

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ



Бацева Наталья Ленмировна

Кандидат технических наук, доцент отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики Томского политехнического университета



Фоос Юлия Алексеевна

Аспирант Национального исследовательского Томского политехнического университета

Аннотация. В статье рассматривается создание программного обеспечения для решения задачи оценивания состояния энергосистем при совместном применении телеизмерений и синхронизированных векторных измерений.

Ключевые слова: система мониторинга переходных режимов, синхронизированные векторные измерения, динамическое оценивание состояния, статическое оценивание состояния.

Annotation. In the article the software for power system state estimation is shown. As data the telemetry and synchronized phasor measurements are mutually used.

Keywords: wide area measurement system, synchronized phasor measurements, dynamic state estimation, static state estimation.

Введение

Для решения задачи оценивания состояния (ОС) используется набор измерений, соответствующий либо одному временному срезу, либо определенному временному интервалу. В зависимости от этого выделяют статическое и динамическое ОС [1].

Полученный в результате статического ОС режим работы энергосистемы (ЭС) используется для проведения имитационных расчетов, связанных с проверкой различных схемно-режимных ситуаций, а также для оптимизации режимов, контроля надежности и расчёта устойчивости. Динамическое ОС прогнозирует состояние ЭС в следующий момент времени, что открывает перспективы для ОС в режиме реального времени в составе таких комплексов как система мониторинга запасов устойчивости (СМЗУ) [2] и централизованная система противоаварийной автоматики (ЦСПА) [3].

На практике статическое ОС производится с помощью программно-вычислительных комплексов (ПВК) «КОСМОС», «КОСМОС+», «ПОРТОС» и модулей «Оценивание состояния», заложенных в ПК RastrWin3 и в Централизованной системе противоаварийной автоматики (ЦСПА). Динамическое ОС в ПВК не реализовано.

Исходными данными для ОС, используемыми в ПВК и модулях, являются телеизмерения (ТИ) параметров режима и телесигналы (ТС) о состоянии топологии электрической сети, получаемые от устройств телемеханики (RTU), входящих в состав SCADA-системы.

С внедрением систем мониторинга переходных режимов (СМПР) для задачи ОС могут быть использованы синхронизированные векторные измерения (СВИ), получаемые от устройств синхронизированных векторных измерений (УСВИ). СВИ – это данные нового качества, которые отличаются высокой частотой дискретизации и точности, синхронностью измерения большого числа параметров электрического режима, в состав которых входят измерения углов при векторах токов и напряжений [4–7]. Благодаря этому, появилась возможность использовать СВИ для улучшения качества статического ОС, а также в будущем для реализации динамического ОС.

Цель исследования заключается в разработке и программной реализации алгоритма статического ОС на основе совместного применения ТИ и СВИ.

Возможность применения СВИ для решения задачи ОС рассматривалось в работах российских авторов [8–11], которые отмечают нецелесообразность применения измерений углов для решения задачи ОС и

используют только дорасчетные значения, такие как активная и реактивная мощности.

Зарубежные ученые заложили некоторые методологические основы как для статического [12–13], так и для динамического ОС [14–16]. Эти исследования позволяют развить алгоритмы статического и динамического ОС с применением СВИ в нашей стране.

Следует отметить, что в настоящее время количество УСВИ, установленных на энергообъектах, недостаточно для решения задачи ОС только на основе СВИ. Поэтому новые алгоритмы должны решать задачу ОС в условиях наличия как ТИ, так и СВИ с учётом особенностей реализации систем сбора и передачи информации.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- 1) Изучены существующие алгоритмы статического и динамического ОС;
- 2) Модернизирован алгоритм статического ОС с применением углов при векторах токов и напряжений.

Основная часть

Ядром алгоритмов для ОС являются математические методы контрольных уравнений, внутренней точки, Холецкого и Гаусса-Ньютона по критерию МВНК, но ни один из них не содержит математического аппарата для учёта векторов тока и напряжения. Поэтому для повышения качества ОС их необходимо совершенствовать: учесть измерения углов напряжений в векторе состояния, расширить вектор погрешности измерений для добавления уравнений и измерений углов токов, а также учесть весовые коэффициенты СВИ.

