки информации; $\eta(t)$ – случайный процесс влияния помехи.

Получить достоверную информацию можно, используя следующий путь:

1. Вероятностный анализ возмущающих воздействий (закон распределения, интегральные характеристики).
2. Дисперсионный анализ ошибок измерения.

3. Восстановление достоверного потока с учетом стохастической связи значений переменных режима с паразитными составляющими в (1).

Рассмотрим предложенный подход достоверизации информации при наличии в ТИ гармонических составляющих, или интергармоник, причинами возникновения которых может являться низкое качество электрической энергии.

В этом случае (1) представляется в разложенном виде:

$$\bar{I}(t) = I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega t + \varphi_n) + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin(n\omega t + \varphi_n) + \xi_I(t), \quad (2)$$

где $I_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$; $A_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(n\omega t) dt$; $B_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(n\omega t) dt$; n – номер гармоники тока,

которая может быть как временной, так и частотной.

С учетом наложения на достоверный поток гармонических или интергармонических составляющих получим:

$$I(t) + \eta(t) = I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega t + \varphi_n) + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin(n\omega t + \varphi_n) + \xi_I(t),$$

а амплитудный и фазовый спектры токовой нагрузки соответственно определяются как

$$I_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} = I_n(n\omega); \quad \varphi_n = -\arctg \frac{B_n}{A_n} = \varphi_n(n\omega).$$

Для выделения электромагнитных помех предлагается использовать вейвлет-анализ случайных процессов изменения параметров режима [2], позволяющий выделять и удалять не только синусоидальные гармоники (как в случае преобразований Фурье), но и косинусоидальные, а в

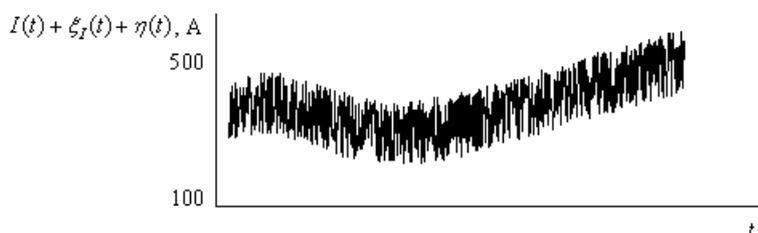


Рис. 2. Недостоверный поток о токовой нагрузке.

дальнейшем восстановить процесс изменения информационного потока. Исследовалось изменение тока на основе ТИ воздушной линии, питающей тяговую подстанцию в программе MathCAD, при использовании встроенных в нем функций вейвлетов (рис. 2).

Порядок восстановления информации согласно описанному подходу следующий:

1. Путем разложения случайного процесса изменения токовой нагрузки на две составляющие $I(t)$ и $\xi_I(t)$ выделяется аддитивная помеха $\eta(t)$ (рис. 3).
2. Восстановление и достоверизация информационного потока об изменении токовой нагрузки $I(t)$ осуществляются путем сопоставления вероятностных характеристик полученных

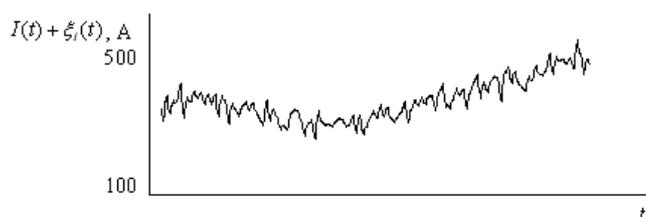


Рис. 3. Фильтрация гармонических составляющих.

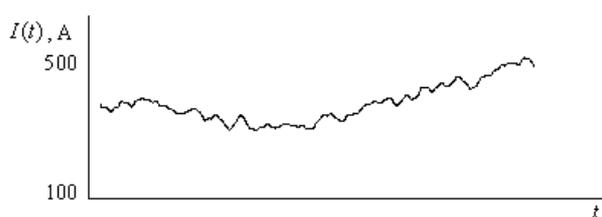


Рис. 4. Восстановленный поток с коррекцией ошибок измерения.

результатов и ретроспективных данных (рис. 4).

При нестационарном характере изменения параметров режима их целесообразно описывать следующей моделью:

$$S_{Tk}(t) = S_k(t) = S_k = N(t_k) \Delta \sigma(t - t_k), \quad (3)$$

где $S_{Tk}(t)$ – квантованный параметр; $N(t_k)$ – число квантов; $\sigma(t - t_k)$ – единичная функция.

Чтобы восстановить исходный непрерывный параметр из дискретизированного с малыми искажениями, требуется выбрать оптимальный шаг дискретизации. Если исследуемый параметр обладает низкочастотным спектром, ограниченным некоторой верхней частотой F_g функция $S(t)$ имеет вид плавно изменяющейся кривой, без резких изменений амплитуды), то на небольшом временном интервале дискретизации эта функция по амплитуде существенно не меняется.

Для уменьшения вероятности искажения или потери информации при восстановлении случайного процесса можно воспользоваться теоремой Котельникова, которая устанавливает оптимальную величину интервала дискретизации $\Delta t = \frac{1}{2F_g}$.

Аналитическое представление параметра режима с учетом теоремы Котельникова примет вид:

$$S(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} S(k\Delta t) \frac{\sin \omega_g(t - k\Delta t)}{\omega_g(t - k\Delta t)}, \quad (4)$$

где k – номер отсчета; $X(k\Delta t)$ – значение непрерывного параметра в точках отсчета; $\omega_g = 2\pi F_g = \frac{\pi}{\Delta t}$ – верхняя частота спектра сигнала.

