

УДК 621.317

DOI: [10.26102/2310-6018/2023.42.3.008](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.42.3.008)

Идентификация аварийных и предаварийных ситуаций при эксплуатации информационно-измерительной системы диагностики информативных параметров электрических цепей

Р.Т. Сайфуллин, В.С. Бычек✉

*Самарский государственный технический университет, Самара,
Российская Федерация*

Резюме. В статье рассматриваются вопросы применения современных, с улучшенными метрологическими характеристиками составных частей информационно-измерительной системы для определения информативных параметров электрических цепей. Приведены результаты разработки и построения информационно-измерительной системы, позволяющей измерять все многообразие электрических параметров за временной промежуток, меньше периода входного сигнала. В основу работы системы положен метод, использующий определение информативных параметров по мгновенным значениям напряжения и тока входных и дополнительных сигналов, одновременно измеренных один раз за период. Представлены структурные, функциональные схемы составных компонентов системы, структуры командных кадров, ответных кадров и кадров данных, выбор электронной компонентной базы. Рассмотренную информационно-измерительную систему можно использовать в системах управления технологическими процессами для контроля и испытаний электрических цепей и приборов. Разработана электрическая схема, позволяющая реализовать логику работы и протоколы обмена в целях взаимодействия составных частей информационно-измерительной системы, в том числе, через интерфейс передачи данных Serial Peripheral Interface. Оценена погрешность измерения, рассчитанная на основе отклонения входного сигнала от гармонической модели с помощью оценки погрешности результатов измерения параметра как функции с приближенно заданными аргументами с погрешностью, соотносящейся с отклонением входного сигнала от модели.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, универсальные измерительные преобразователи, дополнительные сигналы, мгновенные значения, фазосдвигающие блоки, последовательный периферийный интерфейс, синхронный формат передачи данных.

Для цитирования: Сайфуллин Р.Т., Бычек В.С. Идентификация аварийных и предаварийных ситуаций при эксплуатации информационно-измерительной системы диагностики информативных параметров электрических цепей. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2023;11(3). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1390> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.42.3.008

Identification of accident and pre-accident cases during the operation of the data-measuring system for diagnosing informative parameters of electrical circuits

R.T. Saifullin, V.S. Bychek✉

Samara State Technical University, Samara, the Russian Federation

Abstract. The article considers the issues of using new modern data-measuring system components with improved metrological parameters for diagnosing electrical circuit informative parameters. Development and design results of the data-measuring system that provides an ability to measure the

entire set of electric power parameters within a time frame shorter than the input signal period are given. The system is based on the method of informative parameters definition by instantaneous voltage and current values of input and additional signals simultaneously measured once per period. Structural and functional diagrams of system components, the structure of command frames, answer frames and data frames, the choice of electronic component base are presented. The considered data-measuring system can be used in technological process management systems for controlling and testing electrical circuits and appliances. An electrical circuit has been developed that makes it possible to implement the operation logic and exchange protocols for facilitating data-measuring system part interaction which includes the use of Serial Peripheral Interface for data transfer. A measurement error estimation due to the input signal difference from the harmonic model is calculated with the method of estimating the error of the parameter measurement results as a function with approximately given arguments and with an error corresponding to the input signal difference from the model.

Keywords: data-measuring system, all-purpose measuring converters, additional values, instantaneous values, phase-shifting units, serial peripheral interface, synchronous data transfer format.

For citation: Saifullin R.T., Bychek V.S. Identification of accident and pre-accident cases during the operation of the data-measuring system for diagnosing informative parameters of electrical circuits. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2023;11(3). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1390> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.42.3.008 (In Russ.).

Введение

Большое количество измеряемых и контролируемых информативных параметров электрических цепей в реальном масштабе времени требует создания информационно-измерительной системы (ИИС), качественно решающей сложную задачу непрерывного измерения и постоянного контроля основных информативных параметров по множеству каналов в полном объеме в сочетании с высокой точностью, быстродействием и отказоустойчивостью [1]. Первоочередные функции, выполняемые ИИС, состоят из автоматического определения выхода измеряемых параметров из допустимого диапазона значений, вывода сообщений и создания отчетов об аварийной и предаварийной работе за весь интервал наблюдения, умного и автоматического определения режимов функционирования и характеристик ИИС, передачи сигнала для оперативного оповещения о возникающих неполадках, автоматической обработки поступающих на автоматизированное рабочее место сигналов о неполадках и предупредительных сигналов [2].

На верхнем уровне ИИС располагается система управления, решающая задачи контроля, координации и управления работой элементов, входящих в нижний уровень.

На нижнем уровне находятся измерительные преобразователи, осуществляющие первичную обработку измерительной информации и последующую выдачу ее в цифровом виде.

Материалы и методы

Ученые кафедры «Информационно-измерительная техника» Самарского государственного технического университета [3-7] разработали методику определения информативных параметров периодических сигналов по трем мгновенным значениям, измеряемым одновременно в случайно выбранный момент времени, представленную на Рисунке 1, при этом вторые мгновенные значения напряжения и тока сдвигаются относительно первых на угол $\Delta\alpha$, а третьи мгновенные значения сдвигаются относительно первых уже на угол $2\Delta\alpha$. Методика дала возможность убрать влияние частотной погрешности фазосдвигающих блоков и сильно сокращает время измерения параметров, так как на мгновенные значения не влияют длительность периода входного

сигнала, и они не связаны со временем начала измерения и углом сдвига фаз между напряжением и током.

