

12. Slusarev G. V., Anashkin R. V., Katkov K. A., et al. Ustroystvo opredeleniya stepeni chastotno-selektivnykh zamiraniy navigatsionnykh radiosignalov sputnikovyykh radionavigatsionnykh sistem [The device determine the degree of frequency-selective fading radio signals of the navigation satellite navigation systems]. *The patent for useful model RUS 93525 from 02.12.2009*.

13. Teplyakov I. M. Ionosfernie iskazeniya tsifrovyykh signalov s shirokopolosnoy modulyatsiyey [Ionospheric distortion of the digital signal with a wideband modulation]. *Radiotekhnika* [Radio Engineering], Moscow, 1984, no. 8, pp. 8–13.

14. Kharisov V. N., Perova A. I., Boldina V. A. *Globalnaya sputnikovaya radionavigatsionnaya sistema GLONASS* [Global satellite radio navigation GLONASS system], Moscow, IPRZHR Publ. House, 1998. 680 p.

15. Shebshaevich V. S., Dmitriev P. P., Ivantsevich N. V. Setevye sputnikovye radionavigatsionnye sistemy [Network satellite radio navigation system]. *Radio i svyaz* [Radio and Communication], Moscow, 1993. 408 p.

16. Yannick Béniguel, Biagio Forte, Sandro M. Radicella, Hal J. Strangeways, Vadim E. Gherm and Nikolay N. Zernov Scintillations effects on satellite to Earth links for telecommunication and navigation purposes. *Annals of geophysics*, 2004, vol. 47, no. 2/3, pp. 1179–1199.

17. Robert S. Conker, M. Bakry El-Arini, Christopher J. Hegarty and Thomas Hsiao Modeling the effects of ionospheric scintillation on GPS/Satellite-Based Augmentation System availability. *Radio Science*, 2003, vol. 38, no. 1, pp. 1–23. Doi:10.1029/2000rs002604.

18. Smirnov V., Smirnova E., Skobelkin V., Tynyankin S. Hardware and software complex monitoring the Earth ionosphere. *Proceedings of the 40th SCIENTIFIC ASSEMBLY COSPAR*, Russia, Moscow, August 2–10 2014, pp. 1–14.

УДК:621.311.13, 004.3

РАЗРАБОТКА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Статья поступила в редакцию 25.04.2017, в окончательном варианте – 23.06.2017.

Асиев Абай Турусбекович, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, 720044, Кыргызская Республика, г. Бишкек, пр. Чынгыза Айтматова, 66,

кандидат технических наук, заведующий отделом науки, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-2013-6314>, e-mail: asievat@gmail.com

Работа посвящена вопросам создания и применения многофункционального анализатора (МФА) показателей качества электрической энергии (ПКЭ) для контроля автономных систем электроснабжения. Рассмотрены необходимые требования к ПКЭ и мероприятия, направленные на соблюдение требований, указанных в ГОСТ 32144-2013. Определено оборудование в автономной системе электроснабжения (АСЭ), создающее электромагнитные помехи и оказывающее негативное влияние на ПКЭ. Для АСЭ и электроагрегатов, вырабатывающих переменное напряжение, совокупность ПКЭ включает следующее: установившееся отклонение напряжения при изменении симметричной нагрузки (СН); установившееся отклонение напряжения при неизменной СН; переходное отклонение напряжения при сбросе – набросе СН; время восстановления напряжения при сбросе – набросе СН; установившееся отклонение частоты при неизменной СН; переходное отклонение частоты при сбросе – набросе СН; время восстановления частоты при сбросе – набросе СН; коэффициент амплитудной модуляции напряжения частотой 400 Гц при СН, коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения; коэффициент небаланса междуфазных напряжений при несимметричной нагрузке фаз. Поставлены задачи мониторинга показателей КЭЭ. Указаны новые стандарты, регламентирующие методы измерения этих показателей. В качестве объекта для разработки МФА показателей КЭЭ была выбрана АСЭ, которая может применяться в отдаленных населенных пунктах. Рассмотрены особенности технических характеристик современных цифровых анализаторов КЭЭ. Охарактеризована разработка, выполненная автором.

Ключевые слова: автономные источники электроснабжения, электроэнергия, показатели качества электрической энергии, методы анализа, математические методы, сплайн-интерполяция, цифровая фильтрация, аппаратные решения, программный комплекс, интерфейс с пользователем

DEVELOPMENT OF MULTIFUNCTIONAL ANALYZER OF ELECTRICITY QUALITY INDICATORS FOR CONTROL OF AUTONOMOUS ELECTRICAL SUPPLY SYSTEMS

The article has been received by editorial board 25.04.2017, in the final version – 23.06.2017.

Asiev Abay T., Kyrgyz State Technical University ater I. Razzakov, 66 Chingiz Aytmatov Ave., Bishkek, 720044, Kyrgyz Republic,

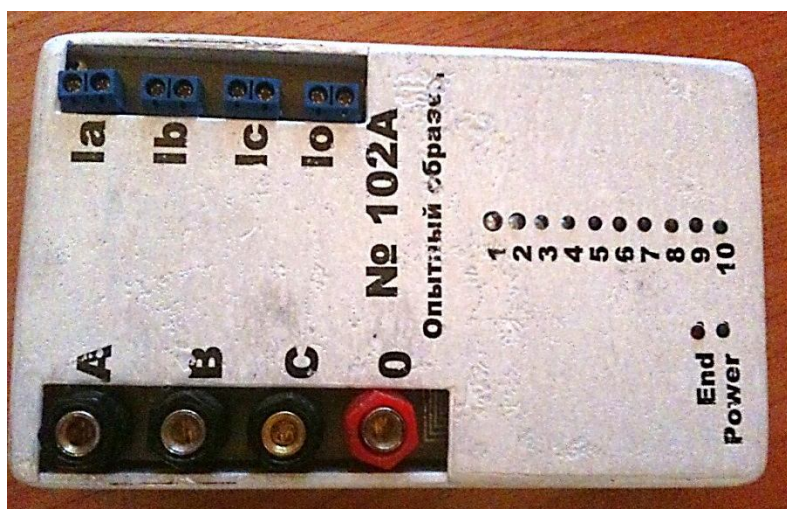
Cand. Sci. (Engineering), Head of the Department of Science, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-2013-6314>, e-mail: asievat@gmail.com

This article is devoted to the development and application of a multifunctional analyzer of quality indicators of electrical power to control autonomous power supply systems. The author considers the necessary requirements for the quality of electrical power and measures aimed at reaching compliance with these requirements specified in GOST 32144-2013. The article defines equipment that creates electromagnetic interference and adversely affects the quality of electric power in

an autonomous power supply system. It is determined that autonomous power supply systems and alternating voltage electric aggregates have the following electric power quality indicators: steady voltage deviation under symmetrical load change, steady voltage deviation under constant symmetrical load, transient voltage deviation at reset of symmetrical load; voltage recovery time at reset of symmetrical load; a steady frequency deviation with an unchanged symmetrical load; transient frequency deviation at reset of symmetrical load; frequency recovery time at reset of symmetrical load; amplitude modulation factor at modulating frequency of 400Hz under symmetrical load voltage waveform distortion factor; unbalance factor of phase-to-phase voltages with an unsymmetrical phase load. The tasks are set for monitoring quality indicators of electrical power. The paper specifies new standards that regulate methods for measuring quality of electrical power. The author chooses an autonomous power supply system that can be implemented in remote settlements as an object for the development of a multifunctional analyzer of electric power quality indicators. Some technical properties of modern digital analyzers are described. The author's design is characterized.

Keywords: autonomous power supply sources, electric power, quality indicators of electric power, analysis methods, mathematical methods, spline interpolation, digital filtering, hardware solutions, software complex, user interface

Graphical annotation (Графическая аннотация)



В настоящее время электропитание необходимо для обеспечения деятельности различных устройств, реализации разнообразных технологических процессов и пр. При этом важно, чтобы показатели качества электроэнергии (ПКЭ) удовлетворяли всем требованиям, необходимым для работы этих устройств. Нарушение ПКЭ может приводить к росту аварийности оборудования за счет увеличения вероятности реализации неблагоприятных событий и ущерба в случае их реализации [6], уменьшения срока службы оборудования и пр. Особенно это касается высокотехнологичного оборудования (например, в медучреждениях [7]), которое часто предъявляет повышенные требования к ПКЭ.

При анализе (мониторинге) ПКЭ оцениваются в основном следующие параметры: наличие, амплитуда, частота повторения всплесков напряжения по сравнению с номинальными значениями амплитуды и частоты напряжения в электросети; кратковременные пропадания напряжения (блэкауты) или кратковременные уменьшения его величины; отключения электроэнергии; появление дополнительных гармоник в электрическом напряжении, отличающихся от 50 Гц (в т.ч. при изменении частоты напряжения, при наличии электрических помех и пр.).

