

УДК 621.31

**Страхов Святослав Игоревич, Олейников Дмитрий Николаевич,
Вивчарь Павел Алексеевич, Ястребов Сергей Сергеевич,
Башмаков Роман Андреевич, Лыхманова Виктория Ивановна**

ПРОВЕРКА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦИФРОВОГО УСТРОЙСТВА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЙ СИРИУС-2-ОМП С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРОГРАММНО- ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА OMICRON CMC 356

В статье рассмотрена возможность проверки многофункционального микропроцессорного терминала «Сириус-2-ОМП» с использованием измерительного программно-технического комплекса Omicron CMC 356. Рассмотрен участок электрической сети, составлена его схема замещения, рассчитаны токи и напряжения нормального и аварийного режимов в различных точках схемы замещения, создан документ для проверки функции определения места повреждения устройства «Сириус-2-ОМП» на основе программного обеспечения «Omicron CMC 356». Проведена проверка точности работы функции ОМП в составе устройства «Сириус-2-ОМП». Определена погрешность показаний расстояния до места короткого замыкания при двухфазном и трехфазном коротком замыкании.

Ключевые слова: расчет режима сети, короткое замыкание, ИПТК OMICRON CMC 356, Сириус-2-ОМП.

**Svyatoslav Strakhov, Dmitry Oleynikov, Pavel Vivchar, Sergey Jastrebov,
Roman Bashmakov, Victoria Lykhmanova**

CHECKING OF THE OPERATION A DIGITAL-BASED FAULT SIRIUS-2-DPD USING MEASUREMENT SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEXSET OMICRON CMC 356

This article considers the possibility of checking «Sirius-2-DPD» multipurpose microprocessor terminal using the measurement software and hardware complex Omicron CMC 356.

Take a virtual model of the electrical network, made up of its equivalent circuit, rated currents and voltages are normal and emergency modes at different points of the equivalent circuit, set the document to check the function of weapons of mass destruction device «Sirius-2-DPD» on the basis of the software «Omicron CMC 356». Check of the accuracy of the definition places damage function as a part of the device «Sirius-2-DPD». Determine the distance error indications to fault when the two-phase and three-phase short circuit.

Key words: calculation mode network, a short circuit, MPTC OMICRON CMC 356, Sirius-2-DPD.

Надежность электроэнергетических систем зависит от надежности работы составляющих элементов, таких как линии, шины, трансформаторы, выключатели и т. д. [1]. При возникновении повреждений на линиях основной проблемой при восстановлении их работоспособности является обнаружение места повреждения, так как линии имеют большую протяженность, а место повреждения иногда трудно визуально идентифицировать. По этой причине автоматика определения мест повреждений (ОМП) на линиях электропередач широко используется при эксплуатации воздушных линий (ВЛ) всех классов напряжений [2]. В настоящее время все вновь вводимые и реконструируемые защиты выполняются на основе цифровых устройств релейной защиты и автоматики [3, 4].

Цель проделанной работы – создание документа для автоматической проверки точности работы функции ОМП на ВЛ электропередач в составе цифрового терминала автоматики «Сириус-2-ОМП». Для решения поставленной задачи использовался измерительный программно-технический комплекс (ИПТК) «OMICRON CMC 356».

В работе в качестве исходных данных была использована схема участка сети, представленная на рис. 1. Данная схема заимствована из руководства по эксплуатации устройства «Сириус-2-ОМП» [5]. Рассматриваемый участок представлен в виде двух параллельных линий (двухцепной линии) с ответвлениями. Линии по длине разбиваются на 6 участков, параметры которых представлены в таблице 1. На основе данных параметров, а также предположив, что суммарная нагрузка линии (нагрузка подстанции В, Д, Е, рис. 1) составляет величину $S_N = 26 \text{ МВА}$, $\cos\varphi = 0,8$, были рассчитаны токи и напряжения рабочего режима с помощью программы «RastrWin» [6], которые применялись для моделирования до аварийного режима работы устройства.

С помощью программного комплекса «RastrWin» и модуля, входящего в его состав «Rastr TKZ» были смоделированы короткие замыкания (КЗ) в различных точках схемы замещения заданного участка сети, приведенной на рис. 2. При этом моделировались металлические трехфазные и двухфазные КЗ. Затем, полученные значения аварийных токов и напряжений в месте установки защиты пересчитывались во вторичные значения с использованием коэффициентов трансформации трансформаторов тока ($K_{TT} = 1000/5$) и напряжения ($K_{TN} = 110000/\sqrt{3}/100/\sqrt{3}$).