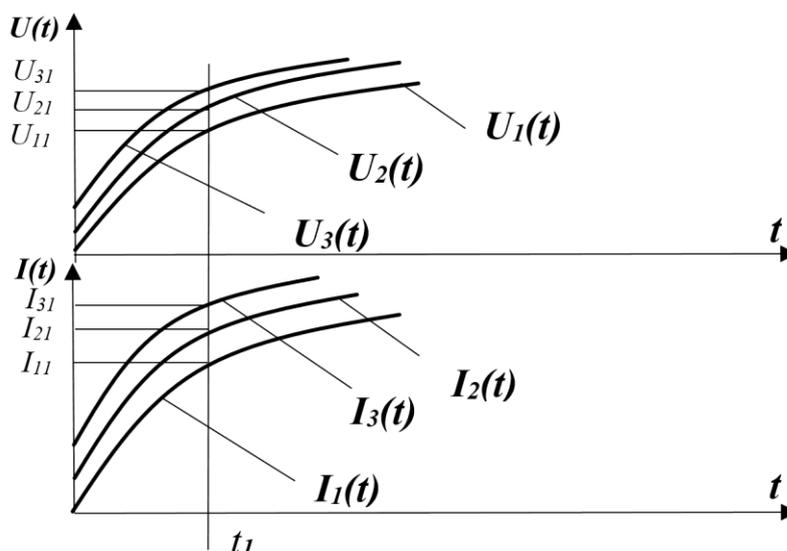


Рисунок 1 – Временные диаграммы, демонстрирующие методику определения по трем мгновенным значениям напряжения и силы тока, сдвинутым в пространстве: U_{11}, U_{21}, U_{31} – значения $U_1(t), U_2(t), U_3(t)$, измеренные в момент времени t_1 ; I_{11}, I_{21}, I_{31} – значения $I_1(t), I_2(t), I_3(t)$, измеренные в момент времени t_1

Figure 1 – Time diagrams illustrating a measuring method with three instantaneous voltage and current values shifted in time: U_{11}, U_{21}, U_{31} – values of $U_1(t), U_2(t), U_3(t)$ measured at time t_1 ; I_{11}, I_{21}, I_{31} – values of $I_1(t), I_2(t), I_3(t)$ measured at time t_1

В случайно выбранный момент времени t_1 мгновенные значения контролируемых сигналов будут равны:

$$\begin{aligned} U_{11} &= U_m \sin \alpha_1 \\ U_{21} &= U_m \sin(\alpha_1 + \Delta\alpha) \\ U_{31} &= U_m \sin(\alpha_1 + 2\Delta\alpha) \\ I_{11} &= I_m \sin \alpha_2 \\ I_{21} &= I_m \sin(\alpha_2 + \Delta\alpha) \\ I_{31} &= I_m \sin(\alpha_2 + 2\Delta\alpha), \end{aligned}$$

где α_1, α_2 – начальные фазы напряжения и тока в момент времени t_1 ,

$\Delta\alpha$ – угол сдвига,

U_m, I_m – амплитуды сигналов напряжения и тока.

Преобразование шести мгновенных значений сигналов в коды осуществляется в соответствии с [7]:

$$\begin{aligned} N_{1U} &= K_1 K_7 U_{11}; N_{2U} = K_2 K_8 U_{21}; N_{3U} = K_3 K_9 U_{31}; \\ N_{1I} &= K_4 K_{10} I_{11}; N_{2I} = K_5 K_{11} I_{21}; N_{3I} = K_6 K_{12} I_{31}, \end{aligned}$$

где $K_1 - K_3$ – коэффициенты преобразования ППН1 – ППН3 соответственно;

$K_4 - K_6$ – коэффициенты преобразования ППТ1 – ППТ3 соответственно.

$K_7 - K_{12}$ – коэффициенты преобразования АЦП1 – АЦП6 соответственно.

Вычисление среднеквадратических (СКЗ) значений напряжения и тока, активной и реактивной мощности производится с учетом мгновенных значений сигналов согласно выражениям:

$$U_{\text{СКЗ}} = \left| \frac{U_{11}}{\sqrt{2 \left[1 - \left(\frac{2U_{21}^2 - U_{31}U_{11} - U_{11}^2}{2U_{21}\sqrt{U_{21}^2 - U_{31}U_{11}}} \right)^2 \right]}} \right| = \left| \frac{U_m \sin \alpha_1}{\sqrt{2 \sin^2 \alpha_1}} \right| = \frac{U_m}{\sqrt{2}};$$

$$I_{\text{СКЗ}} = \left| \frac{I_{11}}{\sqrt{2 \left[1 - \left(\frac{2I_{21}^2 - I_{31}I_{11} - I_{11}^2}{2I_{21}\sqrt{I_{21}^2 - I_{31}I_{11}}} \right)^2 \right]}} \right| = \left| \frac{I_m \cos \alpha_2}{\sqrt{2 \cos^2 \alpha_2}} \right| = \frac{I_m}{\sqrt{2}}.$$

$$P = \frac{I_m U_m}{2} \cos (\alpha_1 - \alpha_2)$$

$$Q = \frac{I_m U_m}{2} \sin (\alpha_1 - \alpha_2)$$

Если параметры первой гармоники входного сигнала совпадают с параметрами сигнала, соответствующего гармонической модели, то вычисление погрешности, обусловленной отличием реального входного сигнала от гармонической модели, можно выполнить следующим образом:

$$\Delta U_{\text{max}} = \sup \left| U_{1m} \sum_{k=2}^{\infty} h_{Uk} \sin (k\alpha_1 + k\Delta\alpha + \varphi_{1Uk}) \right|,$$

где φ_{1Uk} – угол сдвига k -той гармоники напряжения относительно первой, U_{1m} – амплитудное значение первой гармоники напряжения, $h_{Uk} = \frac{U_{km}}{U_{1m}}$ – коэффициент k -ой гармонической составляющей напряжения, U_{km} – амплитудное значение k -ой гармонической составляющей напряжения.

Результаты

Рассматриваемый метод реализован информационно-измерительной системой (ИИС), представленной на Рисунке 2. Составляющими ИИС являются: универсальные измерительные преобразователи (УИП); блок управления УИП (БУ УИП); контроллер центральный (КЦ), автоматизированное рабочее место оператора (АРМ ОП) с контроллером-концентратором (chipset); сервер.

