

УДК 621.3.05

ББК 31.27-082

А.Ф. АБДУЛЛАЗЯНОВ, А.И. ФЕДОТОВ, М.Н. ХАБИБУЛЛИН,
Л.И. АБДУЛЛИН, Г.В. ВАГАПОВ**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ
ВЫДЕЛЕНИЯ РЕЖИМА ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ
В СЕТИ 6–10 кВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ
УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ***

Ключевые слова: интеллектуальные системы учета электроэнергии, высшие гармонические составляющие тока и напряжения, однофазное замыкание на землю, воздушные линии электропередачи.

Проблема повышения надежности электроснабжения является актуальной на текущем этапе развития электроэнергетических систем как на территории РФ, так и в зарубежных электроэнергетических системах. Одним из способов повышения надежности электроснабжения является недопущение развития аварийных ситуаций на воздушных линиях электропередачи как самых важных компонентах электроэнергетических систем, что подтверждается существенным количеством ежегодных отечественных и зарубежных публикаций. Недопущению развития аварийных ситуаций во многом способствует раннее выявление признаков наступления аварийных режимов функционирования электрических сетей всех классов напряжений. В то же время развитие интеллектуальных систем технического и коммерческого учета электроэнергии открывает новые возможности мониторинга многочисленных параметров различных режимов функционирования электрических сетей, в том числе и напряжением 6-10-35 кВ с изолированным режимом работы нейтрали. Многочисленные работы авторских коллективов посвящены теоретическому анализу возможности раннего выявления диагностических признаков аварийных сигналов. Однако в имеющихся публикациях не всегда представлены результаты натурных экспериментальных исследований в действующих электрических сетях по рассматриваемому вопросу, что демонстрирует некоторое несоответствие между теоретическими положениями и возможностью их практической реализации. В настоящей статье предпринята попытка оценки возможности практической реализации части теоретических положений по раннему выявлению диагностических признаков аварийных режимов и, как следствие, повышению надежности электроснабжения. Одновременно в статье представлены результаты натурного исследования, на основании которых раскрыты текущие возможности раннего выявления диагностических признаков аварийных режимов на примере пофазных выделений высших гармонических составляющих токов и напряжений, в том числе и при использовании уже существующих интеллектуальных систем учета электроэнергии, установленных в действующих распределительных электрических сетях напряжением 10 кВ. Одновременно показана возможность осуществления и дальнейшего развития направления онлайн-мониторинга аварийных режимов функционирования электрических сетей на примере выявления режима однофазного замыкания на землю, вследствие чего возможно существенное снижение затрат на временные и материальные ресурсы при локализации зоны однофазного замыкания.

Введение. Современные интеллектуальные системы учета электроэнергии помимо своего основного функционала, состоящего в непосредственном учете электроэнергии, обладают широким спектром дополнительных техни-

* Работа выполнена в рамках проекта темы научного исследования «Методы повышения надежности систем электроснабжения и качества электроэнергии на основе электрохимических накопителей и цифрового мониторинга состояния распределительных электрических сетей» (мнемокод 0672-2020-0007, No FZSW-2020-0007).

ческих возможностей. В качестве основы для реализации дополнительных технических возможностей следует выделить наличие двух базовых составляющих интеллектуальных систем учета электроэнергии, а именно: непосредственно приборы учета (ПУ) и программное обеспечение (ПО). Таким образом, функционал интеллектуальных систем учета электроэнергии во многом определяется вышеперечисленными базовыми составляющими. Современные производители ПУ наделяют свои изделия широкими техническими возможностями, обусловленными существенным развитием компонентной базы, позволяющей реализовывать в цифровом виде не только первичный учет электроэнергии, но и оценку показателей качества электроэнергии. Среди производителей ПУ, как первой базовой составляющей, можно выделить ООО Прософт-Системы, ООО «Инженерный центр “Энергосервис”», АО ГК «Системы и Технологии». Вторая базовая составляющая интеллектуальных систем учета электроэнергии ПО позволяет осуществлять прием и обработку первичных данных с ПУ. В качестве примера ПО в данном исследовании рассматривается комплекс ПО «ОИК Диспетчер НТ», которое является узкоспециализированным и направлено на решение строго определенных задач. Вышеназванный комплекс состоит из двух крупных подсистем. В качестве первой подсистемы выделяется подсистема, включающая в себя серверную часть, в качестве второй – непосредственно рабочие станции. Первая подсистема необходима для приема телеметрических данных, их хранения и последующей обработки. В этой же подсистеме обеспечивается доступ к базам данных, что, в свою очередь, открывает возможность связи с ПО для реализации диагностического функционала. Вторая подсистема необходима для функционирования рабочих мест диспетчеров и обеспечивает визуализацию телеметрических данных.