Рассчитанные вторичные значения токов аварийного режима с помощью ИПТК «OMICRON СМС 356» подавались на вход терминала «Сириус-2-ОМП». Исходные данные в модели участка сети по длине участков линии, на основе которых рассчитывались токи КЗ, принимались как эталонные при определении точности работы функции определения места повреждения.

В уставках линии терминала «Сириус-2-ОМП» были введены параметры, представленные в таблице 1. Расчетные данные по напряжениям и токам короткого замыкания, протекающих в месте установки защиты при КЗ в каждой точке схемы замещения приведены в таблице 2.

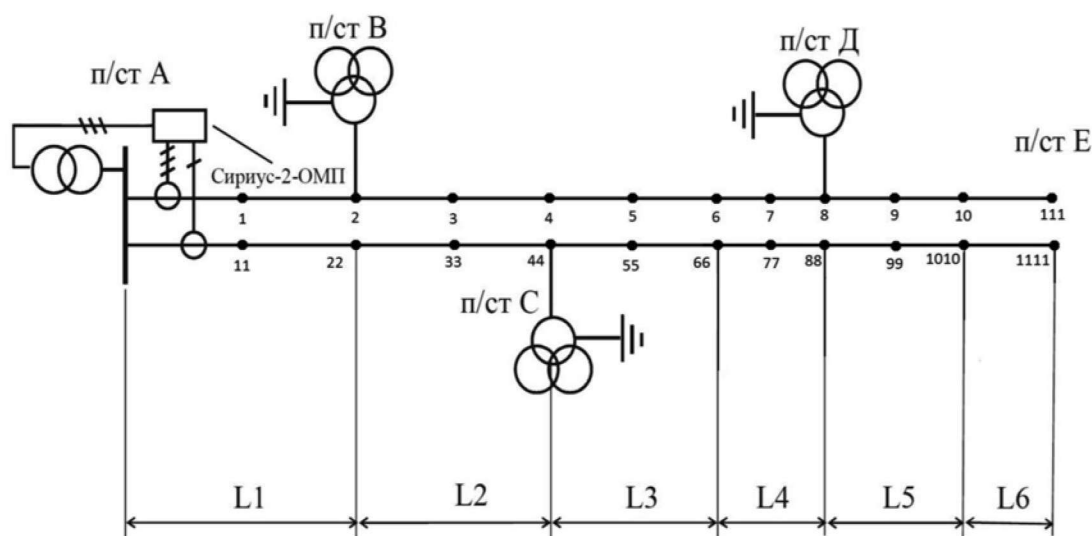


Рис. 1. Схема района сети

Таблица 1

Параметры участков линий рассматриваемой схемы района сети

Номер участка	1	2	3	4	5	6
Длина участка, км	12,3	20,5	6	15,2	10,5	8,2
$R_{1уд}$, Ом/км	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
$X_{1уд}$, Ом/км	0,683	0,683	0,683	0,683	0,683	0,683
$R_{0уд}$, Ом/км	0,345	0,345	0,345	0,345	0,345	0,345

Номер участка	1	2	3	4	5	6
Длина участка, км	12,3	20,5	6	15,2	10,5	8,2
Х _{0уд} , Ом/км	1,304	1,304	1,304	1,304	1,304	1,304
Х _{муд} , Ом/км	0,905	0,905	0,905	0	0,88	0
Х _{отв} , Ом	30,6	0	0	50,6	0	0
Х _{мотв} , Ом	0	39,5	0	0	0	0
И _{отв.нагр.} , А	0	0	0	0	0	0

Выбор уставок «Сириус-2-ОМП» производился аналогично выбору уставок максимальной токовой защиты (МТЗ) и токовой защиты нулевой последовательности (ТЗНП) на основе методики, описанной применительно к линиям электропередач напряжением 110 кВ, использовались условия пуска ОМП как по току прямой, так и по току обратной последовательности. Уставки были выбраны таким образом, чтобы происходил запуск функции определения места повреждения при КЗ в самой удаленной точке участка сети (точка 111).