Контроль ПКЭ может осуществляться как на входе в сеть организации, так и на отдельных рабочих местах, в т.ч. там, где используется высокотехнологичное оборудование. Существующие аппаратно-технические средства (АПС) для мониторинга ПКЭ и фиксации его результатов в объективной форме имеют ряд недостатков: 1. Они достаточно дороги. Поэтому такие АПС редко применяются для непрерывного контроля (мониторинга) ПКЭ даже на входах в сети электропитания крупных организаций. Тем более они не используются для контроля ПКЭ на отдельных рабочих местах (в точках использования оборудования). 2. Предлагаемые на рынке мониторы (анализаторы) ПКЭ поставляются с закрытыми кодами программных средств, что затрудняет возможности их использования для учебных (и особенно для учебно-исследовательских) целей в вузах, т.к. отсутствуют возможности изменения этих кодов. Например, это может быть полезно для анализа (сравнения) эффективности использования различных фильтров для временных рядов; влияния изменений частоты дискретизации сигналов на качество получаемых результатов и пр. 3. Сложность сопряжения предлагаемых АПС с информационными системами по учету ПКЭ, самостоятельно разрабатываемыми пользователями.

Поэтому возникает задача разработки и использования достаточно простых и дешевых АПС автономного характера для контроля ПКЭ, в т.ч. в местах непосредственного потребления электроэнергии, а также в учебных целях при изучении предметов типа «электротехника» или «электропитание установок» студентами технических вузов. Рассматриваемое в статье устройство может использоваться и как

некоторый прототип, на основании которого студентами или магистрантами вузов могут разрабатываться устройства аналогичного назначения с использованием иной элементной базы, программного обеспечения (ПО) и др.

Задачи анализа ПКЭ особенно актуальны для автономных систем электропитания (АСЭ), в т.ч. использующих дизель-генераторы и возобновляемые источники электроэнергии. Это связано с тем, что для таких источников ПКЭ могут быть существенно хуже, чем для сетей электропитания в городах и населенных пунктах. При этом задачи выявления посторонних гармоник (не равных 50 Гц) требуют довольно высокой точности измерения напряжений в тех случаях, когда эти гармоники имеют небольшую амплитуду. Последний вариант встречается на практике достаточно часто, в т.ч. и при использовании АСЭ.

В существующей литературе [2, 15, 16, 17, 18, 25] особенности АПС для устройств контроля ПКЭ в случае АСЭ отражены недостаточно полно, в т.ч. и с позиций использования математических методов, их реализации на вычислительных устройствах. Поэтому целью данной статьи была попытка устранить указанный недостаток.

Анализ возможных подходов к решению поставленной задачи Гармонический анализ вырабатываемой электроэнергии является одним из важных направлений анализа ПКЭ. При этом, согласно требованиям ГОСТ 32144-2013, для расчета ПКЭ и некоторых вспомогательных параметров необходимо выполнить гармонический анализ совокупности отсчетов для измеряемых данных с использованием преобразования Фурье. В данной работе используется алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ), что позволяет проводить анализ данных для определения ПКЭ в режиме реального времени. Для рассматриваемой в статье задачи оценки ПКЭ в рамках использования АПС алгоритм БПФ можно реализовать тремя различными методами. (1) Применить микропроцессор и специально разработанное для него ПО, что позволит ускорить цифровую обработку измеряемых данных. С этой целью необходимо сделать следующее: разработать либо приобрести специальное ПО и библиотеки программ для предполагаемого к использованию АПС на основе выбранного микропроцессора; решить задачи сопряжения выбранного типа микропроцессора и ПО с аппаратурой и программной оболочкой разрабатываемой информационно-аналитической системы по ПКЭ. (2) Использовать готовые библиотеки, содержащие типовые операции цифровой обработки данных. Для этого варианта отметим следующее: возможно появление проблем, связанных с безопасностью и результативностью применения пакетов объектных библиотек при их приспособлении (адаптации) к решению рассматриваемой задачи; нужно оплачивать полный пакет объектных библиотек их разработчикам (поставщикам), как правило, такие библиотеки не находятся в открытом доступе. (3) Применить в программной оболочке языка программирования высокого уровня. Особенности такого подхода: более низкая скорость исполнения выполняемого кода; определенные трудности при тестировании разработанной программы.

Проведенный автором анализ достоинств и недостатков указанных трех вариантов показал, что для достижения повышенной точности измерений представляется оптимальным использование первого варианта (на базе применения микропроцессоров с разработкой для них специального ПО). Этот подход и используется в данной работе.

Теоретические основы метода оценки ПКЭ. Опыт создания диагностического оборудования различного назначения показывает, что использование современных средств цифровой обработки измерительных данных (ЦОИД) значительно улучшает технические характеристики оборудования. Цифровая регистрация, фильтрация, анализ и запись измерительных данных позволяют создавать диагностические устройства с дополнительными свойствами и возможностями [22].

Важно отметить, что ЦОИД неразрывно связано с применяемыми микропроцессорными устройствами, а выбор этих устройств напрямую зависит от того, какие задачи ЦОИД будут решаться.

Для осуществления анализа ПКЭ в статье предлагается метод цифровой фильтрации измерительных данных, использующий специально разработанный для целей анализа ПКЭ вариант алгоритма фильтрации измерительных данных Калмана – Бьюси.

Опишем схему построения фильтра Калмана – Бьюси измерительных данных порядка $m = 1, 2, \dots$ для задачи анализа ПКЭ [1, 5, 6, 10, 12, 24, 28].

Предположим, что диагностическое оборудование измеряет входящий по выбранному каналу аналоговый сигнал в моменты времени

$$t_n = t_0 + n\Delta t, \quad n = 1, 2, \dots$$

с шагом Δt .

Предположим также, что входящий сигнал можно смоделировать отрезком ряда Фурье

$$x(t) = \sum_{k=0}^m (\alpha_k \cos(2\pi k f t) + b_k \sin(2\pi k f t)), \quad (1)$$

где через f обозначена основная частота электрической сети (50 Гц).

Тогда в результате измерений возникает последовательность измерительных данных

$$x_n = x(t_n) + v_n,$$

где через v_n обозначены ошибки измерений.

Будем предполагать, что ошибки измерений образуют последовательность независимых случайных величин с нулевыми математическими ожиданиями $Mv_n = 0$ и известными отличными от нуля дисперсиями

$$Dv_n = \sigma_n^2, \sigma_n^2 \neq 0$$

Рассматривая ряд (1), как вещественную часть комплексного ряда

$$z(t) = \sum_{k=0}^m z_k(t) = \sum_{k=0}^m (a_k + ib_k) e^{-i2\pi k f t} \quad (2)$$

получаем

$$z_k(t_{n+1}) = (a_k(t_n) + ib_k(t_n)) e^{-i2\pi k f (t_n + \Delta t)} + \lambda_k(t_{n+1}) = z_k(t_n) e^{-i2\pi k f \Delta t} + \lambda_k(t_{n+1}) \quad (3)$$

Введем в рассмотрение векторы-столбцы $\{\theta_n\}$ и $\{w_n\}$ размерности $2m + 2$ с вещественными координатами

$$\theta_n = \begin{pmatrix} \operatorname{Re} z_0(t_n) \\ \operatorname{Im} z_0(t_n) \\ \vdots \\ \operatorname{Im} z_m(t_n) \end{pmatrix}, w_n = \begin{pmatrix} \operatorname{Re} \lambda_0(t_n) \\ \operatorname{Im} \lambda_0(t_n) \\ \vdots \\ \operatorname{Im} \lambda_m(t_n) \end{pmatrix}, \quad (4)$$

и квадратную матрицу $[A]$ порядка $2m + 2$ на главной диагонали которой стоят квадратные матрицы второго порядка $P_k = (k=0, \dots, m)$, а все остальные элементы матрицы $[A]$ равны нулю. Матрицы $P_k = (k=0, \dots, m)$, имеют вид

$$P_k = \begin{pmatrix} \cos(2\pi k f \Delta t) & \sin(2\pi k f \Delta t) \\ -\sin(2\pi k f \Delta t) & \cos(2\pi k f \Delta t) \end{pmatrix}. \quad (5)$$

и располагаются на $(2k + 1)$ и $(2k + 2)$ строках матрицы A соответственно.

$$\begin{cases} K_n = A \Gamma_n \varphi (\varphi^T \Gamma_n \varphi + \sigma_n^2)^{-1}, \\ \Gamma_{n+1} = (A - K_n \varphi^T) \Gamma_n (A - K_n \varphi^T)^T + K_n \sigma_n^2 K_n^T + Q_w(n+1), \\ \hat{\theta}_{n+1} = A \hat{\theta}_n + A \Gamma_n \varphi (\varphi^T \Gamma_n \varphi + \sigma_n^2)^{-1} (x_n - \varphi^T \hat{\theta}_n) \end{cases} \quad (6)$$

Формула (5) – фильтр Кальмана – Бьюси, построенный для решения задач анализа ПКЭ. Она может быть использована для контроля АСЭ.

