

РЕЛАВЭКСПО-2013

**II МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА
РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИЗАЦИЯ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РОССИИ**



СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

ЧЕБОКСАРЫ, 23-26 АПРЕЛЯ 2013

УДК 681.5
ББК 32.96–04
С23

С23 Сборник тезисов докладов. – Чебоксары: РИЦ «СРЗАУ», 2013. – 140 с.

14. Еремеев Д.Г. (ООО «ЛИСИС», г. Москва, Россия)	
Новые области знаний для специалистов релейной защиты.	115
15. Беляков О.Е. (ЗАО «ОРЗАУМ», г. Москва, Россия)	
Тенденции в совершенствовании защиты от замыканий на землю в обмотке статора синхронного генератора	117
16. Паршиков Н.В., Лукин И.В., Митрофанов О.В., Варганов П.Г. (ЗАО «ЧЭАЗ», г. Чебоксары, Россия)	
Комплексы технических решений для организации сетей мониторинга подстанций . .	117
17. Жоу В., Сианг К., Ся С., Иванов Ф.А. («PONOVO POWER Co. Ltd», г. Пекин, КНР – ЗАО «ЭнЛАБ», г. Чебоксары, Россия)	
Метод прецизионного измерения времени задержки распространения сигнала в сетях с интеллектуальными реле защиты	119
18. Герасимов А.А. (ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары, Россия)	
Опыт моделирования синхронных и асинхронных двигателей в программно-аппаратном комплексе RTDS	119
19. Иванов Н.Г. (ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары, Россия)	
Повышение надежности алгоритма мониторинга частоты	121
20. Алексеев К.О., Морозов А.К., Пашковский С.Н. (ЧГУ им. И.Н. Ульянова – ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары, Россия)	
Проблемы выполнения защиты от замыканий на землю в распределительных электрических сетях 6–10 кВ с большим емкостным током замыкания на землю.	122
21. Антонов В.И., Наумов В.А., Фомин А.И., Солдатов А.В. (ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары, Россия)	
Гибридные модели входных сигналов в системах синхронизированных векторных измерений (PHASOR MEASUREMENT UNIT)	124
22. Денисов В.А. (ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары, Россия)	
Стандарт IEEE 1588 PRECISION TIME PROTOCOL. Принцип работы и особенности реализации	125
23. Фомин А.И., Ермолаева Н.М., Наумов В.А., Антонов В.И., Солдатов А.В. (ООО НПП «ЭКРА», г. Чебоксары, Россия)	
Особенности расчета аварийных режимов энергосистемы в фазных координатах. . .	126
24. Несенюк Т.А. (УрГУПС, г. Екатеринбург, Россия)	
Диагностика опорно-штыревого изолятора с перемещающимся сигнальным устройством в сетях напряжением 6-10 кВ	128
25. Несенюк Т.А. (УрГУПС, г. Екатеринбург, Россия)	
Диагностика изоляторов с помощью высокочастотных RFID-технологий	129
26. Решетов А.А., Захаров Н.А. (ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород», г. Н. Новгород – ЧГУ им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары, Россия)	
Повышение эффективности систем обеспечения контроля и безопасности газоперекачивающих агрегатов.	131
Алфавитный указатель авторов	133

ГИБРИДНЫЕ МОДЕЛИ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ (PHASOR MEASUREMENT UNIT)

К.Т.Н. АНТОНОВ В.И., К.Т.Н. НАУМОВ В.А., ФОМИН А.И., СОЛДАТОВ А.В.

Россия, г. Чебоксары, ООО НПП «ЭКРА»

e-mail: ekra3@ekra.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Синхронные векторные измерения, комплексная амплитуда – фазор, гибридные модели входных сигналов.