В работе производилось сопоставление данных о суммарной длине участков линий, применяемых в схеме замещения участка сети при расчете токов КЗ с показаниями устройства «Сириус-2-ОМП» для оценки точности работы функции ОМП. Схема соединения устройства «Сириус-2-ОМП» и ИПТК «OMICRON CMC 356» при проведении испытаний функции определения места повреждений показана на рис. 3. При этом использовалась трехфазная система токов, трехфазная система напряжений, а реле «Сигнализация» устройства «Сириус 2-ОМП» подключалось к дискретному входу ИПТК OMICRON CMC 356 для регистрации запуска функции ОМП.

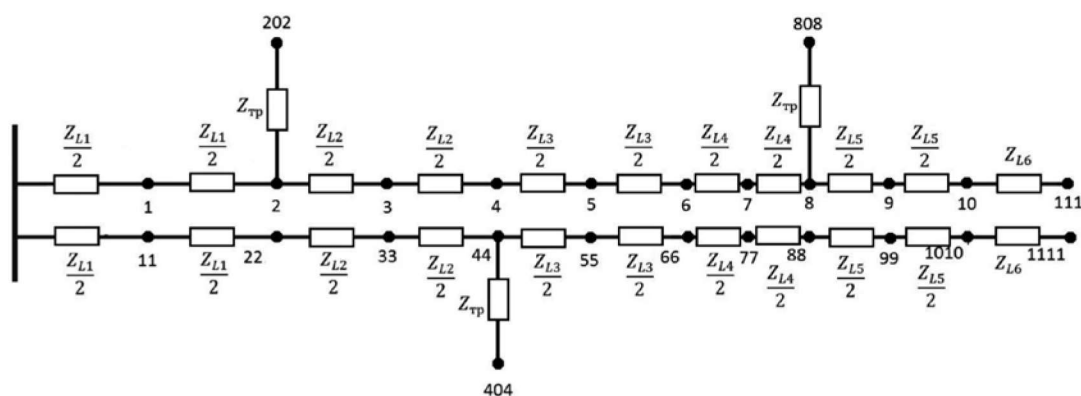


Рис. 2. Схема замещения участка сети

Таблица 2

Расчетные значения токов КЗ в рассматриваемых точках сети (вторичные значения)

Точка КЗ	U _A , В	U _B , В	U _C , В	I _A , А	I _B , А	I _C , А
1	19,30e ^{-j6,17°}	-19,30e ^{j53,83°}	-19,30e ^{-j66,17°}	24,17e ^{-j79,07°}	-24,17e ^{j19,07°}	24,17e ^{-j40,93°}
2	28,97e ^{-j4,62°}	-28,97e ^{j55,38°}	-28,97e ^{-j64,62°}	18,30e ^{-j77,52°}	-18,30e ^{j17,52°}	18,30e ^{-j42,48°}
3	37,48e ^{-j3,26°}	-37,48e ^{j56,74°}	-37,48e ^{-j63,26°}	13,00e ^{-j76,16°}	-13,00e ^{j16,16°}	13,00e ^{-j43,84°}
4	42,11e ^{-j2,52°}	-42,11e ^{j57,48°}	-42,11e ^{-j62,52°}	9,880e ^{-j75,42°}	-9,880e ^{j15,42°}	9,880e ^{-j44,58°}
5	43,08e ^{-j2,36°}	-43,08e ^{j57,64°}	-43,08e ^{-j62,36°}	9,270e ^{-j75,26°}	-9,270e ^{j15,26°}	9,270e ^{-j44,74°}
6	43,95e ^{-j2,22°}	-43,95e ^{j57,78°}	-43,95e ^{-j62,22°}	8,720e ^{-j75,12°}	-8,720e ^{j15,12°}	8,720e ^{-j44,88°}