Помимо непосредственно самого учета электроэнергии в распределительных электрических сетях напряжением 6-10-35 кВ имеется существенное количество технических задач, среди которых одной из немаловажных является задача по улучшению таких показателей надежности электроснабжения потребителей в осенне-зимний период, как SAIDI и SAIFI. Расширение функционала интеллектуальных систем учета электроэнергии в целом и ПО в частности для решения вышеобозначенных задач открывает широкие перспективы по улучшению показателей эффективности функционирования электрических сетей.

На показатели эффективности функционирования электрических сетей SAIDI и SAIFI существенное влияние оказывают негативные природные проявления в виде дождя, ветра, снега и т.д., приводящие к всевозможным видам замыканий, в том числе и к однофазным замыканиям на землю (ОЗЗ). Многие исследователи отмечают, что ОЗЗ не теряет своей актуальности. В [2, 3] показано, что вышеобозначенная проблема актуальна в районных сетях с изолированной нейтралью и уровнем напряжений 6–10–35 кВ. Существуют различные теоретические подходы к определению повреждений. Например, в [2, 5, 11] приводится описание методик идентификации линии с повреждением. Обнаружение фидеров воздушных линий (ВЛ) с замыканием на землю на раннем этапе его развития повышает надежность электроснабжения. Одновременно данное обстоятельство приводит к уменьшению рисков поражения

электрическим током. Большинство теоретических подходов к диагностике ОЗЗ основано на анализе высокочастотных компонентов, возникающих при переходном процессе. Также предусматривается анализ самого режима ОЗЗ. На основании параметров спектра высших гармоник (ВГ) однозначно определяется фидер с повреждением. Предлагаемая методика может быть реализована для организации цифровых защит от замыканий на землю [1]. Таким образом, улучшение показателей SAIDI и SAIFI на основе расширения функционала ПО в общем случае и решение проблемы локализации мест ОЗЗ в частности не теряют своей актуальности.

Основные положения. В качестве теоретической основы для проведения экспериментальных исследований послужили работы [1, 2, 4, 6, 8, 9], основанные на выделении высших гармонических составляющих (ВГ) тока и напряжения при возникновении перемежающегося однофазного дугового замыкания (ОЗЗ). ВГ тока и напряжения в режиме ОЗЗ возникают вследствие наличия у воздушных линий электропередачи (ВЛ) значений индуктивного и емкостного сопротивлений и, как следствие, проявления резонансных явлений на определенных частотах. Для математического анализа целесообразно использование Fast Fourier transform (FFT) в связи приемлемыми по точности результатами. Математический метод FFT-обработки практических результатов позволяет с требуемой точностью выделять ВГ из реального спектра напряжения и тока, в том числе, и измерительных трансформаторов напряжения и тока. Сопоставление теоретических и практических результатов FFT-анализа показал их корреляцию. Раннее выявление режима ОЗЗ в электрических сетях возможно на основе расширения функционала имеющегося парка современных цифровых приборов учета по различным критериям. В качестве примера критерия для определения ОЗЗ могут выступать результаты FFT-анализа. По результатам FFT-анализа возможно однозначное определение: порядкового номера ВГ, амплитуды ВГ и т.д. Сравнение значений критериев открывает возможность выявления факта наступления в электрической сети ОЗЗ без перерыва электропитания потребителей. Для этого необходимо расширение существующего ПО с использование FFT-анализа токов и напряжений.

В [2] показано, что применение вышеобозначенного математического аппарата позволяет отказаться от определения точных первичных значений токов и напряжений и заменить их существенно упрощенной адаптивностью при сохранении требуемой точности результата.

Экспериментальные исследования. Оценка адекватности вышеописанных теоретических положений была реализована на основе серии экспериментальных исследований в действующих распределительных электрических сетях напряжением 10 кВ с изолированным режимом работы нейтрали. Необходимо отметить, что в качестве нагрузки в электрической сети выступают потребители со стороны 0,4 кВ, а именно, мелкомоторный сектор и бытовые потребители с существенным количественным преимуществом последних.

Технические условия реализации экспериментальных исследований. Натурные экспериментальные исследования параметров режимов в электрической сети 10 кВ при наступлении ОЗЗ моделировались на действующей ВЛ электропередачи путем электрического контакта провода и траверсы ВЛ с

использованием изолированной штанги, установленной на передвижном автогидравлическом подъемнике (рис. 1).