Для начальных условий $\hat{\theta}_0$ и Γ_0 формулы (6) определяют полную систему и позволяют рекуррентно вычислить $\hat{\theta}_0$ и Γ_0 для всех значений $n = 1, 2, \dots$. Работа алгоритма фильтрации завершается формированием последовательности уточненных измерительных данных y_1, y_2, \dots , рассчитываемых по формуле

$$y_i = \varphi^T \hat{\theta}_i, i = 1, 2, 3 \dots \quad (7)$$

Цифровую обработку полученных данных в дискретные моменты времени целесообразно проводить на основе методов, описанных в [3, 23].

В результате использования алгоритма цифровой фильтрации первичных данных формируется последовательность значений функции $y = f(t)$ с постоянным шагом по времени. Численный анализ этой последовательности, позволяет определять в режиме реального времени все ПКЭ и в том числе вспомогательные параметры, регламентируемые по ГОСТ 32144-2013. Подчеркнем, что при проведении численного анализа необходимо применять только регламентированные ГОСТ 32144-2013 расчетные формулы.

Этап 1. После проведения цифровой фильтрации измерительных сигналов, зарегистрированных в моменты времени $t_k = t_0 + k \cdot \Delta t$, $k = 0, 1, \dots, N$ с шагом Δt , формируется, последовательность значений $\{y_i\}$ для функции $y = f(t)$.

Для того чтобы провести анализ ПКЭ, выполним на отрезке $[t_0, t_N]$ интерполяцию функции $y = f(t)$ с помощью совокупности одномерных сплайн-функций (аппроксимаций) второго порядка $y = \chi(t) = \{\chi_k(t), k = 1, 2, \dots, N - 1\}$. На каждом из отрезков $[t_k, t_{k+1}]$ при $k = 1, 2, \dots, N - 1$ эта функция представляет собой квадратный трехчлен

$$\chi_k(t) = a_k t^2 + b_k t + c_k. \quad (8)$$

Результаты работы алгоритма по фильтрации измерительных данных изображены на рисунке 1.



Рис. 1. Результаты измерений с фильтрацией Кальмана – Бьюси и без нее

Для задач оценки ПКЭ наиболее целесообразен такой вариант сплайн-интерполяции, когда на концах отрезков $[t_k, t_{k+1}]$ выполняются следующие условия сращивания интерполирующих полиномов

$$\chi_1(t_0) = y_0, \tag{9}$$

$$\chi_1(t_1) = y_1, \tag{10}$$

$$\chi_1(t_2) = y_2, \tag{11}$$

$$\chi_k(t_k) = y_k, \quad k = 2, \dots, N-1, \tag{12}$$

$$\chi_k(t_{k+1}) = y_{k+1}, \quad k = 2, \dots, N-1, \tag{13}$$

$$\frac{d\chi_{k-1}(t_k)}{dt} = \frac{d\chi_k(t_k)}{dt}, \quad k = 2, \dots, N-1. \tag{14}$$

Это позволяет получить на всем отрезке $[t_0, t_N]$ «гладкую» функцию $y = f(t)$, за счет того, что в точках сращивания совпадают не только значения функции, но и ее первых производных.

Вычислим коэффициенты a_k, b_k, c_k квадратных трехчленов по формуле (9), воспользовавшись формулами (9–14). При этом вычисление коэффициентов a_k, b_k, c_k квадратных трехчленов будет проводиться последовательно, в соответствии с возрастанием индекса k , начиная со значения $k = 1$, т.е. с первого квадратного трехчлена $\chi_1(t)$.

Чтобы определить коэффициенты квадратного трехчлена $\chi_1(t)$, вычтем из соотношения (10) соотношение (9), а из соотношения (11) вычтем (10). В итоге получим формулы

$$a_1(t_1^2 - t_0^2) + b_1(t_1 - t_0) = y_1 - y_0, \tag{15}$$

$$a_1(t_2^2 - t_1^2) + b_1(t_2 - t_1) = y_2 - y_1, \tag{16}$$

Поскольку $t_2 - t_1 = t_1 - t_0 = \Delta t$, то соотношения (9–15) и (10–16) в результате деления на Δt преобразуются к виду

$$a_1(t_1 + t_0) + b_1 = \frac{1}{\Delta t}(y_1 - y_0), \tag{17}$$

$$a_1(t_2 + t_1) + b_1 = \frac{1}{\Delta t}(y_2 - y_1), \tag{18}$$

Вычитая из (18) соотношение (17) и воспользовавшись условием $t_2 - t_0 = 2\Delta t$, получим выражение $a_1 2\Delta t = \frac{1}{\Delta t}(y_2 - 2y_1 + y_0)$. Из него следует, что $a_1 = \frac{1}{2(\Delta t)^2}(y_2 - 2y_1 + y_0)$.

Далее из формул (18) и (17) получаем выражения для остальных коэффициентов квадратного трехчлена $\chi_1(t)$:

$$b_1 = \frac{1}{\Delta t}(y_1 - y_0) - a_1(t_1 + t_0),$$

$$c_1 = y_0 - a_1 t_0^2 - b_1 t_0.$$

Затем, чтобы найти коэффициенты квадратного трехчлена $\chi_k(t)$ в случае $k > 1$, вычтем из формулы (12) формулу (11).

Полученная при этом формула совместно с формулой (13) образуют систему уравнений

$$a_k(t_{k+1}^2 - t_k^2) + b_k(t_{k+1} - t_k) = y_{k+1} - y_k, \quad (19)$$

$$2a_k t_k + b_k = 2a_{k-1} t_k + b_{k-1} \quad (20)$$

с неизвестными a_k, b_k , в которую входят коэффициенты a_{k-1}, b_{k-1} , квадратного трехчлена $\chi_{k-1}(t)$, вычисленные на предыдущем шаге.

Поскольку $t_{k+1} - t_k = \Delta t$ то в итоге деления на Δt формула (18) преобразуется к виду:

$$a_k(t_{k+1} + t_k) + b_k = \frac{1}{\Delta t}(y_{k+1} - y_k), \quad (21)$$

Вычитая теперь из формул (20) формулу (19), получим выражение

$$a_k(t_{k+1} + t_k) + b_k = \frac{1}{\Delta t}(y_{k+1} - y_k) - (2a_{k-1}t_k + b_{k-1}),$$

Отсюда с помощью формул (20) и (12) получаем следующие выражения для коэффициентов квадратного трехчлена $\chi_k(t)$:

$$a_k = \frac{1}{\Delta t^2}(y_{k+1} - y_k) - \frac{1}{\Delta t}(2a_{k-1}t_k + b_{k-1}), \quad (22)$$

$$b_k = 2a_{k-1}t_k + b_{k-1} - 2a_k t_k, \quad (23)$$

$$c_k = y_2 - a_k t_k^2 + b_k t_k, \quad (24)$$

Формулы (22–24) дают возможность рекуррентно вычислить значения функции $\chi_k(t)$, для всех значений аргумента $t \in [t_0, t_N]$. Описанный алгоритм (фактически это разновидность метода «прогонки») является вычислительно эффективным, т.к. за счет использования трехдиагональной структуры матрицы в системе линейных уравнений (СЛУ) не требуется использования методов, предназначенных для СЛУ «общего вида», например, метода Гаусса или одной из его модификаций. Это важно, т.к. описываемые расчеты необходимо производить в режиме реального времени.

Этап 2. Следующим после подсчета коэффициентов a_k, b_k, c_k этапом работы алгоритма является выяснение вопроса о существовании на каждом из отрезков $[t_k, t_{k+1}]$ точек локального максимума/минимума и нулей для трехчлена $\chi_k(t)$. Для нахождения точек локального максимума и минимума трехчлена вычисляется значение

$$\tilde{t}_k = -\frac{b_k}{a_k},$$

а для определения нулей – значения

$$(t_k)_{1,2} = -\frac{-b_k \pm \sqrt{b_k^2 - 4a_k c_k}}{2a_k}.$$

Те из значений $\tilde{t}_k, (t_k)_{1,2}$, которые оказываются расположенными на отрезке $[t_k, t_{k+1}]$, заносятся в специальный массив. В него заносятся также значения квадратного трехчлена $\chi_k(\tilde{t}_k)$ в точках максимума (минимума).

Полученная база данных этих значений используется для расчета ПКЭ, причем по значениям $\chi_k(\tilde{t}_k)$ находится амплитуда входящего электрического сигнала, а по расположению нулей $(t_k)_{1,2}$ вычисляется частота сигнала. Расчеты текущих ПКЭ проводятся параллельно с регистрацией и фильтрацией новых измеряемых данных.

Анализ существующих устройств, предназначенных для определения ПКЭ. Результаты сравнения измерительных возможностей для разработанного автором и существующего диагностического оборудования для контроля АСЭ представлены в таблице 1.

Таблица 1. Итоги сравнения измерительных возможностей анализаторов ПКЭ

Тип анализатора	Измеряемые параметры согласно по ГОСТ 32144-2013										
	$U_{(1)i}$	δU_y	Δf	K_U	$K_{U(n)}$	K_{2U}	K_{0U}	Δt_n	K_{nepU}	U_{umr}	δU_n
ИВК. «Омск»	–	+	+	+	+	+	+	+	+	+	–
Парма РК	+	+	+	+	+	+	+	+	+	–	–
ППКЭ1–50	–	+	+	+	+	+	+	–	–	–	–
Ресурс UF	–	+	+	+	+	+	+	+	+	–	–
Энергомонитор	–	+	+	+	+	+	+	+	–	–	–
Эрис КЭ.01	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	–
Разработанный АКЭ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Примечание: знаками «–» либо «+» в таблице 1 обозначены, соответственно, возможность или невозможность устройств определить соответствующий ПКЭ.

