

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

## 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 велик. 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