В качестве средств измерения выступали поверенные приборы: энергомонитор 3.3 Т1, переносной эталонный счетчик, прибор сравнения, регистратор, анализатор качества электроэнергии, амплитудный вольтметр и осциллограф.

Рис. 2 иллюстрирует установку для моделирования перемежающегося дугового ОЗЗ, установленную на опоре в действующей ВЛ электрической сети. Рис. 3 иллюстрирует участок схемы электрической сети с участком экспериментального исследования в существующей Scada-системе «ОИК Диспетчер НТ».



Рис. 1. Экспериментальное исследование металлического ОЗЗ



Рис. 2. Экспериментальное исследование дугового ОЗЗ через разрядник

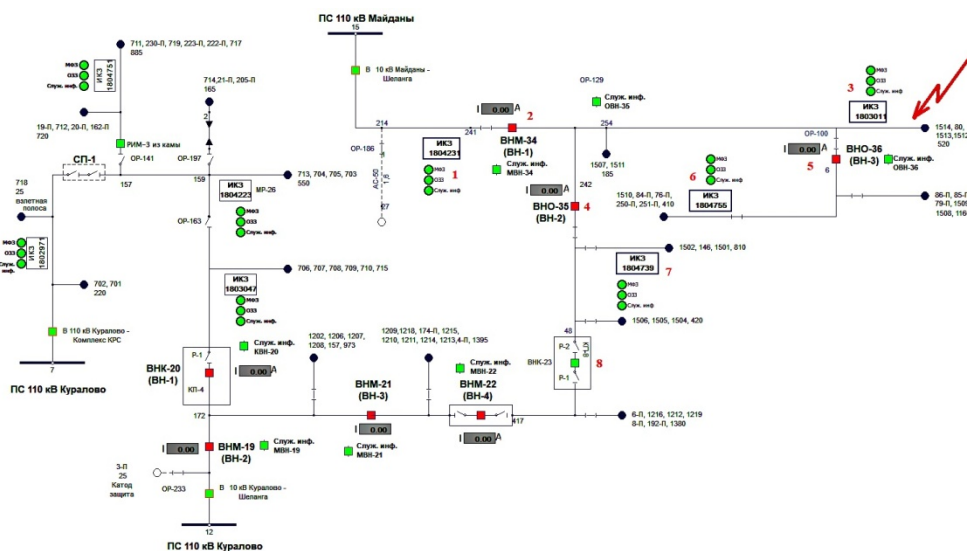


Рис. 3. Визуализация информации о возникающих событиях, выведенной на схему в существующей Scada-системе «ОИК Диспетчер НТ»

Результаты экспериментальных исследований. При реализации экспериментальных исследований были получены пофазные значения токов и напряжений с привязкой ко времени. Было задано количество 256 точек измерения за один период. Пример полученных данных представлен в таблице.

Пример данных, получаемых при ОЗЗ

Дата	Время, чч:мм:сс	Ua, В	Ub, В	Uc, В	Ia, А	Ib, А	Ic, А
25.12.2019	12:16:04	250,44	-311,7	21,94	32,17	-28,09	13,9
25.12.2019	12:16:04.0000780	254,93	-308,75	15,24	33,42	-28,18	13,61
25.12.2019	12:16:04.0001560	259,29	-305,91	8,7	34,7	-28,3	13,32
25.12.2019	12:16:04.0002340	263,17	-302,63	2,16	36,01	-28,38	13
25.12.2019	12:16:04.0003120	267,14	-299,25	-4,34	37,47	-28,46	12,69
25.12.2019	12:16:04.0003900	271,28	-295,73	-10,75	39,03	-28,53	12,4
25.12.2019	12:16:04.0004680	275,17	-291,58	-17,06	40,51	-28,54	12,1
25.12.2019	12:16:04.0005460	279,28	-287,31	-23,37	41,89	-28,54	11,83
25.12.2019	12:16:04.0006240	283,57	-282,97	-29,86	43,15	-28,56	11,56
25.12.2019	12:16:04.0007020	287,55	-278,22	-36,66	44,28	-28,56	11,27
25.12.2019	12:16:04.0007800	291,57	-273,52	-43,98	45,44	-28,61	10,98
25.12.2019	12:16:04.0008580	295,45	-268,89	-51,82	46,66	-28,68	10,7
25.12.2019	12:16:04.0009360	298,5	-263,92	-60,02	47,83	-28,74	10,41
25.12.2019	12:16:04.0010140	301,07	-259,03	-68,59	48,94	-28,79	10,13
25.12.2019	12:16:04.0010920	303,18	-254,24	-77,47	49,92	-28,84	9,85
25.12.2019	12:16:04.0011700	304,49	-249,22	-86,51	50,69	-28,83	9,54
25.12.2019	12:16:04.0012480	305,73	-244,29	-95,81	51,41	-28,79	9,2
25.12.2019	12:16:04.0013260	307,06	-239,36	-105,32	52,18	-28,71	8,82
25.12.2019	12:16:04.0014040	308,04	-233,89	-114,74	52,96	-28,53	8,4
25.12.2019	12:16:04.0014820	309,13	-228,04	-124,13	53,84	-28,29	7,96
25.12.2019	12:16:04.0015600	310,28	-221,73	-133,31	54,79	-28,01	7,52
25.12.2019	12:16:04.0016380	310,94	-214,63	-141,98	55,66	-27,66	7,06
25.12.2019	12:16:04.0017160	311,63	-207,16	-150,27	56,54	-27,31	6,61
25.12.2019	12:16:04.0017940	312,36	-199,48	-158,11	57,4	-26,99	6,15
25.12.2019	12:16:04.0018720	312,59	-191,42	-165,27	58,16	-26,64	5,69