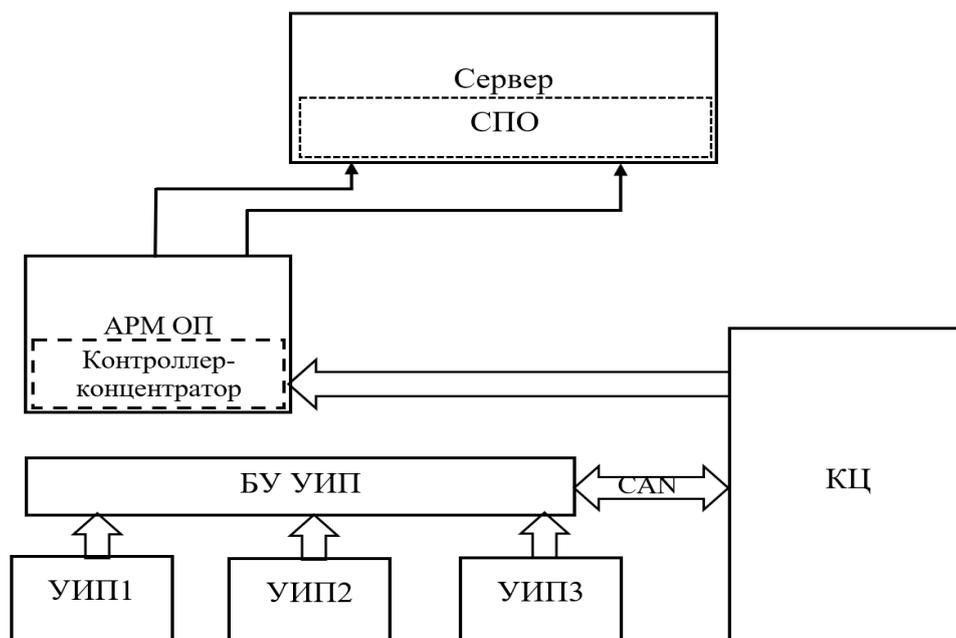


Рисунок 2 – Структурная схема информационно-измерительной системы диагностики информативных параметров электрических цепей: УИП – универсальные измерительные преобразователи; БУ УИП – блок управления УИП, АРМ ОП – автоматизированное рабочее место оператора, СПО – специальное программное обеспечение, КЦ – контроллер центральный
Figure 2 – Structure of data-measuring system for diagnosing electrical circuit informative parameters: АМС (УИП) – all-purpose measuring converters; АМС CU (БУ УИП) – AMC control unit, АOW (АРМ ОП) – automated operator workstation, CS (СПО) – custom software, CCU (КЦ) – central control unit

Составляющими УИП являются: первичные преобразователи напряжения (ППН) и тока (ППТ), выполняющие преобразование входных сигналов в унифицированные сигналы, аналоговые коммутаторы (АК), фазосдвигающие блоки (ФБ), осуществляющие сдвиг сигналов на одинаковый угол $\Delta\alpha$, аналого-цифровые преобразователи (АЦП), контроллер (КНТ) [8].

В случайно выбранный момент времени t_1 по команде с контроллера (КНТ) осуществляется одновременное преобразование шести мгновенных значений сигналов $U_{11}, U_{21}, U_{31}, I_{11}, I_{21}, I_{31}$, действующих на входах АЦП1 – АЦП6, в цифровые коды N_{1U}, N_{2U}, N_{3U} и N_{1I}, N_{2I}, N_{3I} , пропорциональные действующим значениям напряжения и тока, активной и реактивной мощности, которые, затем по витой паре поступают в БУ УИП и записываются в оперативную память МК (Рисунок 5). Схема узлов, составляющих УИП, приведена на Рисунке 3.

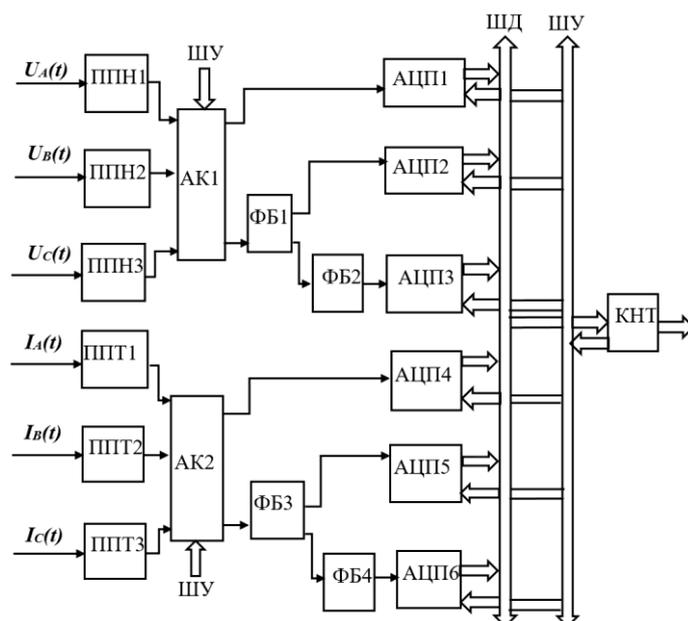


Рисунок 3 – Структурная схема универсального измерительного преобразователя: ППН – первичные преобразователи напряжения, ППТ – первичные преобразователи тока, АК – аналоговые коммутаторы, ФБ – фазосдвигающие блоки, АЦП – аналого-цифровые преобразователи, КНТ – контроллер, ШД – шина данных, ШУ – шина управления

Figure 3 – Structure of all-purpose measuring converter: IVC (ППН) – input voltage converters, ICC (ППТ) – input current converters, AS (АК) – analog switches, PSU (ФБ) – phase-shifting units, ADC (АЦП) – analog-to-digital converters, MCU (КНТ) – microcontroller unit, DB (ШД) – data bus, CB (ШУ) – control bus

БУ УИП проводит циклический опрос всех УИП. КЦ взаимодействует с БУ УИП по шине CAN, формирует кадр оцифровки времени с использованием автономного таймера, выдает командные кадры, принимает, накапливает и сохраняет ответную информацию в энергонезависимой памяти для выдачи на АРМ ОП. С АРМ ОП информация отсылается на сервер по основному и резервному каналам передачи данных, осуществляющий прием и регистрацию результатов измерения на экране монитора.