Точка КЗ	UA, В	UB, В	UC, В	IA, А	IB, А	IC, А
7	$45,75e^{-j1,93^\circ}$	$-45,75e^{j58,07^\circ}$	$-45,75e^{-j61,93^\circ}$	$7,590e^{-j74,84^\circ}$	$-7,590e^{-j14,84^\circ}$	$7,590e^{j45,16^\circ}$
8	$47,12e^{-j1,71^\circ}$	$-47,12e^{j58,29^\circ}$	$-47,12e^{-j61,71^\circ}$	$6,720e^{-j74,62^\circ}$	$-6,720e^{-j14,62^\circ}$	$6,720e^{j45,39^\circ}$
9	$47,90e^{-j1,58^\circ}$	$-47,90e^{j58,42^\circ}$	$-47,90e^{-j61,58^\circ}$	$6,230e^{-j74,49^\circ}$	$-6,230e^{-j14,49^\circ}$	$6,230e^{j45,51^\circ}$
10	$48,60e^{-j1,48^\circ}$	$-48,60e^{j58,52^\circ}$	$-48,60e^{-j61,48^\circ}$	$5,800e^{-j74,38^\circ}$	$-5,800e^{-j14,38^\circ}$	$5,800e^{j45,62^\circ}$
111	$49,46e^{-j1,33^\circ}$	$-49,46e^{j58,67^\circ}$	$-49,46e^{-j61,33^\circ}$	$5,240e^{-j74,24^\circ}$	$-5,240e^{-j14,24^\circ}$	$5,240e^{j45,76^\circ}$

Для автоматизации проверки терминала был использован генератор последовательных состояний (ГПС), входящий в программное обеспечение ИПТК «OMICRON CMC 356». Интерфейс ГПС приведен на рис. 5. На основе генератора последовательных состояний был реализован алгоритм (рис. 4), посредством которого происходила автоматическая подача различных токов аварийного режима, характерных для КЗ в различных точках данной схемы участка сети, на терминал «Сириус-2-ОМП».