На следующем этапе практического исследования была произведена обработка полученных данных в программной среде Matlab. На рис. 4 и 5 представлены примеры осциллограмм токов и напряжений при ОЗЗ в КТП-1514, демонстрирующих существенный отличия по сравнению с нормальным режимом. Анализ полученных данных с помощью FFT-обработки позволяет выделить ВГ тока и напряжения. На рис. 6 и 7 в качестве примера представлены спектральные составы тока и напряжения, позволяющие выделять аварийный режим на ближайшей к месту ОЗЗ КТП-1514. Для сравнения на рис. 8 и 9 представлены спектральные составы тока и напряжения, аварийный режим на удаленной от места ОЗЗ ТП-355. Амплитуда ВГ напряжения существенно меньше на удаленной ТП-355 по сравнению с амплитудой ВГ напряжения на ближайшей к месту ОЗЗ КТП-1514. Сопоставление амплитуды гармоник по подстанциям позволит локализовать участок с повреждением. Сопоставление данных гармонического состава напряжения и тока в нормальном и аварийном режимах сети представлено в [7, 10].

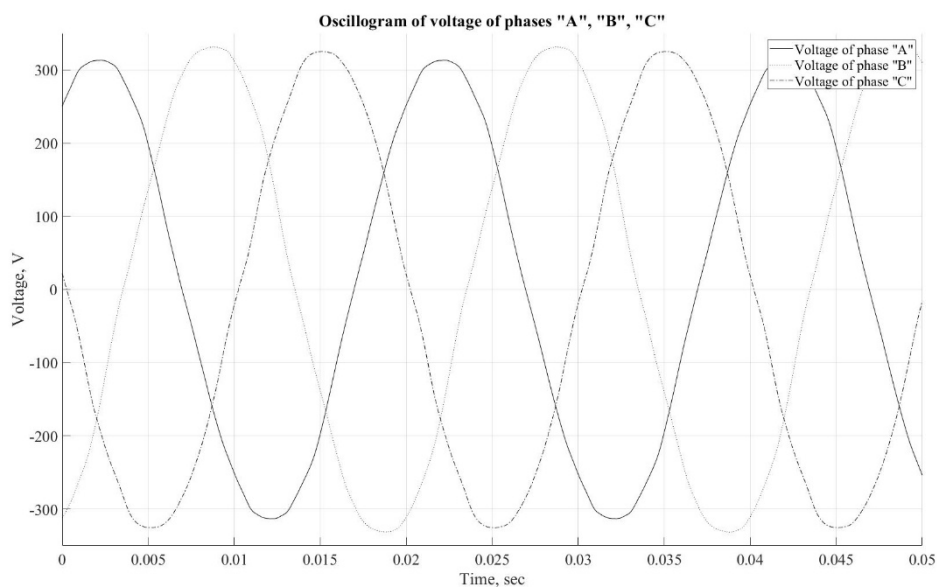


Рис. 4. Осциллограмма напряжений при ОЗЗ в КТП-1514

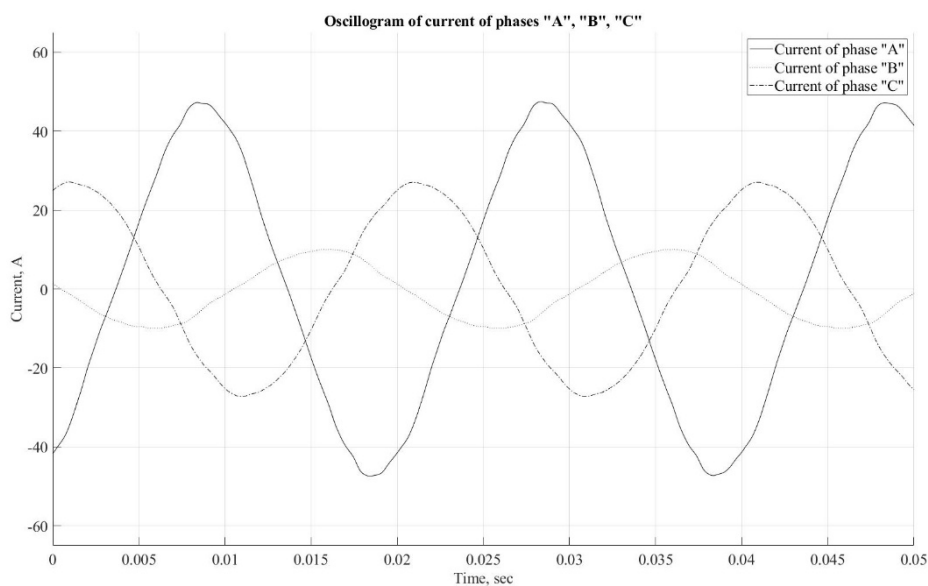


Рис. 5. Осциллограмма токов при ОЗЗ в КТП-1514

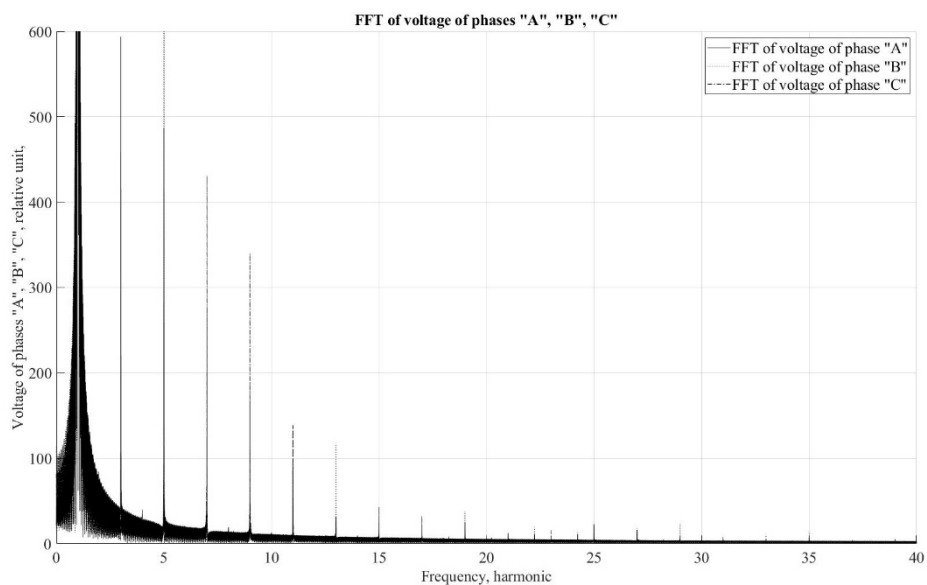