Структура ИИС является логичной и понятной.

Взаимодействие КЦ и БУ УИП происходит по интерфейсу SPI с применением протокола последовательного синхронного стандарта передачи данных. БУ УИП производит информационный обмен по шине CAN2.0B с идентификатором 29 бит, без режима удаленного запроса и оперативно реагирует на изменение параметров измеряемых сигналов или на их отсутствие, а также автоматически различает сбои и отказы с возможностью схемного отключения отказавших модулей, выдает ответную информацию на АРМ ОП.

Блок управления УИП (БУ УИП) имеет три канала управления (канал 1 осуществляет управление УИП1, канал 2 – УИП2, канал 3 – УИП3). Обмен информацией КЦ с БУ УИП по каналам 2 и 3 производится аналогично каналу 1. БУ УИП формирует и выдает в КЦ по каналу CAN полный поток информации, в том числе: о приеме команды «Установить связь», блокировании работы неисправного УИП, времени выдачи аварийных сигналов, контроле напряжения питания БУ УИП. Обмен информацией с КЦ осуществляется по основному и резервному каналу CAN. Основной канал CAN выполнен на трех микросхемах: приемопередатчик (1), микросхема оптронной гальванической развязки (2), CAN-контроллер с SPI интерфейсом (3), резервный – из

идентичных микросхем (4), (5), (6). Структурная схема подключения БУ УИП к шине CAN приведена на Рисунке 4.

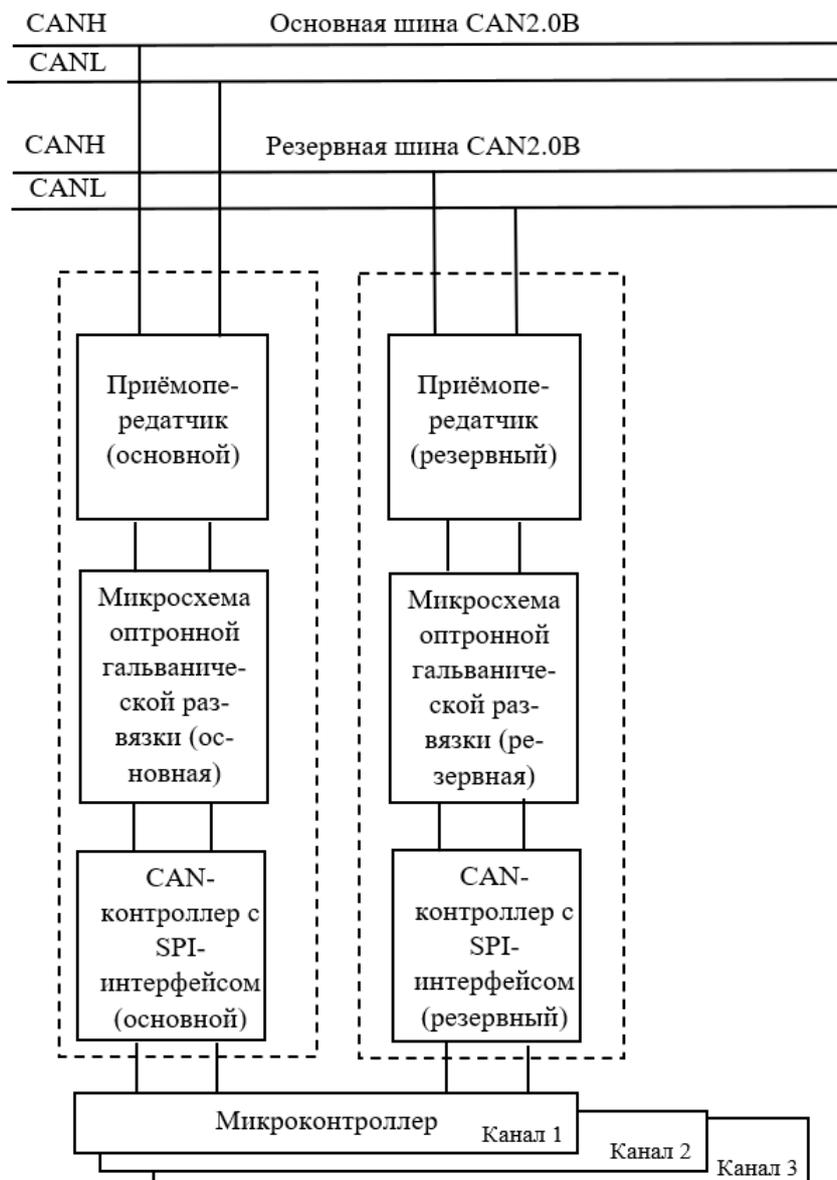


Рисунок 4 – Структурная схема подключения БУ УИП к шине CAN: УИП – универсальный измерительный преобразователь

Figure 4 – AMC control unit connection to CAN bus: AMC (УИП) – all-purpose measuring converter

Основным обработчиком информационных потоков и событий является микроконтроллер (МК). МК (7) работает с внешней памятью программ (ПЗУ) (8) через 8-разрядные шины P0 и P2. Сигналы программирования *MOSI*, *MISO*, *SCK* через резистивную матрицу поступают на входы МК (7). Функциональная схема блока управления УИП приведена на Рисунке 5.

После подачи напряжения питания БУ УИП формирует импульс сброса *RST* (*Reset*), который обеспечивает запуск МК (7) и контроллеров шины (3), (6), а также закрывает выходные каскады платы. После снятия сигнала сброса *RST* МК (7) проводит инициализацию контроллеров (3), (6).