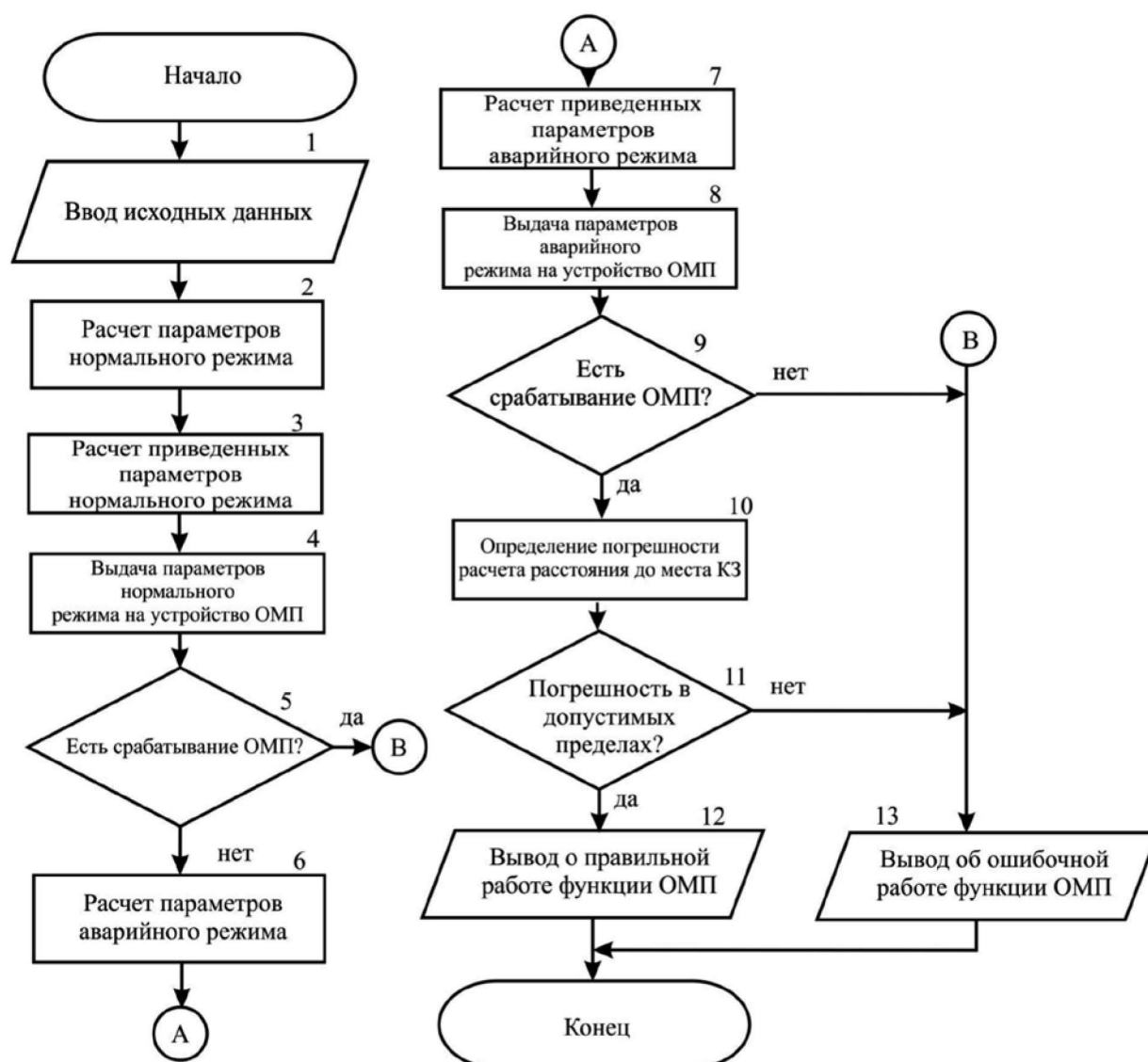


Рис. 3. Алгоритм проверки функции определения мест повреждений

Алгоритм состоит из следующих блоков: 1. Блок задания параметров для расчета режима участка сети. В нем задается схема, параметры узлов и ветвей, нагрузки. В этом же блоке задаются параметры для расчета аварийного режима (различных видов коротких замыканий) – сопротивления элементов по прямой, обратной и нулевой последовательностям. В блоке 2 проводится расчет нормальных (до аварийных) режимов работы участка электрической сети. В блоке 3 осуществляется расчет нормальных параметров сети, приведенных ко вторичным значениям токов и напряжений измерительных трансформаторов тока и трансформаторов напряжения. В блоке 4 осуществляется выдача рассчитанных значений на устройство «Сириус-2 ОМП» с помощью ИПТК OMICRON CMC 356. В блоке 5 проверяется условие несрабатывания пусковых органов устройства в нормальном режиме работы сети. Если срабатывания пусковых органов не происходит, то производим дальнейшее испытание, а при срабатывании делается вывод об их неправильных уставках. В блоке 6 производится расчет параметров аварийного режима, например двухфазного или трехфазного КЗ. Затем параметры аварийного режима в блоке 7 пересчитываются во вторичные значения и с помощью ИПТК подаются на устройство (блок 8). Далее производится регистрация срабатывания пусковых органов (блок 9), если сработали пусковые органы и произошел расчет расстояния, то регистрируются показания на устройстве. Если пусковые органы не сработали то значит их уставки заданы неправильно. В блоке 10 рассчитывается погрешность расстояния до места КЗ, по сравнению с данными схемы замещения. В блоке 11 сравнивается рассчитанная погрешность с заданным значением (как правило, это не более 5 %). Если погрешность не превышает заданное значение, то делается вывод о правильном функционировании функции ОМП (блок 12), если погрешность слишком большая, то делается вывод о неисправности функции ОМП (блок 13).