Рис. 6. FFT напряжения при ОЗЗ в КТП-1514

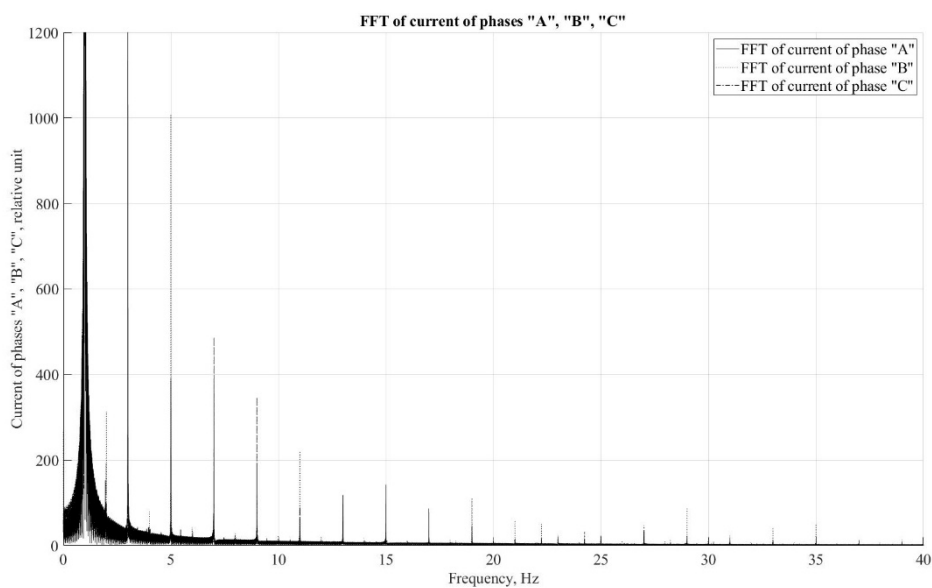


Рис. 7. FFT токов при ОЗЗ в КТП-1514

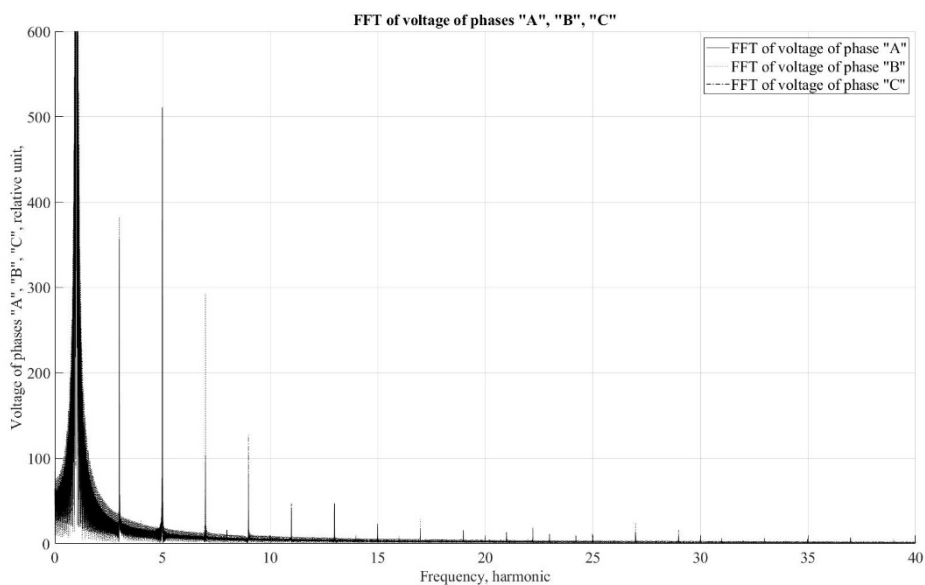


Рис. 8. FFT напряжения при ОЗЗ в ТП-355

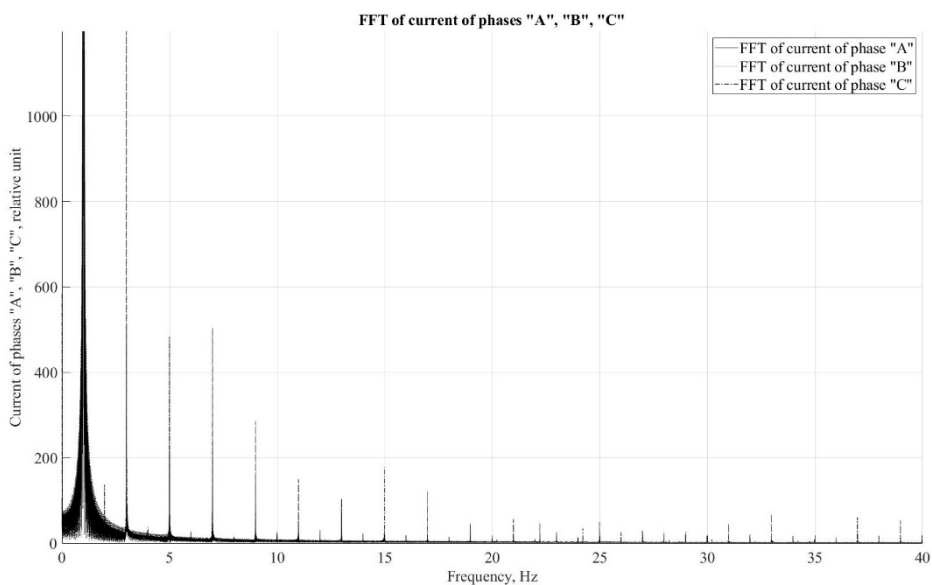


Рис. 9. FFT токов при ОЗЗ в ТП-355

Необходимо отметить, что в ходе экспериментального исследования ВГ тока и напряжения проявлялись в ходе различных видов экспериментальных ОЗЗ, в то время как штатная защита, установленная на питающей подстанции, не реагировала на токи менее 4 А, протекающие, например, при перемежающемся дуговом замыкании.