Характеристика необходимой функциональности разрабатываемого анализатора ПКЭ.

Итак, результаты анализа функциональных возможностей существующего диагностического оборудования, которое представлено на рынке [6, 10, 12, 24, 25], показал, что разрабатываемый анализатор должен обеспечивать возможность обследования (проверки) как трехфазных, так и однофазных электрических сетей. При этом он должен давать возможность измерять следующие ПКЭ:

$$\delta U_y, \delta U_t, K_U, K_{U(n)}, \text{ для } n = 2, 3, \dots, 51,$$

где δU_y – установившееся отклонение напряжения; δU_t – размах изменения напряжения; K_U – коэффициент искажения синусоидальности кривой междуфазного (фазного) напряжения; $K_{U(n)}$ – коэффициент n-ой гармонической составляющей напряжения; n – номер гармонической составляющей напряжения.

$$K_{2U}, \Delta t_{i,j+1}, \delta U_n, F_n, \Delta t_{umr0,5}, \Delta t_{nepU},$$

где K_{2U} – коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности; $t_{i, i+1}$ – начальные моменты следующих один за другим изменений напряжения; $\delta U_n, \Delta t_n$ – число провалов напряжения глубиной δU_n и длительностью Δt_n за рассматриваемый период времени наблюдения T ; F_n – частота появления провалов напряжения.

Разрабатываемый анализатор должен также позволять измерять вспомогательные параметры ПКЭ [9]:

$$F \delta U_t, \Delta t_{i,j+1}, \delta U_n, F_n, \Delta t_{umr0,5}, \Delta t_{nepU}.$$

Для определения номенклатуры фактических возможностей анализатора необходимо, в частности, следующее. (а) Сделать оценку искажений и погрешностей регистрации входящего (входного) сигнала. (б) Сделать оценку необходимых параметров дискретизации входящего сигнала. (в) Определить нужную разрядность аналого-цифрового преобразователя.

Разрабатываемый анализатор должен также обеспечивать следующую функциональность: (а) совершать амплитудное преобразование [19–21] входящих аналоговых сигналов; (б) выполнять цифровую обработку потока измерительных данных, полученных по различным каналам; (в) работать на основе специального ПО микропроцессорных устройств; (г) обеспечивать решение задач электробезопасности [13, 26]; (д) осуществлять расчет ПКЭ в режиме реального времени; (е) выполнять запись и хранение данных для последующей обработки на ПЭВМ; (ж) давать возможность передавать данные с анализатора на ПЭВМ; (з) реализовывать алгоритм фильтрации измерительных данных.

На основании теоремы Котельникова, частота дискретизации входящего сигнала должна быть минимум в два раза выше, чем верхний предел полосы пропускания. По этой причине регистрацию данных для оценки ПКЭ нужно осуществлять с частотой не менее 700–800 Гц.

Разрешение по амплитуде должно соблюдаться не менее 0,5 мкВ. Высокое амплитудное разрешение нужно также и для высококачественного представления результатов анализа ПКЭ АСЭ на экране монитора, либо в виде «твердой копии».

Существует задача уменьшения промежутка времени между отсчетами на различных каналах измерений (см. далее). Если данный промежуток больше 10...25 микросекунд, то отслеживается искажение высокочастотных составляющих сигнала, обусловленное фазовыми сдвигами [15]. Это обстоятельство вынуждает устанавливать более быстрые аналогово-цифровые преобразователи (АЦП) и обеспечивать более высокую скорость доставки результатов АЦП до вычислителя либо до буфера промежуточной памяти. Последнее требование является сложной задачей, если учесть, что именно по цифровым каналам удобнее всего сделать гальваническую развязку.

Анализатор ПКЭ должен быть, как минимум, 12-канальным (4 канала для тока, 7 каналов для напряжения, 1 канал для частоты). При этом измерения и регистрация ПКЭ должны производиться по всем каналам одновременно. Электропитание анализатора ПКЭ рационально осуществлять от обследуемой сети АСЭ. В случае исчезновения или резкого падения напряжения в исследуемой сети, питание должно

автоматически переключаться на автономный источник питания устройства в виде аккумулятора. Защиту электрических цепей ПКЭ целесообразно осуществлять при помощи гальванической развязки.

Разрабатываемое оборудование (анализатор ПКЭ) должно допускать непрерывный (до нескольких месяцев и больше) мониторинг параметров электрической сети.

Характеристика предлагаемых технических решений для анализатора. В разработанном устройстве (анализатор ПКЭ) преобразование всех входящих сигналов осуществляется при помощи делителей напряжения (ДН). Ими называют электротехнические устройства для деления на части напряжения переменного или постоянного тока. При низких напряжениях в качестве ДН используется последовательное соединение резисторов, т.е. активных электрических сопротивлений. Ёмкостные ДН, состоящие из нескольких последовательно соединённых измерительных конденсаторов высокой точности, используют в электроэнергетике для отбора небольших мощностей от ЛЭП высокого напряжения (до 220 кВ). При переменном напряжении используются также ёмкостные ДН с конденсаторами постоянной либо переменной ёмкости и индуктивными ДН.

В данной работе применен прецизионный делитель напряжения В0431 компании Vishay Inter-technology. Такие ДН используются в высокоточных аналоговых измерительных устройствах и обладают максимальным сопротивлением 1 МОм. Точность ДН составляет $\pm 0,005\%$. Указанные ДН изготовлены с применением пленочной спецтехнологии, которая обеспечивает высокую устойчивость к внешним воздействиям и низкий температурный коэффициент. Эти ДН предназначены для измерительных приборов и, в частности, для анализаторов ПКЭ, в которых необходимо наличие прецизионных делителей напряжения. Основные параметры делителей напряжения серии В0431: 1) допустимое отклонение $\pm 0,05\%$; 2) диапазон рабочих температур: $-50...+60\text{ }^\circ\text{C}$; 3) максимальное напряжение 380 В.

В отношении микроконтроллера проведенный анализ показал, что наиболее подходящим вариантом является использование модели PIC168776 фирмы "Microchip LTD", ориентированного на применение в прецизионных системах съема информации. Интегральный микроконтроллер PIC168776 включает в себя следующее: 10-битный 14-канальный АЦП последовательного приближения при максимальной скорости 300 тыс. выборок в секунду; 12-битный цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП); 32-битный сигма-дельта ЦАПа; 32-битный широтно-импульсный модулятор; одноктактовый процессор с ядром 9502 с максимальной производительностью 20 млн инструкций в секунду; источник опорного напряжения (ИОН); 24 источника прерывания с четырьмя уровнями приоритета; 4 указателя данных; сторожевой таймер; 62 килобайт флеш-памяти для программ; 4 килобайт флеш-памяти для данных; 2304 килобайта памяти с произвольным доступом; 11-битный указатель стека; 3 счетчика-таймера; 3 порта для последовательного обмена данными; счетчики временных промежутков.

Микросхема PIC168776 работает с источниками питания 3 В на тактовой частоте в 16 МГц. В случае питания от источника 5 В и тактовой частоте 16 МГц. При этом микросхема потребляет ток 25 мА. Рабочий температурный диапазон $-40...+70\text{ }^\circ\text{C}$. Эта микросхема поставляется фирмой-производителем "Microchip LTD" в сорокаконтактном корпусе.

При разработке прецизионного ДН для анализа ПКЭ возникает необходимость выбора гальванической развязки (ГР). Она позволяет обеспечить необходимую помехозащищённость; защитить электрические цепи устройства от несанкционированного воздействия электрических напряжений и токов коротких замыканий, а также от последствий возможного электрического удара молнии. В настоящее время наиболее широкое распространение получили два вида ГР: оптоэлектронная и трансформаторная. Для ГР трансформаторного типа предполагается применение магнитоиндукционного элемента с сердечником либо без него. При этом напряжение $U_{\text{вых}}$ на вторичной обмотке ГР пропорционально напряжению $U_{\text{вх}}$ на входе устройства. При использовании трансформаторной ГР нужно учитывать следующие её недостатки: сравнительно крупные габаритные размеры компонентов, реализующих развязку; полоса пропускания этого типа развязки ограничивается частотой модуляции развязки; несущий сигнал может создать помехи, влияющие на выходной сигнал.

В настоящее время в связи с развитием спецтехнологий полупроводниковых устройств расширяется возможность применения оптоэлектронных ГР, т.е. оптических оптронов. Светоизлучающий диод, р-п-переход которого смещён в прямом направлении, излучает свет, воспринимаемый фототранзистором. Таким образом осуществляется ГР цепей, связанных со светодиодом, с одной стороны, и с фототранзистором, с другой.