Тогда исследуемый параметр режима можно описать дискретно:

$$S_n = S(n). \quad (5)$$

На интервалах стационарности корреляционная функция имеет вид

$$R_n = MX_{m+n} \bar{S}_m = R(n), \quad (6)$$

откуда спектральная плотность равна

$$f(\lambda) = (2\pi)^{-1} \sum_n e^{i\lambda n} R_n, \quad (7)$$

где $\lambda \in [-\pi, \pi]$.

Тогда спектральное представление процесса примет следующий вид:

$$S_n = \int_{-\pi}^{\pi} e^{i\lambda n} f(\lambda) d\omega(\lambda). \quad (8)$$

Отсюда модель параметра режима $S(t)$ представляется следующим образом:

$$S(t) = \sum_n \frac{\sin \pi(t - n)}{\pi(t - n)} S_n, \quad (9)$$

а ее корреляционная функция определяется по выражению:

$$R(t) = \sum_n \frac{\sin \pi(t - n)}{\pi(t - n)} R_n. \quad (10)$$

Совокупность n случайных процессов изменения параметров режима $S_1(t), \dots, S(t)$ может быть представлена как n -мерный случайный процесс

$$S_h(t) = m_{x_k}(t) + \sum_v V_v s_{vh}(t), \quad (11)$$

где аргумент t заменяется совокупностью аргумента t , $h = \overline{1, n}$, V_v , – коррелированные случайные величины.

Координатные функции $s_{vh}(t)$ определяются по выражению:

$$s_{vh} = \frac{1}{D\nu} M [S_h^0(t) \bar{V}_\nu] \quad (12)$$

С учетом наложения на полезную информацию помех и шумов, вектор измерений представляется в виде:

$$\bar{S}_h(t) = S_h(t) + \xi_h(t), \quad (13)$$

где $\xi_h(t)$ – векторная случайная функция грубых ошибок.

Для анализа и синтеза параметров модели получена следующая технология исследования n -мерного случайного процесса, представляемого в дискретной форме, с учетом исключения функции $\xi_h(t)$.

Первоначально необходимо определить объем информации, который обеспечит истинные значения параметров режима, т.е. значения, обусловленные физическим процессом передачи электрической энергии при качественной информации (определенной и достаточной). В условиях избыточности информации для исключения грубых ошибок целесообразно получить такое множество значений параметров режима α -уровня, отклонения значений которых от математического ожидания не превышало бы $4\sigma \leq (\sigma - \text{среднее квадратическое отклонение})$. Нечеткое множество α -уровня удовлетворяет следующему условию:

$$S_\alpha = \{s \in S | \mu_S(s) \geq \alpha\}, \quad (14)$$

где $\alpha \in [0;1]$.

Функция принадлежности $\mu_S(s)$ определяется как

$$\mu_S(s) = \underset{\alpha_i}{\text{MAX}} [\alpha_i \cdot S_{\alpha_i}] = \underset{\alpha_i \leq \mu_S(s)}{\text{MAX}} [\alpha_i], \quad (15)$$

а функция принадлежности i -го измерения задается треугольной функцией

$$\mu_{S_i} = \begin{cases} 0, & s \leq a \\ \frac{s_i - a}{m_s - a}, & a < s < m_s \\ \frac{b - s_i}{b - m_s}, & m_s < s < b \\ 0, & s \geq b \end{cases}, \quad b \quad (16)$$

где m_s – математическое ожидание, при котором функция принадлежности равна единице. При разбросе значений параметра вокруг среднего не более чем на величину 4σ , их функции принадлежности: $\mu(s_i) \in [0.5;1]$. Таким образом, получено множество значений 0.5- уровня (рис. 5) и тем самым устранены грубые ошибки, содержащиеся в измерениях [3].

Очистка нестационарного случайного процесса изменения параметра режима от помех может быть произведена как и в случае стационарного характера. Следовательно, преобразование с помощью вейвлет-пакетов является адаптивным, так как легко приспособляется к особенностям сигнала и может использоваться для очистки от шумов.

Таким образом:

1) показана целесообразность совокупного применения вейвлет-технологий и нечеткого моделирования в интеллектуальных электрических сетях;

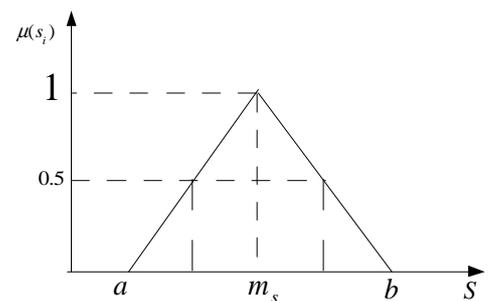


Рис. 5. Треугольная функция принадлежности и множества 0.5-уровня.

2) предложен методический подход достоверизации стационарных и нестационарных случайных процессов изменения параметров режима.

1. Гамм, А.З. Обнаружение грубых ошибок телеизмерений в электроэнергетических системах / А.З. Гамм, И.Н. Колосок. – Новосибирск: Наука, 2000.

2. Савина Н.В. Методы восстановления информационных потоков при воздействии электромагнитных помех на средства телеизмерений [Текст] / Н. В. Савина, Л.А. Гурина // Вестник Амурского государственного университета. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2007. – Вып. 37. – С. 59-61.

3. Гурина, Л.А. Вейвлет-технологии и нечеткое моделирование в интеллектуальных электрических сетях /Л.А. Гурина, Н.В. Савина. // Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: Сб. трудов VI Всероссийской науч.-техн. конф. с междунар. участием. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2011 – Т. 1. – С. 79-83