Выводы. 1. Результаты экспериментальных исследований показали необходимость достаточно высокого значения тока ОЗЗ, а именно: значение более 4 А для срабатывания защит от ОЗЗ, установленных на подстанции. Данные значения токов возможны при установившемся ОЗЗ, которое преимущественно появляется на последних стадиях развития аварий.

2. Показана необходимость внедрения диагностических систем, основанных на реагировании на альтернативные параметры аварийного режима, проявляющиеся, например, в ходе натуральных экспериментов, ВГ тока и напряжения.

3. Предложена возможность использования уже существующего оборудования с расширением функционала существующего ПО для диагностики ОЗЗ.

Литература

1. Абдуллазянов Р.Э. Определения места повреждения в распределительных электрических сетях напряжением 6–35 кВ по их частотным характеристикам: дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2013. 184 с.
2. Абдуллазянов Р.Э., Зарипова С.Н., Федотов А.И. Работа электропередачи распределительной электрической сети напряжением 6–10 кВ в режиме длинной линии // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2012. № 1–2.
3. Вайнштейн Р.А., Карбышев А.Ф. Обоснование выбора тока срабатывания защиты от замыканий на землю в сети с изолированной и заземлённой через резистор // Управление режимами электроэнергетических систем. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1994.
4. Еришов А.М., Хлопова А.В., Сидоров А.И. Система защиты воздушных линий напряжением 0,38 и 6–10 кВ от обрывов проводов // Электрические станции. 2020. № 4(1065). С. 28–32.
5. Осипов Д.С., Долгих Н.Н., Саппаев Д.С., Андреева Е.Г. Анализ режима однофазного замыкания на землю в сетях с комбинированным заземлением нейтрали с помощью вейвлет-преобразования // Омский научный вестник. 2018. № 5(161). С. 76–81. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-161-76-81.
6. Сидоров С.В., Сушков В.В., Сухачев И.С. Особенности моделирования определения мест повреждения воздушных линий электропередачи напряжением 6(10) кВ // Промышленная энергетика. 2020. № 3. С. 33–40.
7. Федотов А.И., Ваганов Г.В., Роженцова Н.В., Абдуллазянов Э.Ю., Курт Ш. Определение мест обрыва и однофазных замыканий на землю в распределительных электрических сетях по параметрам режима на стороне 0,4 кВ понижающих подстанций // Промышленная энергетика. 2016. № 4. С. 34–40.
8. Ширковец А., Сарин Л., Ильиных М., Подъячев В., Шалин А. Резистивное заземление нейтрали в сетях 6–35 кВ с СПЭ-кабелями. Подходы к выбору резисторов и принципам построения защиты от ОЗЗ // Новости электротехники. 2008. № 2. URL: <http://news.elteh.ru/arh/2008/50/14.php> (дата обращения: 12.01.17).
9. Шуин В.А. Теория и практическая реализация защит от однофазных замыканий на землю, основанных на использовании переходных процессов в электрических сетях 6–35 кВ: дис. ... д-ра техн. наук. М., 1994.
10. Fedotov A., Chernova N., Vagapov G. Location of single-phase ground fault by positive, negative and zero sequence of overhead power lines in ungrounded power grids of 6–10–35 kV level voltage. In: Proc. of the 9th Int. Sci. Symposium on Electrical Power Engineering, Elektroenergetika, 2017, no. 9, pp. 384–388.
11. Fischer N., Hou D. Methods for detecting ground faults in medium-voltage distribution power systems. Pullman, WA USA, 2006, p. 15.

ФЕДОТОВ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела НИОКР, Инжиниринговый центр, Казанский государственный энергетический университет, Россия, Казань (fed.ai@mail.ru).

ХАБИБУЛЛИН МАРАТ НАЗИПОВИЧ – инженер, ОАО «Сетевая компания», Россия, Казань (khabibmn@gmail.com).

АБДУЛЛИН ЛИНАР ИЛЬФАТОВИЧ – кандидат технических наук, инженер ОАО «Сетевая компания», Россия, Казань (abdullin.linar@mail.ru).