Если сигнал с УИП не появляется (в случае его неисправности, пробоя, обрыва цепи) МК (7) записывает через 8-разрядную шину P1 в регистр (9) биты AS1, AS2, AS3, которые включают аварийный таймер (10). Аварийный таймер (10), выполненный из счетчиков, генератора и логических микросхем, отсчитывает временной интервал, после которого МК (7) формирует кадр ответной информации и передает его в КЦ по шине CAN через микросхемы (1), (2), (3) (основная шина CAN) или через микросхемы (4), (5), (6) (резервная шина CAN). В этом случае работа неисправного УИП блокируется электрически, на выходе аварийного таймера (10) устанавливается «логический 0».

На входе модуля питания (11) БУ УИП стоит помехозащитная цепочка, выполненная на конденсаторах и дросселе. На выходе модуля питания (11) стоят нагрузочные резисторы, обеспечивающие минимальную нагрузку модуля питания (11). Резисторы и конденсаторы в составе БУ УИП образуют помехозащитные фильтры.

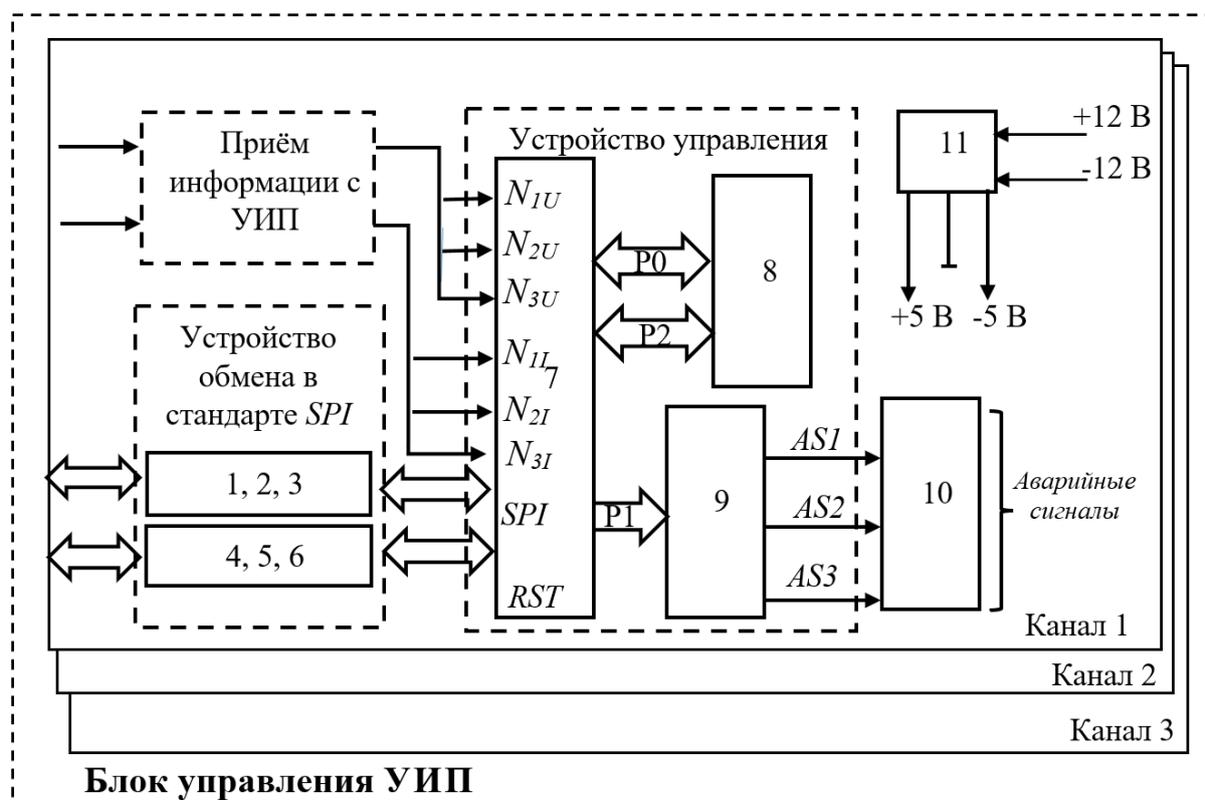


Рисунок 5 – Функциональная схема блока управления УИП: 1, 4 – приемопередатчик, 2, 5 – микросхема оптронной гальванической развязки, 3, 6 – CAN-контроллер с SPI-интерфейсом, 7 – микроконтроллер, 8 – постоянное запоминающее устройство, 9 – регистр, 10 – аварийный таймер, 11 – модуль питания

Figure 5 – AMC control unit functional diagram: 1, 4 – transceiver, 2, 5 – galvanic isolation chip, 3, 6 – CAN bus controller with SPI interface, 7 – microcontroller unit, 8 – read-only memory, 9 – register, 10 – watchdog timer, 11 – power unit

На основе получаемых сигналов N_{1U} , N_{2U} , N_{3U} и N_{1I} , N_{2I} , N_{3I} МК (7) производит вычисление значений напряжения и тока в цепи для определения любой аварийной и / или предаварийной ситуации. В результате МК (7) вырабатывает группы сигналов: ОТЛН1, ОТЛН2, ОТЛН3; ОТЛТ1, ОТЛТ2, ОТЛТ3, которые передаются в составе ответной информации в КЦ. С их помощью можно сделать вывод о причине неисправности. Исходные данные для кадра данных БУ УИП приведены в Таблице 1.

Передача информации осуществляется по 8 байт в составе кадров данных (КД), следующих друг за другом, от БУ УИП в ОЗУ КЦ без ожидания окончания передачи за счет интервала между кадрами данных. Состав исходных данных идентичен для БУ УИП 1, БУ УИП 2, БУ УИП 3.