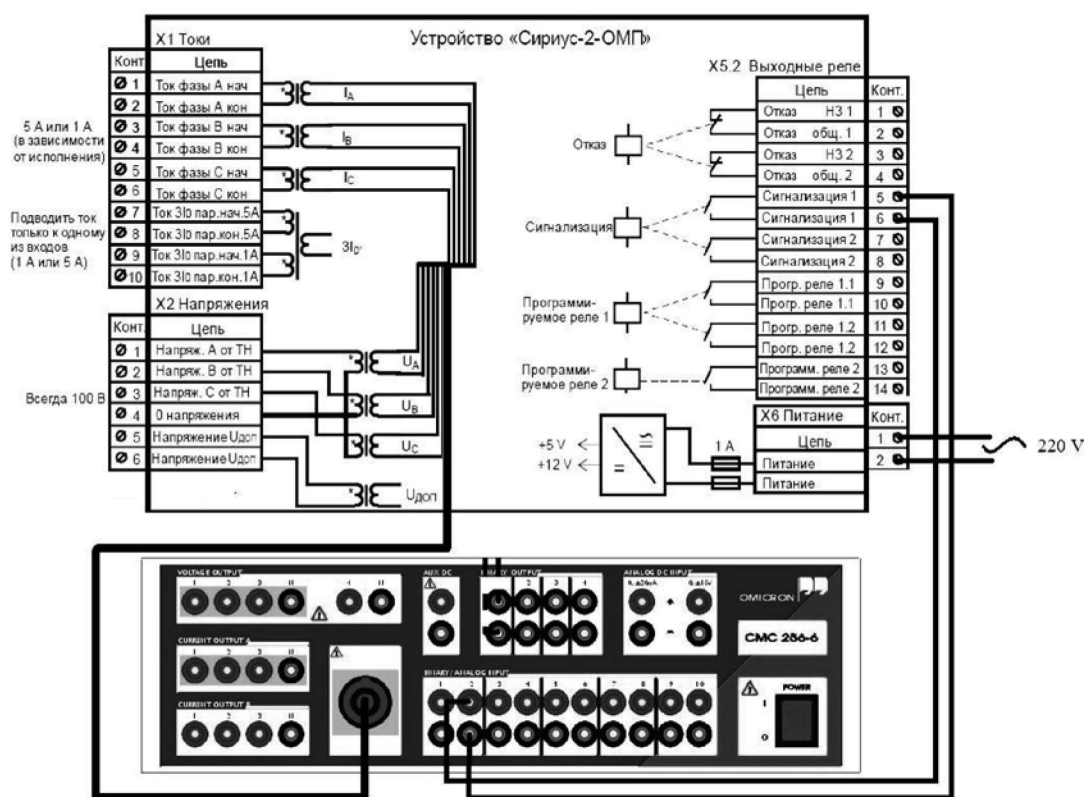


Рис. 4. Принципиальная схема соединений устройства автоматики «Сириус-2-ОМП» и устройства проверки микропроцессорного оборудования OMICRON CMC 356

Данный алгоритм позволяет проверить точность срабатывания терминала ОМП во всех необходимых точках заданного участка сети в автоматическом режиме, с использованием расчетных данных, полученных в программном комплексе «RastrWin».

На основе полученных данных, приведённых в таблице 3 можно сделать вывод об исправной работе терминала «Сириус-2-ОМП». Погрешность показаний терминала находится в допустимых пределах.

Таким образом, в данной работе были описаны и проведены основные операции при проверке работоспособности функции ОМП в микропроцессорных устройствах релейной защиты и автоматики, разработан алгоритм программы для автоматической проверки функции ОМП терминала для определения мест повреждений «Сириус-2-ОМП».