К преимуществам оптоэлектронной ГР можно отнести следующее: малые габаритные размеры; возможность передавать сигналы на более высокой частоте чем в случае трансформаторной ГР; способность осуществлять развязку в широком диапазоне напряжений, в том числе до величины 380 В. Это типичное значение, принятого при реализации систем ввода данных для устройств, предназначенных для контроля ПКЭ. В разработанном автором анализаторе ПКЭ (рис. 2) используется оптоэлектронная ГР.

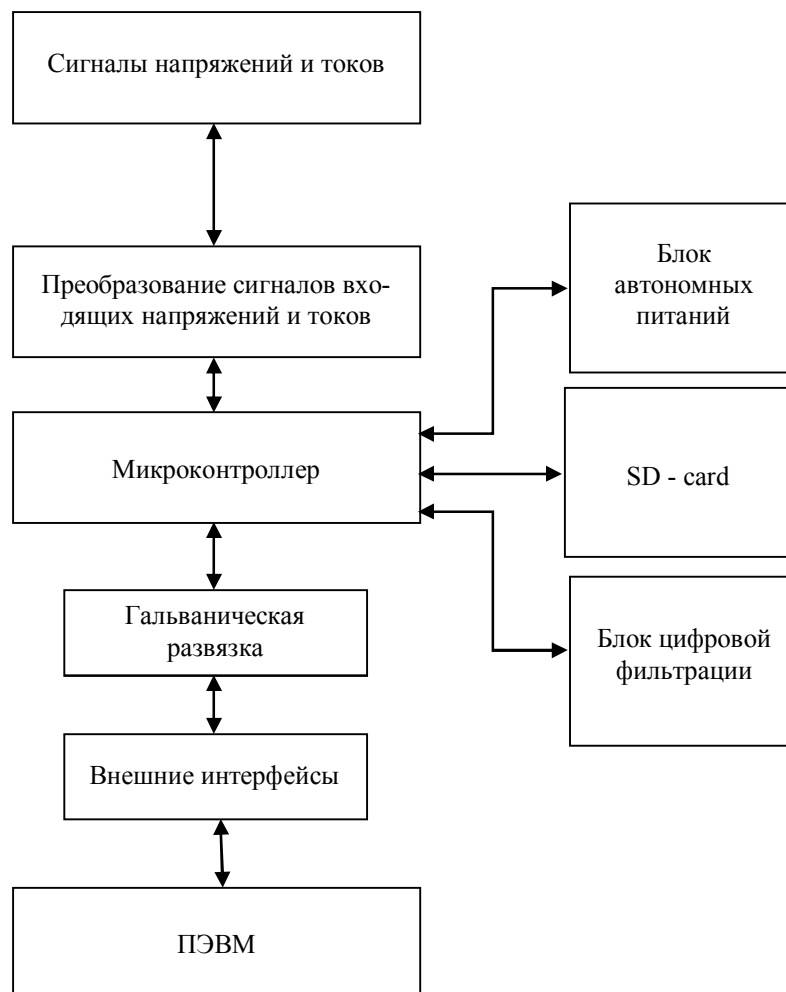


Рис. 2. Структурная схема МФА ПКЭ

Внешний интерфейс МФА обеспечивается за счет ПО либо устройства, с помощью которого можно подключить два разных объекта. Существуют ряд интерфейсов для соединения устройств (технических средств); для подключения ПО с устройствами, то есть интерфейсы, которые соединяют программы. Интерфейс пользователя – это компьютерное ПО, которое соединяет пользователя с устройством.

Различают два типа внешних интерфейсов: внутрифирменные и стандартные. Внутрифирменные интерфейсы позволяют соединять некоторые периферийные устройства, в основном производимые самим разработчиком.

Стандартный интерфейс обладает значительно более широкими возможностями. Он бывает как беспроводным (например, Wi-Fi, ИК-порт, Bluetooth), так и проводным (например USB 1.1; 2.0; 3.0, COM-порт).

Разница между беспроводными и проводными интерфейсами довольно условна, т.к. сейчас существуют адаптеры беспроводных интерфейсов, подключаемые к разъемам проводных интерфейсов, и адаптеры «из одного интерфейса в другой».

Интерфейс USB «Универсальная последовательная шина» был создан после того, как пропускной способности последовательных COM-портов и параллельных LPT-портов оказалось недостаточно для подключения периферийных устройств. Максимальная скорость LPT-порта находится в пределах от 512 кбит/с до 1 Мбит/с, а COM-порта – 256 кбит/с. Сейчас применяются следующие модификации интерфейсов USB: eSATAp (USB 3.0); Hi-Speed USB (USB 2.0); Full Speed USB (USB 1.1); Original USB (USB 1.0). Устройства всех четырех модификаций USB совместимы между собой. Однако при подсоединении, например, устройства USB 2.0 и USB 3.0 к устройству USB 1.1 скорость передачи будет такой же, как и у USB 1.1.

Устройства эталона USB, поддерживающие спецтехнологии Plug-n-Play, выпускаются с тремя типами интерфейсных разъемов: mini-USB; USB-B; USB-A. Существуют конвертеры, переходники и адаптеры: USB-Ethernet, USB-Bluetooth, USB-Serial и много других. С поддержкой программы USB Link

и особого кабеля можно через USB-порты подключать компьютеры. С поддержкой эталона USB On-The-Go устройства могут обмениваться информацией между собой без участия компьютера. Эталон Wireless USB обеспечивает возможность беспроводной передачи данных со скоростью 500 Мбит/с на расстояние до 100 м и беспроводного подключения других устройств на том же расстоянии.

В изготовленном действующем образце МФА ПКЭ (см. графическую аннотацию) подключение к компьютеру осуществляется через интерфейс USB 2.0. Однако более рационально осуществлять подключение к компьютеру через интерфейсы USB 2.0 и IEEE 1394 FireWire 800. В настоящее время это особенно продуктивный и универсальный метод [4, 8, 11, 14, 27].

Устройство состоит из преобразователя напряжения и выпрямителя. Преобразователь сначала выпрямляет измеряемые переменные напряжения: линейные с амплитудой 220В и фазовые 380В. Затем выпрямленные напряжения понижаются до уровня, допустимого для входа в АЦП.

Все линейные, фазовые и токовые напряжения подаются на блок коммутации (мультиплексор). Последний поочередно подключает их к входу АЦП для проведения измерений амплитудных значений линейных напряжений U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} , а также амплитудных значений фазовых напряжений U_A , U_B , U_C и номинальных значений токовых напряжений I_A , I_B , I_C , I_N .

Работой блока коммутации микроконтроллер управляет по четырехпроводной шине управления со скоростью переключения каналов измерения примерно 5 мкс. Микроконтроллер отправляет данные по шине I²C по протоколу MSSP. Устройство может настраиваться на разное время измерения: в пределах от 10 мин до 744 ч. При этом автоматически вычисляется интервал между двумя измерениями.

На основе описанных выше технических решений, изготовлен действующий образец многофункционального анализатора ПКЭ. На рисунке 2 представлена печатная плата с размещенными на ней электрорадиоэлементами.

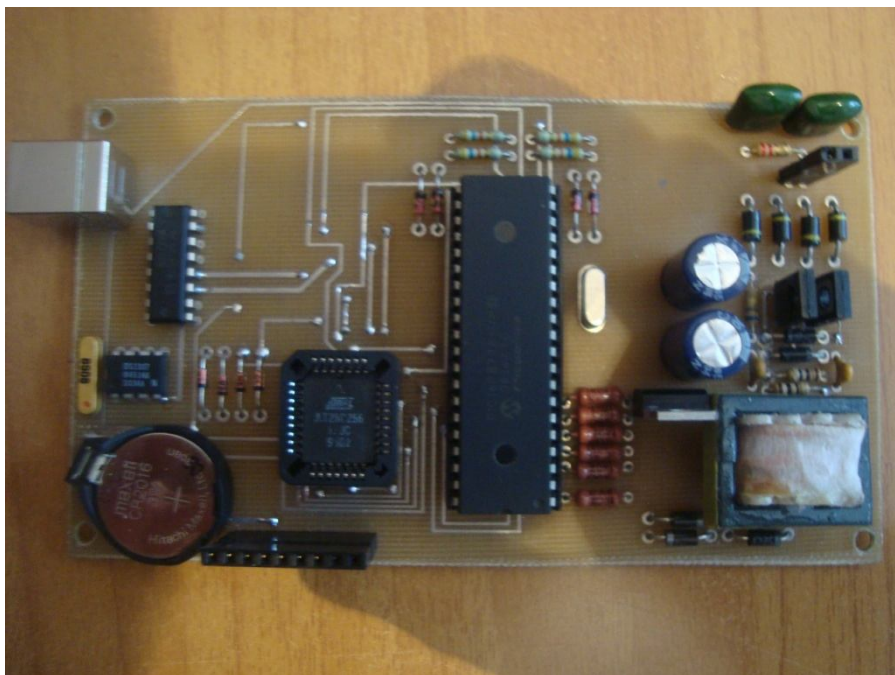


Рис.2. Печатная плата МФА ПКЭ

Для управления МФА ПКЭ, а также для сбора и анализа данных создан программный комплекс «Анализатор ПКЭ». Комплекс состоит из программы, разработанной на платформе *Visual Studio 2005* и СУБД (Системы Управления Базой Данных), разработанной на платформе *Microsoft SQL Server 2000*. Ниже перечислены основные функции Программного Комплекса.