Таблица 1 – Исходные данные для кадра данных БУ УИП
Table 1 – AMC control unit data frame structure

Параметр	Обозначение	Значение
Номер УИП	УИП	от 1 до 3
Канал	К	от 1 до 3
Питание	Пит	от 4 до 6 В
Сообщение	С	00 – штатная работа
		01 – предаварийная работа
		10 – аварийная работа
		11 – обрыв
Время выдачи сообщения	Т	от 0000h до FFFFh (от 0 до 65535 с)
Отличия по напряжению в фазе 1	ОТЛН1	00 – нет отличий 01 – есть отличия
Отличия по напряжению в фазе 2	ОТЛН2	00 – нет отличий 01 – есть отличия
Отличия по напряжению в фазе 3	ОТЛН3	00 – нет отличий 01 – есть отличия
Отличия по току в фазе 1	ОТЛТ1	00 – нет отличий 01 – есть отличия
Отличия по току в фазе 2	ОТЛТ2	00 – нет отличий 01 – есть отличия
Отличия по току в фазе 3	ОТЛТ3	00 – нет отличий 01 – есть отличия
Блокировка УИП	Блок	0 – нет блокировки 1 – есть блокировка
Тест ПЗУ	КС	0 – КС сошлась 1 – КС не сошлась

Кадры данных (КД) каждого канала БУ УИП выдаются с разными индексами для обеспечения идентификации меток их приема в КЦ. Для приема КД из БУ УИП в КЦ выделена зона оперативной памяти (ОЗУ). Каждый КД предваряется меткой 8 байт с кодом времени поступления данных и передается, начиная с младшего бита. Структура записи в кадр данных приведена в Таблице 2.

Таблица 2 – Кадр данных
Table 2 – Data frame

7	6	5	4	3	2	1	0	разряды
УИП						-		0 байт
7	6	5	4	3	2	1	0	разряды
К		Пит				-		1 байт
7	6	5	4	3	2	1	0	разряды
-		С				-		2 байт
7	6	5	4	3	2	1	0	разряды
Т								3 байт
7	6	5	4	3	2	1	0	разряды
Т								4 байт
7	6	5	4	3	2	1	0	разряды
ОТЛН1		ОТЛН2		ОТЛН3		-		5 байт
7	6	5	4	3	2	1	0	разряды
ОТЛТ1		ОТЛТ2		ОТЛТ3		-		6 байт
7	6	5	4	3	2	1	0	разряды
БЛОК		КС		-				7 байт

Аспирантами и сотрудниками кафедры «Информационно-измерительная техника» Самарского государственного технического университета разработан протокол обмена информацией БУ УИП с КЦ. Обмен производится по двум шинам CAN (основной и резервной). Передача информации с БУ УИП осуществляется по активной шине. В случае, если активная шина не установлена, передача информации БУ УИП осуществляется по той шине, по которой в последний раз была успешная установка связи. Обмен осуществляется кадрами. Между отправкой кадров выдерживается пауза, равная 5 мс.

Для осуществления шинного арбитража в идентификаторе командного кадра или кадра данных используются адреса для абонентов: КЦ, БУ УИП1 (канал 1), БУ УИП2 (канал 2), БУ УИП3 (канал 3). В зависимости от числового значения номера адреса, абонент при передаче имеет высокий или низкий приоритет доступа к информационной шине. Более высокий приоритет имеет абонент с более низким численным значением адреса. Информационное взаимодействие осуществляется в режиме однократной передачи данных по одной из шин, выбираемой автоматически. Инициатором установления связи является БУ УИП. После подачи питания БУ УИП устанавливает связь по каналам 1, 2, 3 по основной или резервной шине с КЦ отправкой командного кадра (КК) «Установка связи». КЦ, получив данный КК, высылает ответный кадр по тому же каналу. Активной шиной CAN считается та, по которой БУ УИП получил ответный кадр и успешно установил связь. Процесс установления связи инициализируется вне зависимости от необходимости передавать данные и происходит в бесконечном цикле. Если активная шина CAN не выдает ответный кадр, то через 1 с БУ УИП отправляет по резервной шине CAN командный кадр на установление связи. Если по резервной шине CAN получен ответный кадр, то она становится активной для передачи / приема кадров в / из КЦ. Если резервная шина CAN не выдает ответные кадры, то каждые 10 с БУ УИП выдает командный кадр «Установка связи» попеременно в разные шины CAN до получения ответного кадра в бесконечном цикле. Структуры командного и ответного кадров «Установка связи» приведены на Рисунках 6 и 7 соответственно.

Идентификатор																												
Поле адресации														Служебное поле														
C/D	АО						АП						Атрибут						Команда									
Разрядная сетка																												
28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0	Адрес абонента отправителя						Адрес абонента получателя						0	1	0	0	0	0	0	0	0	Код команды						

Рисунок 6 – Структура командного кадра «Установка связи», где адрес абонента отправителя – адрес БУ УИП 1, 2, 3; адрес абонента получателя – адрес КЦ; код команды – код команды «Установка связи»

Figure 6 – Command frame ‘Connection establishment’, where sender’s address – AMC control unit 1, 2, 3 addresses; recipient’s address – central control unit address; command code – ‘Connection establishment’ code

Идентификатор																												
Поле адресации														Служебное поле														
C/D	АО						АП						Атрибут						Команда									
Разрядная сетка																												
28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0	Адрес абонента отправителя						Адрес абонента получателя						1	X	0	0	0	0	0	0	0	Код команды						
Примечание-При значении “X” равным “0” ответный кадр считается положительным, при значении “X” равным “1” ответный кадр считается отрицательным.																												

Рисунок 7 – Структура ответного кадра «Установка связи», где адрес абонента отправителя – адрес КЦ; адрес абонента получателя – адрес БУ УИП 1, 2, 3; код команды – код команды «Установка связи»

Figure 7 – Answer frame ‘Connection establishment’, where the sender’s address is a central control unit address; recipient’s address – AMC control unit 1, 2, 3 addresses; command code – ‘Link connection’ code

В протоколе CAN [9, 10] имеется расширенная система определения и оповещения об ошибках. В этих целях задействован контроль разрядов, проверка контрольной суммы пакета, удостоверение в правильном получении пакета данных. Идентификатор сообщений содержит адреса (коды) отправителей, получателей и видов информации. Обмен в шине ведется полными кадрами CAN, с данными 64 бита (8 байт). Работа по двум шинам повышает производительность информационного обмена [9, 10]. В Таблице 3 приведены виды ответной информации БУ УИП 1 (2, 3).