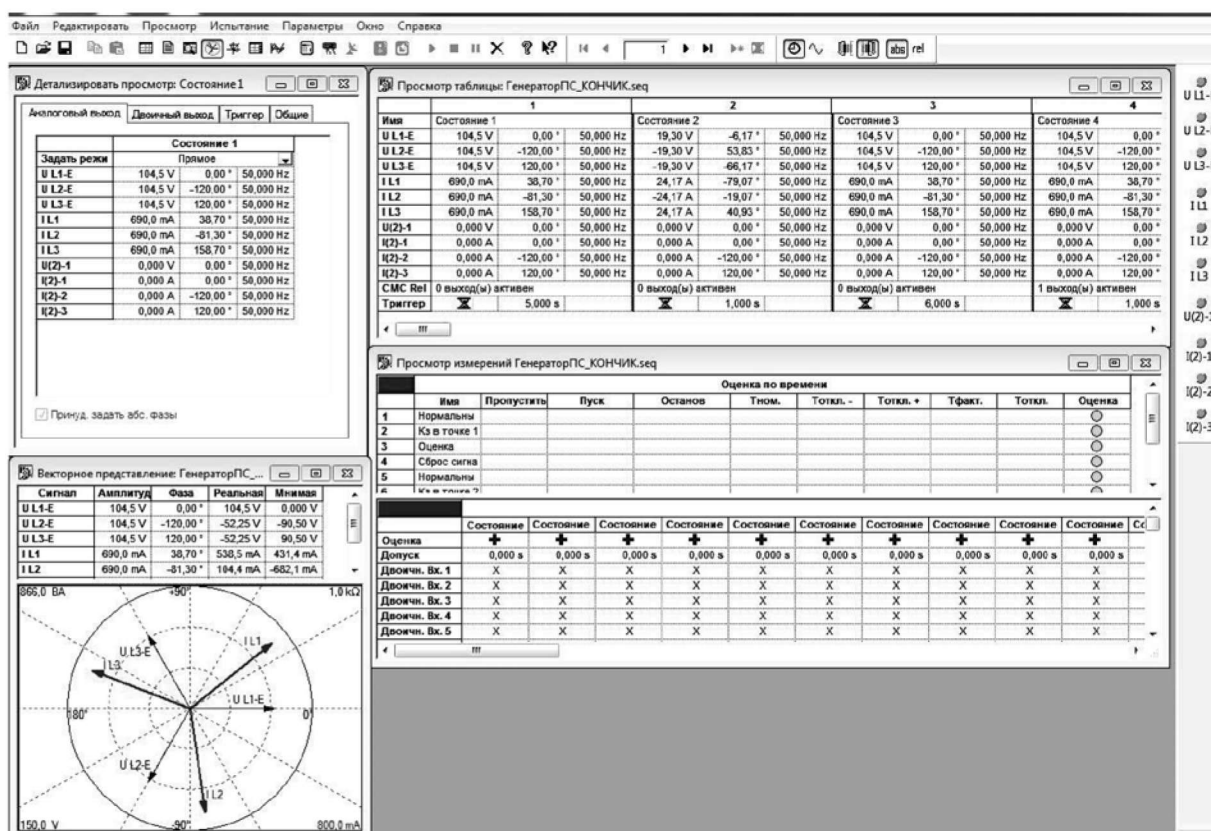


Рис. 5. Внешний вид генератора последовательных состояний

Таблица 3

Сравнение расчетных и измеренных значений расстояния

Точка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	111
Расчетное расстояние, км	6,15	12,30	22,55	32,8	35,8	38,8	46,40	54,00	59,25	64,50	72,70
Измеренное расстояние, км	6,00	12,00	21,90	32,50	35,50	38,50	46,10	53,70	59,00	64,40	72,40
Относительная погрешность, %	2,50	2,50	2,96	0,92	0,85	0,78	0,70	0,56	0,42	0,16	0,41

На основе стандартного программного обеспечения измерительного программно-технического комплекса (ИПТК) «OMICRON CMC 356» и входящего в его комплект модуля генератора последовательных состояний, а также программного обеспечения «Omicron control center» был создан документ по испытаниям, который позволил в автоматическом режиме провести проверку точности работы функции ОМП в составе устройства «Сириус-2-ОМП». При этом погрешность определения расстояния до места КЗ при двухфазном и трехфазном КЗ составила не более 2,96 %. Данная погрешность не учитывает ошибку, вносимую измерительными трансформаторами тока и трансформаторами напряжения, так как в работе предполагались идеальные трансформаторы. В реальных же условиях, из-за влияния погрешности измерительных трансформаторов ошибка определения расстояния до места повреждения будет больше.

Литература

1. Афанасьев В. В. Оценка надежности электроэнергетической системы при перспективном планировании развития системы на основе анализа режимов ее работы / В. В. Афанасьев, В. М. Кожевников, М. И. Данилов, С. С. Ястребов, И. Г. Романенко, М. С. Демин // Надежность. 2012. № 3 (42). С. 46–55.
2. Аржанников Е. А., Чухин А. М. Методы и приборы определения места короткого замыкания на линиях: учебное пособие / Ивановский государственный энергетический университет. Иваново, 1998. 74 с.
3. Олейников Д. Н. Проверка функционирования максимальной токовой защиты линий электропередач с помощью испытательного комплекса OMICRON CMC 356 / Д. Н. Олейников, П. А. Вивчарь, С. И. Страхов, С. С. Ястребов, М. С. Казачков, В. И. Лыхманова, Р. Ф. Михнев // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2016. № 4 (55). С. 42–46.
4. Мамаев В. А. Определение аperiodической составляющей в электрическом сигнале промышленной частоты с применением амплитудной модуляции / В. А. Мамаев, С. С. Ястребов, Н. Н. Кононова, П. А. Звада // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2014. № 6. С. 72–77.
5. Устройство определения места повреждения на воздушных линиях электропередачи «Сириус-2-ОМП» Руководство по эксплуатации БПВА.656122.091 РЭ. ЗАО «Радиус Автоматика» М., 2014. 74 с.
6. ТКЗ RastrKZ документация пользователя [Электронный ресурс]. URL: <http://www.RastrWin.ru>