1. **Регистрация ПКЭ** – сохранение в БД идентификационных номеров приборов (рис. 3).
2. **Регистрация абонентов** – сохранение в БД адресов объектов измерения и привязку объектов к распределительным энергокомпаниям, районным электрическим сетям, подстанциям и трансформаторным подстанциям (рис. 4).
3. **Регистрация измерений** – загрузка параметров и режимов измерений в приборы и сохранение их в БД (идентификационный номер прибора, контролируемый объект, время старта и время окончания измерений; рис. 5).

4. **Скачивание измерений** – скачивание результатов измерений (значения фазных и линейных напряжений и токов, частот) из памяти МФА ПКЕ и сохранение их в БД (рис. 6).

5. **Анализ качества электроэнергии** - анализ и обработка результатов измерений для ПКЭ (рис. 7).

ID измерителя	Номер измерителя	Стадия	Примечание	Дата регистрации
Betta-version-001A	001A	В работе		18.11.2011 11:31
Betta-version-002A	002A	На ремонте	На ремонте в реммаше	18.11.2011 11:31
New 003A	003A	Анулирован	Поломка	18.11.2011 12:49

Рис. 3. Регистрация измерителей

Эл.компании	Эл. станции	Подстанции	Трансформаторы	Тип объекта	Адрес объекта	Примечан
ОАО "СеверЗле...	Аламединская ...	Восточная	№ 7	Объект	Киевская,5	
ОАО "СеверЗле...	Аламединская ...	Восточная	№ 7	Объект	Манаса, 64	
ОАО "СеверЗле...	Аламединская ...	Восточная	№ 7	Фидер	пр.Чуй, 22	
ОАО "СеверЗле...	Аламединская ...	Западная	№ 2	Фидер	мкр.1	
ОАО "СеверЗле...	Аламединская ...	Западная	№ 2	Фидер	мкр.2, д.5	
ОАО "СеверЗле...	Аламединская ...	Западная	№ 2	Объект	мкр.	

Рис. 4. Регистрация абонентов

Дата регистрации	Измеритель	Тип и Адрес объекта	Дата Старта	Время Старта	Интервал
01.11.2011	Betta-version-001A	Фидер, Манаса, 64	01.11.2011	11:31	
01.11.2011	Betta-version-001A	Фидер, Манаса, 64	01.11.2011	11:31	

Рис. 5. Регистрация измерений

Регистрация приборов, загрузка параметров и режимов измерений в приборы, а также скачивание результатов измерений из памяти приборов осуществляется по интерфейсу USB 2.0. Для сохранения идентификационных номеров приборов, адресов абонентов и параметров, результатов измерений в БД созданы необходимые таблицы. После скачивания результатов измерений с приборов, ПК позволяет получать следующие расчетные значения, характеризующие ПКЭ у абонентов: установившееся отклонение напряжения; коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения; коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности; отклонения частоты; коэффициент *n*-ой гармонической составляющей напряжения.

Скачивание измерения

Идентификационный номер (ID)

Номер измерителя

РЭК

РЭС

Подстанции

КТП

Объекты

Дата пуска

Время пуска

Дата остановки

Время остановки

Рис. 6. Интерфейс для скачивания результатов измерений

У фаз | У лин | I фазн | Мощность | f (частота) | ПКЭ | Гармоники | Колебания напряжения

Период (3 с)	Гармоники	KU(n),%	KU, %
1	32	0,65	
1	33	0,62	
1	34	0,61	
1	35	0,59	

23 для 120

Минута	dUya, %	dUyb, %	dUyc, %	dUyab, %	dUybc, %	dUyca
1	1,8	7,5	-0,6	6,1	4,5	0,1

1 для 1

K2U	K0U	delta f, Гц
3,006,16	21,30	0,02040

0 для 0

Рис. 7. Результаты анализа показателей качества электроэнергии

Кроме того ПК позволяет просматривать результаты измерений в графическом виде (рис. 8), что важно не только для аналитических целей, но и учебных, учебно-исследовательских.

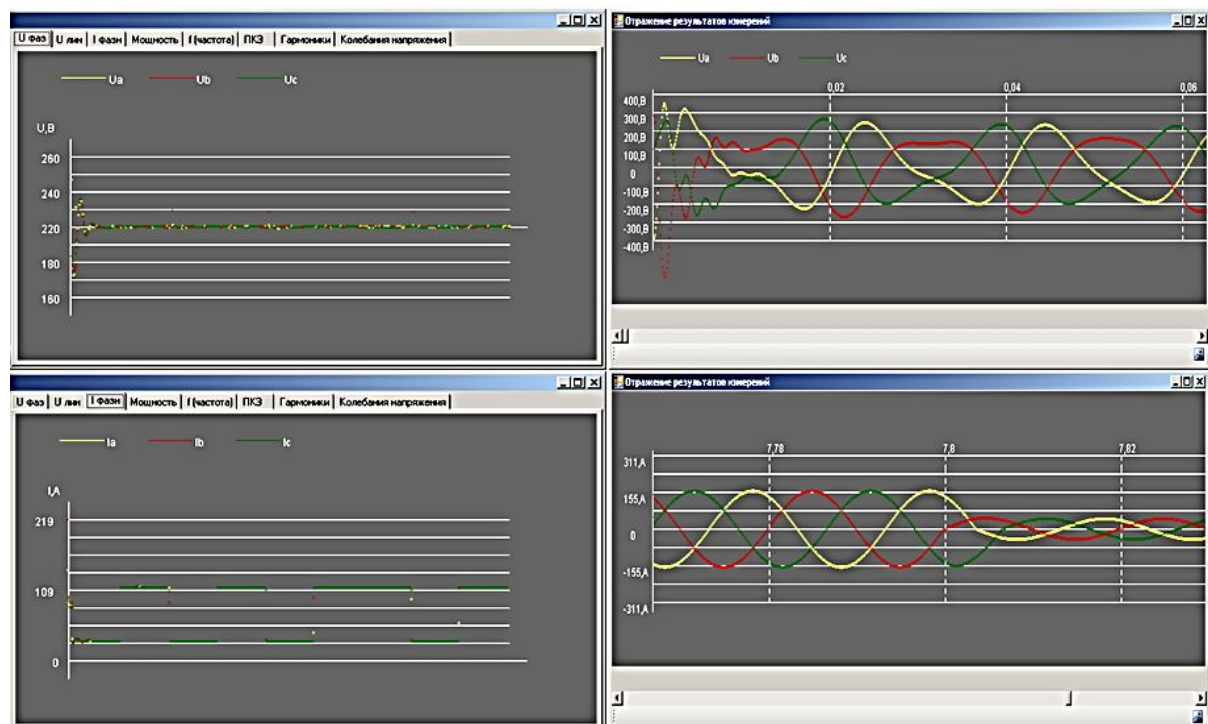


Рис. 8. Графическое отображение результатов измерений

Все расчеты, как уже говорилось, проводятся в соответствии с алгоритмом, приведенным в ГОСТ 32144-2013.

Описываемый ПК обеспечивает различные права доступа к функциям программы и к информации в БД. Идентификация пользователя происходит во время запуска программы по логину и паролю пользователя. Операции с программой, доступность которых назначается индивидуально для каждого пользователя: ввод данных в справочники адресов абонентов; регистрация ПКЭ; загрузка параметров и режимов измерений в приборы; скачивание результатов измерений из памяти приборов; анализ измерений.

Как уже отмечалось, с использованием описанных выше технических решений был изготовлен действующий образец МФА ПКЭ – его общий вид представлен в графической аннотации к статье.

Выводы:

1. Проведен анализ математических методов, которые целесообразно использовать для анализа ПКЭ при контроле АСЭ.

2. Выполнен сравнительный анализ электротехнических характеристик и функциональных возможностей наиболее распространенного в России и Кыргызской Республике оборудования для определения ПКЭ (аналогов предлагаемой разработки). Показано, что у аналогов есть следующие недостатки: значительно более высокая стоимость; они рассчитаны для использования в централизованных системах электроснабжения, а не на АСЭ.

3. Изготовлен действующий образец МФА ПКЭ. Полученные результаты тестовых измерений доказывают, что разработанный и реализованный рекуррентный алгоритм фильтрации измерительных данных не только существенно повышает точность измерений, но и значительно сокращает время измерений ПКЭ.

4. Созданный анализатор использовался также в учебном процессе на кафедрах «Электроснабжение» КГТУ им. И. Раззакова и «Электрификация сельского хозяйства и безопасность жизнедеятельности» КНАУ им. К.И. Скрябина в рамках подготовки дипломных проектов студентов.