Таблица 3 – Вид ответной информации БУ УИП
Table 3 – AMC control unit answer information structure

Вид ответной информации БУ УИП	Режим работы	
	Штатная работа	Предаварийная работа
Эталон сообщения	**ИНФ УИП t=чч.мм.сс.мс УИП [НОМЕР УИПа – 1, 2, 3] Пит 5,0 С 00 Т чч.мм.сс.мс ОТЛН1 Нет отличий ОТЛН2 Нет отличий ОТЛН3 Нет отличий ОТЛТ1 Нет отличий ОТЛТ2 Нет отличий ОТЛТ3 Нет отличий Блок Нет блокировки КС КС сошлась	**ИНФ УИП t=чч.мм.сс.мс УИП [НОМЕР УИПа – 1, 2, 3] Пит 5,0 С 01 Т чч.мм.сс.мс ОТЛН1 Есть отличия ОТЛН2 Нет отличий ОТЛН3 Нет отличий ОТЛТ1 Есть отличия ОТЛТ2 Нет отличий ОТЛТ3 Нет отличий Блок Нет блокировки КС КС сошлась
	Аварийная работа, блокировка	Обрыв
Эталон сообщения	**ИНФ УИП t=чч.мм.сс.мс УИП [НОМЕР УИПа – 1, 2, 3] Пит 5,0 С 10 Т чч.мм.сс.мс ОТЛН1 Есть отличия ОТЛН2 Есть отличия ОТЛН3 Есть отличия ОТЛТ1 Есть отличия ОТЛТ2 Есть отличия ОТЛТ3 Есть отличия Блок Есть блокировка КС КС сошлась	**ИНФ УИП t=чч.мм.сс.мс УИП [НОМЕР УИПа – 1, 2, 3] Пит 5,0 С 11 Т чч.мм.сс.мс ОТЛН1 Нет отличий ОТЛН2 Есть отличия ОТЛН3 Есть отличия ОТЛТ1 Нет отличий ОТЛТ2 Есть отличия ОТЛТ3 Есть отличия Блок Нет блокировки КС КС сошлась

В интеллектуальной ИИС используются микросхемы с элементами логики, для распределения питания на уровне платы преобразователь DC/DC TMV 0505S, 4-х разрядные двоичные счетчики, в качестве микроконтроллера (с Flash ПЗУ, EEPROM) – 8-разрядная микросхема с универсальным асинхронным приемопередатчиком UART, в качестве ПЗУ с возможностью программирования микросхема емкостью 256 Кб, в качестве регистра микросхема с параметрическим вводом / выводом данных, имеющая 3 состояния на выходе, в качестве CAN-трансивера – микросхема MCP2551-E/SN, выступающая в качестве интерфейса между контроллером CAN и физической шиной со скоростью 1 Мбит/с, в качестве контроллера CAN – микросхема MCP2515-E/SD. Для передачи информации о блокировании работы неисправного УИП, времени выдачи сообщений, контроле напряжения питания БУ УИП используется микросхема с независимыми каналами и гальванической оптической развязкой входа и выхода в каждом канале. Характеристики ЭКБ удовлетворяют заданным требованиям по быстродействию и уровню качества.

Обсуждение

Результатом использования модифицированной методики нахождения информативных параметров по трем мгновенным значениям, одновременно измеряемыми в случайно выбранный момент времени, является создание многоканальной, отказоустойчивой и высоконагруженной информационно-измерительной системы диагностики электрических параметров. Эффективность метода обусловлена тем, что существенно сокращается время измерения, если заменить интегральные преобразования арифметическими операциями с точечными оценками. Реализация такого подхода дает возможность использовать два пути разделения мгновенных значений сигналов: в пространстве и во времени. Метод разделения в пространстве позволяет применить введение дополнительных сигналов напряжения и тока, сдвинутых по фазе относительно исходных, что сокращает время измерения, а также упрощает сам алгоритм измерения и его аппаратную реализацию.

Научная новизна заключается в разработке не имеющих аналогов, новых схемотехнических решений блоков и протоколов обмена в целях взаимодействия составных частей информационно-измерительной системы, в том числе, через интерфейс передачи данных Serial Peripheral Interface. Результаты приведены в Таблицах 1-3.

Данное решение легко масштабируется за счет применения нескольких блоков управления УИП с тремя измерительными преобразователями. Функциональные возможности ИИС могут быть дополнительно расширены и включать в себя: командное управление или временную программу. Для этого в целях повышения надежности КЦ возможно двойное резервирование микроконтроллерных узлов и оперативной памяти, собственный автомат переключения резервов.

Ключевым результатом является повышение уровня качества, отказоустойчивости и безопасности разработанной информационно-измерительной системы.

Практическим результатом работы является возможность повышения эффективности характеристик систем и приборов в целом, осуществляющих функционирование в критичных условиях.

Заключение

В рамках исследования реализована информационно-измерительная система диагностики информативных параметров электрических цепей для непосредственного многоканального непрерывного измерения и контроля основных информативных параметров с высокой надежностью, точностью и быстродействием. Метод определения мгновенных значений сигналов при использовании дополнительных сигналов напряжения и тока, сдвинутых по фазе относительно исходных, позволяет реализовать выявление аварийных режимов за время, менее полупериода анализируемых сигналов. Непрерывный мониторинг с обеспечением контроля качества повышает надежность, отказоустойчивость и безопасность измерений.

Выбор элементов электронной компонентной базы позволяет получить высокую стабильность метрологических характеристик измерительных каналов и исключить дрейф параметров.