ВВЕДЕНИЕ

Внедрение интеллектуальных цифровых устройств (PMU, WAMS), обеспечивающих мониторинг и контроль процессов в энергосистеме, подразумевает использование алгоритмов обработки, способных распознать структуру сигнала в темпе развития процесса. Для оценки параметров входных величин в таких устройствах обычно применяется классический алгоритм Фурье. К сожалению, алгоритм Фурье оптимален для обработки сигналов лишь стационарного режима электрической сети [1, 2], а при обработке сигналов переходного режима электрической сети он имеет значительную погрешность определения фазора основной гармоники из-за апериодической составляющей в сигнале.

В настоящем докладе рассматривается возможность применения гибридных моделей, обеспечивающих точность измерения векторных значений входных величин в переходных режимах электрической сети, отвечающую требованиям стандарта [3].

ГИБРИДНЫЕ МОДЕЛИ СИГНАЛОВ ПЕРЕХОДНОГО РЕЖИМА СЕТИ

Для обеспечения необходимой точности оценки входных электрических величин энергосистемы в устройствах PMU необходимо рассматривать распознавание входных сигналов как решение задачи идентификации структуры сигнала текущего режима на множестве собственных мод реакции электроэнергетической системы и составляющих принужденного режима [4].

В общем случае наибольшей универсальностью обладают адаптивные модели, которые применимы для структурного анализа сигналов электрической сети как в установившемся, так и переходном режимах. Но их эффективность при распознавании сигналов периодического режима сети,

содержащих, в частности, кратные гармоники, уступает неадаптивным моделям, поскольку наличие шума в сигнале приводит к повышению общего порядка M адаптивной модели [5]:

$$a_0 \hat{x}(k) = -\sum_{m=1}^M a_m x(k-m). \quad (1)$$

Генеральное свойство эффективных структурных моделей, заключающееся в обеспечении компактной адаптивной модели, порядок которой совпадает с порядком сигнала [6], обеспечит надлежащую декомпозицию сигнала на слагаемые текущего режима, но часть ресурса модели будет использована для преодоления шума. Поэтому при обработке периодического режима неадаптивные модели вида

$$\hat{x}_1(k) = \mathbf{N}_2 \{ \cos(ka); \sin(ka) \} = \hat{c}(k) \cos(ka) - \hat{s}(k) \sin(ka) \quad (2)$$

имеют преимущество перед адаптивными. Однако в сигнале часто существенно присутствуют лишь основная гармоника и апериодическая составляющая. Порядок эффективной модели в этом случае не столь велико. Но наличие шума, даже не столь значительного, приводит к увеличению общего порядка адаптивной модели до 13-15.

Как правило, частота основной гармоники известна: в цифровой релейной защите это обеспечивается модулем мониторинга частоты. Поэтому удобно учитывать основную гармонику неадаптивным оператором, а задачу определения апериодической составляющей и учет шума лучше переложить на адаптивный оператор.

Рассматривая задачу структурного анализа под этим углом зрения, приходим к *гибридным моделям* – структурам, имеющим наибольшую гибкость, поскольку они сочетают в себе универсальность адаптивных (1) и эффективность неадаптивных моделей (2):

$$a_0 \hat{x}(k) = \mathbf{N}_{q+2} \{ x(k); \cos(ka); \sin(ka) \} - \sum_{m=1}^M a_m x(k-m), \quad (3)$$

где порядок q оператора выбирается исходя из числа высших гармоник, подлежащих подавлению им. Например, подавление 3-ей и 5-ой гармоник в сигнале обеспечивается оператором

$$\mathbf{B}_4 \{ x(k) \} = -x(k-4) - (b_3 + b_5) [x(k-3) + x(k-1)] - (2 + b_3 b_5) x(k-2),$$

где

$$b_i = -2 \cos i \omega_0 T_s, \quad i = 3, 5.$$

Оценки параметров неадаптивного оператора \mathbf{N}_{q+2} будут иметь смещение, вызванное действием адаптивного оператора на входной сигнал. Оно устраняется с учетом частотной характеристики адаптивного оператора (3) [7].