Для совершенствования алгоритма статического ОС и его апробации было создано программное обеспечение (ПО) в интегрированной среде разработки Microsoft Visual Studio Enterprise 2017 v15.8.9 на объектно-ориентированном языке программирования C#. Для решения задачи ОС используется модифицированный метод Гаусса-Ньютона, который учитывает измерения векторов токов и напряжений.

Алгоритм ОС методом Гаусса-Ньютона следующий:

- 1) Принять номер итерации $k = 0$;
- 2) Задать допустимую погрешность в оценке величин узловых напряжений ε , начальное приближение вектора состояния U_k , предельное число итераций k_{\max} , вектор измерений R , диагональную матрицу весовых коэффициентов C ;
- 3) Вычислить вектор погрешностей измерений $F_k = R(U_k) - R$;
- 4) Рассчитать для напряжений U_k матрицу Якоби $J_k = \partial f / \partial U$;
- 5) Вычислить матрицу Гессе $H_k = J_k^T C J_k$ и градиент $\nabla \varphi_k = J_k^T C F_k$;
- 6) Решить уравнение $H_k \cdot \Delta U_k = \nabla \varphi_k$, и определить вектор поправок ΔU_k ;
- 7) Уточнить узловые напряжения в векторе состояния $\Delta U_{k+1} = U_k + \Delta U_k$;

8) Определить значение целевой функции $\varphi(U) = 0.5 \cdot F_k^T \cdot C \cdot F_k$;

9) Если все элементы вектора ΔU_k по модулю не превышают ε и $\varphi(U) < 3$ то уточнение узловых напряжений необходимо закончить и сразу выполнить п. 11, если – нет, то перейти к п. 10;

10) Принять $k = k + 1$. Если $k < k_{\max}$, то перейти к п. 3, иначе расчет прекратить из-за несходимости итерационного процесса;

11) Вычислить несходимые параметры режима.

Интерфейс разработанного ПО изображен на рис. 1.

№ узла	Сост.	U, кВ	Действ. град	P, МВт	Q, МВар
1	Вкл.	342.756	-15.64175	-6903.56	-948.53
2	Вкл.	776.050	3.89071	-196.24	-122.01
3	Вкл.	330.030	-5.50427	-199.92	-62.46
4	Вкл.	349.882	-24.23644	-3196.99	-749.74
5	Вкл.	748.766	-2.84860	-8.30	-170.72
6	Вкл.	327.369	-15.32303	-400.66	-50.18
7	Вкл.	320.321	-8.42556	-1493.64	-748.06
8	Вкл.	325.063	-8.82610	-491.82	-248.45
9	Вкл.	328.085	-6.32392	-1003.61	-497.69
10	Вкл.	761.456	-2.45838	-9715.37	-4895.36
400	Вкл.	24.300	-23.48910	2295.56	1166.45
100	Вкл.	15.900	-11.66309	4001.83	1910.73
200	Вкл.	24.407	7.55000	5199.49	1349.45
300	Вкл.	19.032	3.81303	899.64	138.49
99	Вкл.	24.099	0.00000	11284.76	5746.48

Рис. 1. Интерфейс разработанного ПО

ПО позволяет решать задачу статического ОС с применением углов при векторах напряжений и токов. Состав выполняемых функций ПО:

1. Поддерживает загрузку данных о параметрах схемы замещения ЭС в формате .rg2 и .csv; загрузку среза ТМ в формате .rg2 и .csv; загрузку базового режима в формате .rg2 и .csv; сохранение результатов расчётов в формате .rg2 и .csv;
2. Формирует автоматически таблицы весовых коэффициентов измерений;
3. Предоставляет возможность настройки параметров расчёта ОС;
4. Осуществляет решение задачи ОС с учетом углов при векторах напряжений и токов;
5. Формирует протокол о результатах ОС;

В качестве входных данных использует следующие таблицы:

- «Параметры Узлов»;
- «Параметры Ветвей»;
- «Весовые коэффициенты узлов»;
- «Весовые коэффициенты ветвей»;
- «ТМ Узлов»;
- «ТМ Ветвей»;
- «БР Узлов».