Список литературы

1. Артюшенко В. М. Построение фильтра Калмана-Бьюси для задачи анализа качества электроэнергии / В. М. Артюшенко, Е. К. Сатаров // Проблемы развития электротехнических комплексов и информационных систем : материалы Межвузовской научно-практической конференции. – Москва : МГУС, 2005. – С. 48–50.

2. Асиев А. Т. Оценка качества электрической энергии в распределительных сетях 0,38 кВ г. Бишкек / А. Т. Асиев // Известия КГТУ. – 2016. – № 4. – С. 63–69.

3. Асиев А. Т. Разработка многофункционального анализатора качества электроэнергии / А. Т. Асиев // Известия КБТУ. – 2011. – № 4 (19).

4. Балашов О. В. Качество или цена. Нужны ли качественные средства измерений энергокомпаниям? / О. В. Балашов // Энергетика и промышленность России. – 2005. – № 5. – С. 9–14.

5. Браммер К. Фильтр Калмана-Бьюси: детерминированные наблюдения и стохастическая фильтрация / К. Браммер, Г. Зиффлинг. – Москва : Наука, 1982. – 199 с.
6. Брумштейн Ю. М. Анализ некоторых моделей группового управления рисками / Ю. М. Брумштейн, О. Н. Выборнова // Прикаспийский журнал. Управление и высокие технологии. – 2015. № 4. – С. 64–72.
7. Брумштейн Ю. М. Энергопотребление и энергоэффективность деятельности медицинских учреждений: направления анализа и возможности управления / Ю. М. Брумштейн, Д. А. Захаров, В. М. Сокольский // Прикаспийский журнал. Управление и высокие технологии. – 2015. – № 3. – С. 40–57.
8. Горюнов И. Т. Основные принципы построения системы контроля, анализа и управления качеством электроэнергии / И. Т. Горюнов, В. С. Мозгалев, Е. В. Дубинский и другие // Электрические станции. – 1998. – № 12. – С. 2–6.
9. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения // КонсультантПлюс. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=STR;n=17585#0>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
10. Гутников В. С. Фильтрация измерительных сигналов / В. С. Гутников. – Ленинград : Энерго-атомиздат, 1990. – 192 с.
11. Железко Ю. С. Средства измерений для контроля и анализа качества электроэнергии / Ю. С. Железко В. С. Кармашев, К. С. Пономаренко и другие // Электромагнитная совместимость технических средств и биологических объектов (ЭМС–98) : сборник докладов пятой Российской научно-технической конференции. – 1998. – С. 477–483.
12. Калман Р. Е. Новые результаты в линейной фильтрации и теории предсказания / Р. Е. Калман, Р. С. Бьюси // Труды американского общества инженеров-механиков. Техническая механика. Серия Д. – 1961. – Т. 83, № 1. – С. 123–141.
13. Лысенко А. Преобразователи интерфейса USB на микросхемах FT8U232AM, FT8U245AM / А. Лысенко, Р. Назмутджов, И. Малыгин // Радио. – 2002. – № 6. – С. 20–21.
14. Мозгалев В. С. Оценка эффективности контроля качества электроэнергии в ЭЭС / В. С. Мозгалев, В. А. Богданов, И. И. Карташев и другие // Электрические станции. – 1999. – № 1. – С. 18–23.
15. Плахотнюк А. Н. Анализ информационно-измерительных моделей контроля показателей качества электроэнергии по несинусоидальности / А. Н. Плахотнюк, Ю. А. Дудник // Труды КубГТУ. – 2002. – Т. XIV, вып. 3. – С. 139–142.
16. Плахотнюк А. Н. Контроль качества электроэнергии и способы его осуществления в современных условиях / А. Н. Плахотнюк, Ю. А. Дудник // Энергосбережение и водоподготовка. – 2009. – № 5 (61). – С. 66–68.
17. Плахотнюк А. Н. О мере и оценках качества электроэнергии трехфазной системы / А. Н. Плахотнюк, Ю. А. Дудник // Электромеханические преобразователи энергии (ЭМПЭ–03) : сборник тезисов и докладов Межвузовской научно-методической конференции. – Краснодар : КВАИ, 2003. – С. 77–80.
18. Плахотнюк А. Н. Оценка и контроль качества электроэнергии при несинусоидальности напряжений и токов по критерию энергетической неуравновешенности / А. Н. Плахотнюк, Ю. А. Дудник // Электромеханические преобразователи энергии (ЭМПЭ–03) : сборник тезисов и докладов Межвузовской научно-методической конференции. – Краснодар : КВАИ, 2003. – С. 68–71.
19. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. – Москва : Энергоиздат, 1989.
20. Правила устройства электроустановок. – Москва : Главгосэнергонадзор России. – 1998. – Изд. 6. – 550 с.
21. Правила эксплуатации электроустановок потребителей. – Москва : Энергоатомиздат, 1999.
22. Рабинович М. А. Цифровая обработка информации для задач оперативного управления в электроэнергетике / М. А. Рабинович. – Москва : НЦ ЭНАС, 2001. – 344 с.
23. Самаров Е. К. Интерполяция функций квадратичными сплайнами и ее применение для диагностики качества электрической энергии / Е. К. Самаров / Наука – сервису : Материалы X Международной научно-практической конференции. – Москва : МГУС, 2005. – С. 38–40.
24. Свешников А. А. Прикладные методы теории случайных функций / А. А. Свешников. – Москва : Наука, 1986. – 463 с.
25. Учаев Д. Э. Анализ и управление рисками, связанными с информационным обеспечением человеко-машинных АСУ технологическими процессами в реальном времени / Д. Э. Учаев, Ю. М. Брумштейн, И. М. Ажмухаев, О. М. Князева, И. А. Дюдинов // Прикаспийский журнал. Управление и высокие технологии. – 2016. – № 2. – С. 82–97.
26. Dranetz Technologies Incorporated, The Dranetz field handbook for Power Quality Analysis. – Edison, New York, 1999.
27. Measurement guide for voltage characteristics, UNIPEDA report 23002 Ren 9531.
28. VMM. Saiz, J. B. Guadalupa. Application of Kalman filtering for continuous real-time tracking of power system harmonics / VMM. Saiz, J. B. Guadalupa // IEEE Proceedings-Generation, Transmission and Distributions. – January 1997. – Vol. 144, № 1. – P. 13–20.

References

1. Artyushenko B. M., Satarov Ye. K. Postroenie filtra Kalmana – Byusi dlya zadachi analiza kachestva elektroenergii [Construction of the Kalman-Busch filter for the task of analyzing the quality of electricity]. *Problemy razvitiya elektrotekhnicheskikh kompleksov i informatsionnykh sistem : materialy Mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Problems of Development of Electrotechnical Complexes and Information Systems. Proceedings of the Interuniversity Scientific and Practical Conference], Moscow, MGUS Publ. House, 2005, pp. 48–50.