Эффективность гибридных моделей можно проиллюстрировать на примере обработки сигнала переход-

ного режима, приведенного в [6]. Как показано в цитируемой работе, сигнал содержит основную гармонику и аperiodическую составляющую:

$$x(k) = 2,72 \cos(k\pi 50,18 / 600 + 2,77) + 2,27(0,9418)^k + n(k), \quad (4)$$

где $n(k)$ – шум. Адаптивные модели обеспечивают распознавание сигнала при порядке выше 13. Гибридная модель

$$\hat{x}(k) = -\hat{c}(k) \cos(k\alpha) + \hat{s}(k) \sin(k\alpha) - \sum_{m=1}^M a_m x(k-m),$$

где $\alpha = \frac{\pi 50}{600}, c^{-1}$, обеспечивает распознавание

сигнала при $M=1$. Настроенная на сигнал [6] модель будет следующей:

$$\hat{x}(k) = 0,467 \cos(k\alpha) + 0,537 \sin(k\alpha) + 0,940 x(k-1),$$

и компонентная модель достаточно близка к модели (4):

$$x(k) = 2,74 \cos(k\pi 50 / 600 + 2,79) + 2,27(0,94)^k.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение гибридных моделей в устройствах РМУ позволяет существенно повысить быстродействие и точность получения векторных измерений входных величин в переходном режиме электрической сети. При этом общий размер модели существенно ниже порядка адаптивных моделей. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Jacques Warichet, Tefvik Sezi, Jean-Claude Maun. A synchrophasor measurement algorithm suitable for dynamic applications, 16th PSCC, Glasgow, Scotland, July 14-18, 2008., p. 1-7;
2. Антонов В.И., Наумов В.А., Солдатов А.В., Фомин А.И. Алгоритмы Фурье для быстродействующих цифровых защит. Сб. тез. и докл. Междунар. научно-практ. конф. и выставки РЕЛАВЭКСПО-2012: Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем России. Чебоксары. 17-20 апр. 2012 г. с. 75-76.
3. IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems, March 22, 2006. IEEE Std C37.118-2005.
4. Антонов В.И. Структурный анализ входных сигналов цифровых систем релейной защиты и противоаварийной автоматики // Электротехника. 1995. № 6. с. 56 - 61.
5. Антонов В.И., Ильин А.А., Лазарева Н.М. Адаптивные структурные модели входных сигналов релейной защиты и автоматики // Электротехника. 2012. №1. с. 52-55.
6. Антонов В.И., Наумов В.А., Фомин А.И. Эффективные структурные модели входных сигналов цифровой релейной защиты и автоматики // Электричество. 2012. №11. с. 2-8.
7. Антонов В.И., Лямец Ю.Я. Разрешающая способность метода наименьших квадратов при оценивании основной гармоники тока короткого замыкания // Изв. вузов. Энергетика. 1990. №2. с. 48-51.

СТАНДАРТ IEEE 1588 PRECISION TIME PROTOCOL. ПРИНЦИП РАБОТЫ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ

22

ДЕНИСОВ В.А.

Россия, г. Чебоксары, ООО НПП «ЭКРА»
e-mail: denisov_va@ekra.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Точное время, синхронизация, стандарт IEE 1588, Precision Time Protocol, РТР.

ВВЕДЕНИЕ

«Протокол точного времени» описан стандартом IEEE 1588 2002, 2008. При поддержке оборудованием точность синхронизации достигает десятков наносекунд.

Синхронизация – важная способность устройств промышленных объектов, где синхронность работы является необходимым условием функционирования системы.

НЕОБХОДИМЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К РЕАЛИЗАЦИИ И ПРИНЦИП РАБОТЫ РТР

Возможность реализации протокола РТР для достижения максимальной точности – наличие аппаратных средств, позволяющих регистрировать метки времени получения сообщений и способность часов к точной корректировке или подстройке частоты.

Стандарт IEEE 1588 описывает алгоритмы и методы синхронизации устройств через сети различных типов. Стек РТР-протокола чаще всего помещается поверх канального либо транспортного уровня в Ethernet-сетях из-за высокой распространенности и простоты строительства сетей данного типа.

Преимуществом данного протокола является возможность использования в сетях со