Таблицы «Параметры Узлов» и «Параметры Ветвей» содержат параметры схемы замещения электрической сети. В таблицах «Весовые коэффициенты ветвей» и «Весовые коэффициенты узлов» задаются весовые коэффициенты режимных параметров. В таблицах «ТМ узлов» и «ТМ ветвей» представлены значения измерений режимных параметров генераторов и нагрузок, линий электропередачи и трансформаторов. В таблице «БР Узлов» заданы значения псевдоизмерений и значения модулей и углов из базового режима.

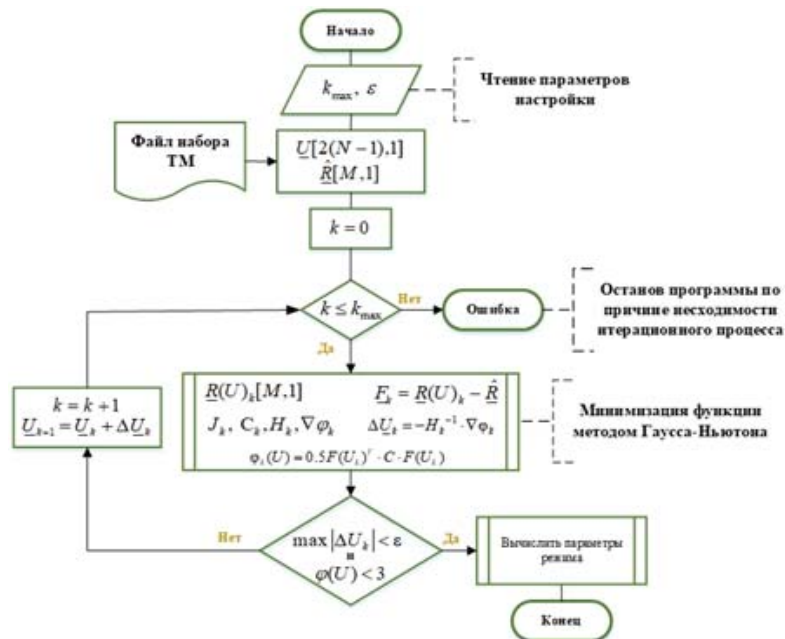


Рис. 2. Схема работы ПО

На рис. 2 представлен принцип работы ПО в виде схемы по ГОСТ 19.701-90.

Заключение

С усложнением топологии и структуры электрических сетей ЭС качество ОС может быть неудовлетворительным, особенно в переходных режимах. Поэтому совершенствование алгоритмов ОС является актуальной задачей.

Созданное ПО позволяет решить задачу статического ОС для схем большой размерности с учётом как данных SCADA-систем, так и СВИ СМПР. Разработанное ПО позволит реализовать научные исследования в области изучения динамических свойств энергосистем, станет инструментом для исследований, связанных с применением статических характеристик нагрузок, верификации расчётных схем энергосистем.

Дальнейшее совершенствование ПО позволит решить задачу динамического ОС и может быть внедрено в состав программно-вычислительных комплексов реального времени.

Список литературы

1. Гамм А.З. Статистические методы оценивания состояния электроэнергетических систем / А.З. Гамм. – М.: Наука, 1976. – 220 с.
2. Колосок И.Н. Расчет максимально допустимых потоков в контролируемых сечениях на основе методов оценивания состояния / И.Н. Колосок, Е.С. Аксаева, А.М. Глазунова // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – Т. 22. № 3(134).
3. Глазунова А.М. Выработка управляющих воздействий с помощью искусственных нейронных сетей и модифицированного оценивания состояния / А.М. Глазунова, Е.С. Аксаева, Е.С. Съёмщиков. – 2015.
4. Hurtgen M., Maun J.C. Advantages of power system state estimation using phasor measurement units //16th

Power Systems Computation Conference. – 2008. – С. 1–7.