2. Asiev A. T. Otsenka kachestva elektricheskoy energii v raspredelitelnykh setyakh 0,38 kV g. Bishkek [Evaluation of the quality of electrical energy in the distribution networks of 0.38 kV in Bishkek]. *Izvestiya KGTU* [Proceedings of the KSTU], 2016, no. 40, pp. 63–69.
3. Asiev A. T. Razrabotka mnogofunktionalnogo analizatora kachestva elektroenergii [Development of a multi-functional power quality analyzer]. *Izvestiya KBTU* [Proceedings of the KBTU], 2011, no. 4 (19).
4. Balashov O. V. Kachestvo ili tsena. Nuzhny li kachestvennye sredstva izmereniy energokompaniyam? [Quality or price. Do you need quality measurement tools for power companies?]. *Energetika i promyshlennost Rossii* [Power and Industry of Russia], 2005, no. 5, pp. 9–14.
5. Brammer K., Ziffing G. Filtr Kalmana – Byusi: determinirovannye nablyudeniya i stokhasticheskaya filtratsiya [The Kalman – Bucy filter: deterministic observations and stochastic filtering], Moscow, Nauka Publ., 1982. 199 p.
6. Brumshteyn Yu. M., Vybornova O. N. Analiz nekotorykh modeley gruppovogo upravleniya riskami [Analysis of some models of group risk management]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravleniye i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2015, no. 4, pp. 64–72.
7. Brumshteyn Yu. M., Zakharov D. A., Sokolskiy V. M. Energopotrebleniye i energoeffektivnost deyatelnosti meditsinskikh uchrezhdeniy: napravleniya analiza i vozmozhnosti upravleniya [Energy consumption and energy efficiency of medical institutions: directions of analysis and management capabilities]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal. Control and High Technologies], 2015, no. 3, pp. 40–57.
8. Goryunov I. T., Mozgalev B. C., Dubinskiy Ye. B. Osnovnye printsipy postroeniya sistemy kontrolya, analiza i upravleniya kachestvom elektroenergii [The basic principles of building a system for monitoring, analyzing and managing the quality of electricity]. *Elektricheskie stantsii* [Electric Stations], 1998, no. 12, pp. 2–6.
9. GOST 32144-2013. Electrical energy. Compatibility of technical means is electromagnetic. Norms of quality of electric energy in general-purpose power supply systems. *KonsultantPlyus* [ConsultantPlus]. Available at: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=STR;n=17585#0>.
10. Gutnikov V. C. Filtratsiya izmeritelnykh signalov. [Filtering of measuring signals], Leningrad, Energo-atomizdat Publ., 1990. 192 p.
11. Zhelezko Yu. S., Karmashev B. S., Ponomarenko K. S., et al. Sredstva izmereniy dlya kontrolya i analiza kachestva elektroenergii [Means of measurement for monitoring and analysis of electricity quality]. *Elektromagnitnaya sovmestimost tekhnicheskikh sredstv i biologicheskikh obektov (EMS-98) : sbornik dokladov pyatoy Rossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Electromagnetic Compatibility of Technical Means and Biological Objects (EMC-98). Proceedings of the Fifth Russian Scientific and Technical Conference], 1998, pp. 477–483.
12. Kalman R. Ye., Byusi R. S. Novye rezultaty v lineynoy filtratsii i teorii predskazaniya [New results in linear filtration and prediction theory]. *Trudy amerikanskogo obshchestva inzhenerov-mekhanikov. Tekhnicheskaya mekhanika. Seriya D.* [Proceedings of the American Society of Mechanical Engineers. Technical Mechanics. Series D], 1961, vol. 83, no. 1, pp. 123–141.
13. Lysenko A., Nazmutdzhov P., Malygin I. Preobrazovateli interfeysa USB na mikroskhemakh FT8U232AM, FT8U245AM [USB interface converters on FT8U232AM, FT8U245AM chips]. *Radio*, 2002, no. 6, pp. 20–21.
14. Mozgalev V. S., Bogdanov V. A., Kartashev I. I., et al. Otsenka effektivnosti kontrolya kachestva elektroenergii v EES [Evaluation of the effectiveness of electricity quality control in EPS]. *Elektricheskie stantsii* [Electric Stations], 1999, no. 1, pp. 18–23.
15. Plakhotnyuk A. N., Dudnik Yu. A. Analiz informatsionno-izmeritelnykh modeley kontrolya pokazateley kachestva elektroenergii po nesinusoidalnosti. [Analysis of information and measurement models for monitoring power quality by non-sinusoidality]. *Trudy KubGTU* [Proceedings of the KubSTU], 2002, vol. XIV, issue 3, pp. 139–142.
16. Plakhotnyuk A. N., Dudnik Yu. A. Kontrol kachestva elektroenergii i sposoby yego osushchestvleniya v sovremennykh usloviyakh [Quality control of electricity and ways of its implementation in modern conditions]. *Energoberezheniye i vodopodgotovka* [Energy Saving and Water Treatment], 2009, no. 5 (61), pp. 66–68.
17. Plakhotnyuk A. N., Dudnik Yu. A. O mere i otsenkakh kachestva elektroenergii trekhfaznoy sistemy [On the measure and assessments of the quality of the electrical energy of the three-phase system]. *Elektromekhanicheskie preobrazovateli energii (EMPE-03) : sbornik tezisev i dokladov Mezhvuzovskoy nauchno-metodicheskoy konferentsii* [Electromechanical Energy Converters (EMPE-03). Proceedings of the Interuniversity scientific and Methodical Conference], Krasnodar, KVAI Publ. House, 2003, pp. 77–80.
18. Plakhotnyuk A. N., Dudnik Yu. A. Otsenka i kontrol kachestva elektroenergii pri nesinusoidalnosti napryazheniy i tokov po kriteriyu energeticheskoy neuravnoveshennosti [Evaluation and quality control of electricity for nonsinusoidal voltages and currents by the criterion of energy imbalance]. *Elektromekhanicheskie preobrazovateli energii (EMPE-03) : sbornik tezisev i dokladov Mezhvuzovskoy nauchno-metodicheskoy konferentsii* [Electromechanical Energy Converters (EMPE-03). Proceedings of the Interuniversity scientific and Methodical Conference], Krasnodar, KVAI Publ. House, 2003, pp. 68–71.
19. *Pravila tekhnicheskoy ekspluatatsii elektricheskikh stantsiy i setey* [Rules of technical operation of power plants and networks.], Moscow, Energoizdat Publ., 1989.
20. *Pravila ustroystva elektroustanovok* [Rules for the installation of electrical installations. Edition 6], Moscow, Glavgosenergonadzor of Russia Publ. House, 1998, issue 6. 550 p.
21. *Pravila ekspluatatsii elektroustanovok potrebiteley* [Rules of operation of electrical installations of consumers], Moscow, Energoatomizdat Publ., 1999.
22. Rabinovich M. A. *Tsifrovaya obrabotka informatsii dlya zadach operativnogo upravleniya v elektroenergetike* [Digital processing of information for the tasks of operational management in the electric power industry], Moscow, NTs ENAS Publ., 2001. 344 p.

23. Samarov Ye. K. Interpolyatsiya funktsiy kvadraticnymi splaynami i ee primeneniye dlya diagnostiki kachestva elektricheskoy energii [Interpolation of functions by quadratic splines and its application for the diagnostics of the quality of electrical energy]. *Nauka–servisu : materialy X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Science to Service. Proceedings of the X International Scientific and Practical Conferenc], Moscow, MGUS Publ. House, 2005, pp. 38–40.

24. Sveshnikov A. A. *Prikladnye metody teorii sluchaynykh funktsiy* [Applied methods of the theory of random functions], Moscow, Nauka Publ., 1986. 463 p.

25. Uchaev D. E., Brumshteyn Yu. M., Azhmukhadov I. M., Knyazeva O. M., Dyudikov I. A. Analiz i upravlenie riskami, svyazannymi s informatsionnym obespecheniem cheloveko-mashinnykh ASU tekhnologicheskimi protsessami v realnom vremeni [Analysis and management of risks associated with the information support of man-machine process control systems in real time]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravleniye i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2016, no. 2, pp. 82–97.

26. *Dranetz Technologies Incorporated, The Dranetz field handbook for Power Quality Analysis*, Edison, New York, 1999.

27. *Measurement guide for voltage characteristics*, UNIPEDA report 23002 Ren 9531.

28. VMM. Saiz, J.V. Guadalupe. Application of Kalman filtering for continuous real-time tracking of power system harmonics. *IEEE Proceed-ings-Generation, Transmission and Distributions*, January 1997, vol. 144, no. 1, pp. 13–20.

УДК 004.94+697+658.5.01

УМНЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ: АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДСТВ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ И ПАРАМЕТРАМИ МИКРОКЛИМАТА

Статья поступила в редакцию 01.05.2017, в окончательном варианте – 20.06.2017.

Рыбаков Алексей Владимирович, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,

кандидат технических наук, ORCID <http://orcid.org/0000-0003-1192-0913>,
https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=705151, e-mail: rybakov_alex@mail.ru

Степанищева Елизавета Сергеевна, Астраханский государственный университет, 414056, Российская Федерация, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а,

магистрант, https://elibrary.ru/author_profile.asp?authorid=929941, ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3292-5713>, e-mail: lisastep@mail.ru

Для зданий гражданского назначения рассмотрена номенклатура видов помещений, их размеры, подходы к ограничению доступа в них при проектировании и эксплуатации, требования к параметрам микроклимата (ПМ) в помещениях. Проанализированы направления развития информационно-телекоммуникационных технологий и их влияние на формирование концепций «умная квартира»; «умный дом»; «интеллектуальное здание». Обоснована целесообразность использования концепции «умное помещение» (УП). Показаны типичные взаимосвязи УП друг с другом, с «умными домами» (интеллектуальными зданиями) в отношении потоков вещества, энергии, информации. Для разных видов помещений исследованы цели управления условиями доступа и ПМ, включая следующие направления: распознавание (идентификация) людей, желающих попасть в помещения; энергосбережение; обеспечение комфортности пребывания в помещениях людей, включая особенности формирования ПМ для детей и больных граждан; поддержка необходимых санитарно-гигиенических характеристик помещений, в т. ч. лечебного назначения, а также специально предназначенных для пребывания детей; соблюдение необходимых условий работы технологического оборудования, компьютерной и иной офисной техники; сохранение «тайны личной жизни», персональных данных граждан и др. В связи с необходимостью решения этих задач рассмотрены такие вопросы: методы и технические средства систем контроля и управления доступом (СКУД) в помещения; достоинства и недостатки систем автоматического и «ручного» управления ПМ помещений; информационное обеспечение процессов управления, включая мониторинг параметров помещений и внешней среды, получение прогнозной информации из Интернета для использования при про-активном управлении и пр.; комплексирование различных подсистем управления в рамках реализации концепций УП для помещений разных видов; особенности построения и использования аппаратно-программных комплексов для решения отдельных задач управления; некоторые возможности использования робототехнических систем в УП.

Ключевые слова: классификация помещений, умные помещения, «интеллектуальные здания», проектирование, использование, управление доступом, распознавание лиц, параметры микроклимата, цели управления, ограничения по управлению, информационное обеспечение управления, автоматизация управления, активное управление, про-активное управление, интегрирование подсистем управления