Предлагаемое решение предполагает комплексный подход, при этом имеет место интеграция современных и разработанных авторами уникальных узлов и блоков информационно-измерительной системы для сбора, обработки, представления, хранения и передачи информационных сообщений, а также аварийных и предаварийных квитанций.

Реализуется практика распределенного доступа с интеллектуально-адаптивным подходом, при которой информационные сообщения дублируются на различных средствах отображения и будут доступны, даже в случае отказа в работе некоторого числа из них.

Разработанные в Самарском государственном техническом университете новые схемотехнические решения построения ИИС обеспечивают повышение эффективности и надежности получения информации, электрическая схема, устойчивая к единичным отказам, обеспечивает логику работы и взаимодействие составных частей информационно-измерительной системы через интерфейс передачи данных Serial Peripheral Interface, для выявления аварийных и предаварийных ситуаций.

В отличие от существующих решений повышение уровня надежности достигается автоматизацией процессов на всех этапах жизненного цикла, что позволяет минимизировать человеческий фактор.

При этом не стоит забывать, что любой алгоритм, метод или методология могут считаться универсальными лишь для конкретных целей и задач.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Виноградова Н.А. *Основы построения информационно-измерительных систем*. М.: Высшая школа; 2004. 267 с.
2. Новоселов О.Н., Фомин О.Ф. *Основы теории и расчёта информационно-измерительных систем*. М.: Машиностроение; 1991. 336 с.
3. Мелентьев В.С., Иванов Ю.М., Муратова В.В. Синтез и анализ методов оперативного измерения параметров периодических процессов на основе формирования дополнительных сигналов. В сборнике: *Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVI Международной конференции. Институт проблем управления сложными системами*. Самара: Самарский научный центр Российской академии наук; 2014. С. 717–722.
4. Мелентьев В.С., Батищев В.И. *Аппроксимационные методы и системы измерения и контроля параметров периодических сигналов*. М.: ФИЗМАТЛИТ; 2011. 240 с.
5. Ланге П.К., Ярославкина Е.Е. *Аппроксимационные методы и средства обработки измерительных сигналов*. Dusseldorf. Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing; 2017. 244 p.
6. Мелентьев В.С., Ярославкина Е.Е., Поздеева Е.В., Нефедьев Д.И. Сокращение времени измерения параметров за счёт использования мгновенных значений входных и дополнительных гармонических сигналов. *Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль*. 2016;15(1):48–55.
7. Мелентьев В.С. Совершенствование методов измерений параметров гармонических сигналов по разделённым в пространстве мгновенным значениям. *Измерительная техника*. 2017;1:16–18.
8. Шнеерсон Э.М. *Цифровая релейная защита*. М.: Энергоатомиздат; 2007. 549 с.
9. Лапин А.А. *Интерфейсы. Выбор и реализация*. М.: Техносфера; 2005. 167 с.
10. Афанасьев И.И. Компоненты поддержки интерфейса CAN от компании Microchip. *Компоненты и технологии*. 2003;35(9):78–80.

REFERENCES

1. Vinogradova N.A. *Foundations of data measurement system design*. Moscow, Vysshaya shkola; 2004. 267 p. (In Russ.).
2. Novoselov O.N., Fomin O.F. *Foundations of data measurement system theory and computation*. Moscow, Mashinostroenie; 1991. 336 p. (In Russ.).

3. Melent'ev V.S., Ivanov Yu.M., Muratova V.V. Synthesis and analysis of methods for operational measurement of periodic processes based on additional signal formation. In: *Complex systems: control and modelling problems: Proceedings of XVI International conference. Institute of complex system management. Samara, Samara Research Center at the Russian Academy of Science; 2014. p. 717–722. (In Russ.)*.
4. Melent'ev V.S., Batischev V.I. *Approximation methods and systems of periodic signal measurement and management. Moscow, PHYZMATLIT; 2011. 240 p. (In Russ.)*.
5. Lange P.K., Yaroslavkina E.E. *Approximation methods and means of measurement signal processing. Dusseldorf. Germany, LAP LAMBERT Academic Publishing; 2017. 244 p. (In Russ.)*.
6. Melent'ev V.S., Yaroslavkina E.E., Pozdeeva E.V., Nefed'ev D.I. Reduction of measurement time through the use of the instantaneous values of input and additional harmonic signals. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control. 2016;15(1):48–55. (In Russ.)*.
7. Melent'ev V.S. Improvements in methods for measuring the parameters of harmonic signals based on spatially separated instantaneous values. *Izmeritel'naya Tekhnika. 2017;1:16–18. (In Russ.)*.
8. Shneerson E.M. *Digital power system protection. Moscow, Energoatomizdat; 2007. 549 p. (In Russ.)*.
9. Lapin A.A. *Interfaces. Choice and implementation. Moscow, Tekhnosfera; 2005. 167 p. (In Russ.)*
10. Afanas'ev I.I. Components of CAN interface support by Microchip. *Komponenty i tekhnologii. 2003;35(9):78–80. (In Russ.)*.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Раухат Талгатович Сайфуллин, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Информационно-измерительная техника» Самарского государственного технического университета, Самара, Российская Федерация.
e-mail: fasoler0901@gmail.com

Rauhat Talgatovich Saifullin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Informational and Measuring Equipment Department, Samara State Technical University, Samara, the Russian Federation.

Виктор Станиславович Бычек, аспирант кафедры «Информационно-измерительная техника» Самарского государственного технического университета, Самара, Российская Федерация.
e-mail: bychek.ru@yandex.ru
ORCID: [0000-0003-2460-6288](https://orcid.org/0000-0003-2460-6288)

Victor Stanislavovich Bychek, Postgraduate Student, the Informational and Measuring Equipment Department, Samara State Technical University, Samara, the Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 29.05.2023; одобрена после рецензирования 10.07.2023; принята к публикации 28.07.2023.

The article was submitted 29.05.2023; approved after reviewing 10.07.2023; accepted for publication 28.07.2023.