5. Михайленко В.С. Перспективы применения устройств векторной регистрации для оптимизации работы электрической сети в режиме реального времени / В.С. Михайленко, О.С. Рыбасова, С.С. Костюкова // Электроэнергетика глазами молодежи: материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф. – 2017. – С. 2–6.
6. Дунаева Е.А. Программно-технические решения по обработке данных регистраторов СМПР / Е.А. Дунаева // Сб. ст. по материалам I Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа, 2019.
7. Жуков А. Развитие систем мониторинга и управления в ЕЭС России. ОАО» СО ЕЭС» / А. Жуков, Д. Дубинин, О. Опалев // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2014. – № 2. – С. 52–65.
8. Коркина Е.С. Развитие методов оценивания состояния ЭЭС на основе интеграции данных SCADA и PMU: дисс. ... канд. тех. Наук / Е.С. Коркина. – Иркутск, 2009. – 147 с.
9. Вторушин А.С. Использование синхронных векторных измерений в оценивании состояния электроэнергетических систем / А.С. Вторушин, В.К. Шипилов // Электроэнергетика глазами молодежи: сб. докл. Всеросс. науч.-техн. конф. (Казань, 1–5 октября). – 2018. – Т. 1. – С. 213–216.
10. Колосок И.Н. Алгоритмы обработки измерений комплексных электрических величин для мониторинга состояния объектов ЭЭС / И.Н. Колосок, Е.С. Коркина, Е.А. Бучинский // Электроэнергетика глазами молодежи: сб. докл. Всеросс. науч.-техн. конф. (Екатеринбург, 22–26 октября 2012). – Т. 2. – С. 47–53.
11. Глазунова А.М. Метод достоверизации синхронизированных векторных измерений при оценивании состояния электроэнергетических систем / А.М. Глазунова, Е.С. Съёмщиков // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 11(106).
12. Phadke A.G. and Thorp J.S. Synchronized Phasor Measurements and Their Applications. New York, NY, USA: Springer, 2008.

13. Korres G.N. and Manousakis N.M. State estimation and bad data processing for systems including PMU and SCADA measurements, *Elect. Power Syst. Res.*, vol. 81, no. 7, pp. 1514–1524, Jul. 2011.
14. Zhao, J., Gomez-Exposito, A., Netto, M., Mili, L., Abur, A., Terzija, V., ... & Huang, Z. (2019). Power system dynamic state estimation: motivations, definitions, methodologies and future work. *IEEE Transactions on Power Systems*.
15. Ghahremani E., Kamwa I. Dynamic state estimation in power system by applying the extended Kalman filter with unknown inputs to phasor measurements // *IEEE Transactions on Power Systems*. – 2011. – Т. 26. – №. 4. – С. 2556–2566.
16. Rouhani A., Abur A. Constrained iterated unscented Kalman filter for dynamic state and parameter estimation // *IEEE Transactions on Power Systems*. – 2017. – Т. 33. – №. 3. – С. 2404–2414.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ РОТОРНОЙ РЕЗАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОНДИТЕРСКИХ МАСС



Кончина Лариса Владимировна

Кандидат ф-м.наук, доцент кафедры технологические машины и оборудование филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» г. Смоленск



Шанин Вячеслав Алексеевич

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» г. Смоленск

Аннотация. Разработка высокоэффективного технологического оборудования, предназначенного для формования пищевых масс является актуальной научно-прикладной задачей. Необходимость повышения производительности и качества продукции в условиях свободной конкуренции требует инновационных решений в области проектирования машин и аппаратов пищевых производств. Предложенная роторная струнно-резательная установка отвечает требованиям современного производства, позволяя значительно увеличить производительность технологической линии, сохранив высокое качество выпускаемой продукции. Принципиально новая конструкция обладает большим потенциалом для разработки и использования в различных отраслях пищевой промышленности.

Ключевые слова: высокоэффективное оборудование, резание, кондитерские массы, формование, кинематическая схема.

Abstract. The development of highly efficient technological equipment designed for molding food masses is an urgent scientific and applied task. The need to increase productivity and product quality in a competitive environment requires innovative solutions in the design of machinery and apparatus for food production. The proposed rotary string cutting machine meets the requirements of modern production, allowing you to significantly increase the productivity of the production line, while maintaining the high quality of the products. A fundamentally new design has great potential for development and use in various sectors of the food industry.

Key words: high-performance equipment, cutting, confectionery mass, molding, kinematic scheme.

Введение

Современные предприятия стремятся к повышению эффективности производства путем улучшения качества выпускаемой продукции, повы-

шению производительности технологических линий, совершенствования методов контроля качества продукции. Эти цели достигаются оптимизацией производственного процесса путем реорганизации