ВАГАПОВ ГЕОРГИЙ ВАЛЕРИЯНОВИЧ – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник отдела НИОКР, Инжиниринговый центр, Казанский государственный энергетический университет, Россия, Казань (vagapov@list.ru).

Ainur F. ABDULLAZYANOV, Alexander I. FEDOTOV,
Marat N. KHABIBULLIN, Linar I. ABDULLIN, Georgii V. VAGAPOV

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE POSSIBILITY
TO SINGLE OUT THE MODE OF SINGLE-PHASE CLOSURE TO THE GROUND
IN THE CIRCUIT 6–10 kV BY THE INTELLIGENCE SYSTEM
OF ELECTRICITY METERING**

Key words: *intelligence electricity metering systems, higher harmonic components of current and voltage, single-phase closure on the ground, overhead power transmission lines.*

The problem of increasing the reliability of electricity supply is relevant at the current stage of electric power systems development both in the territory of the Russian Federation and in foreign electric power systems. One of the ways to improve the reliability of electricity supply is to prevent the development of emergency situations on overhead power transmission lines as the most important components of electric power systems, which is confirmed by a substantial number of annual domestic and foreign publications. Preventing the development of emergency situations is largely facilitated by early detecting the signs of emergency modes onset in the functioning of all voltage classes' electric networks. At the same time, the development of intelligence systems for technical and commercial electricity metering opens up new opportunities for monitoring numerous parameters of different operational modes of electrical networks, including those of 6–10–35 kV voltage with isolated neutral operation mode. Numerous works of author's teams are devoted to the theoretical analysis of the possibility to early detect the diagnostic signs of emergency signals. However, existing publications do not always present the results of field experimental studies in existing electrical networks on the subject under consideration, which demonstrates some discrepancy between theoretical provisions and the possibility of their practical implementation. The present article attempts to assess the possibility of practical implementing the part of theoretical provisions on early detection of diagnostic signs for emergency regimes and, as a result, increase reliability of electricity supply. At the same time, the article presents the results of the field study the basis of which were used to open up current possibilities of early detecting the diagnostic signs of emergency regimes on the example of individual singling out higher harmonic components of currents and voltages, including when using already existing intelligence electricity metering systems installed in the existing electrical distribution systems with the voltage of 10 kV. At the same time, the article demonstrates implementability and further development of online monitoring of emergency modes in electric networks functioning on the example of identifying a single-phase ground fault, which makes it possible to significantly reduce the costs of temporary and material resources when localizing the single-phase closure zone.

References

1. Abdullazyanov R.E. *Opredeleniya mesta povrezhdeniya v raspredelitel'nykh elektricheskikh setyakh napryazheniem 6–35 kV po ikh chastotnym kharakteristikam. Diss. kand. tekhn. nauk* [Determination of the location of fault in electrical distribution grids of 6–35 kV voltage by the frequency characteristics. Cand. Diss.]. Kazan, 2013, 184 p.

2. Abdullazyanov R.E., Zaripova S.N., Fedotov A.I. *Rabota elektroperedachi raspredelitel'noi elektricheskoi seti napryazheniem 6-10 kV v rezhime dlinnoi linii* [The power line of the 6-10 kV distribution electric grid in the long line mode]. *Izvestiya vuzov. Problemy energetiki*, 2012, no. 1-2.
3. Vainshtein R.A., Karbyshev A.F. *Obosnovanie vybora toka sratatyvaniya zashchity ot zamykaniy na zemlyu v seti s izolirovannoi i zazemlennoi cherez rezistor* [Foundation of the choice of the current of protection against ground faults in the grid with isolated and grounded through the resistor]. In: *Upravlenie rezhimami elektroenergeticheskikh sistem* [Control of modes of electric power systems]. Novosibirsk, 1994.
4. Ershov A.M., Khlopova A.V., Sidorov A.I. *Sistema zashchity vozdukhnykh linii napryazheniem 0,38 i 6-10 kV ot obryvov provodov* [System of protection of overhead power lines with voltage 0.38 and 6-10 kV from damages of conductor]. *Elektricheskie stantsii*, 2020, no. 4 (1065), pp. 28–32.
5. Osipov D.S., Dolgikh N.N., Satpaev D.S., Andreeva E.G. *Analiz rezhima odnofaznogo zamykaniya na zemlyu v setyakh s kombinirovannym zezemleniem neutrali s pomoshch'yu veivlet-preobrazovaniya* [Analysis of a single-phase ground fault mode in grids with combined neutral grounding using wavelet transform]. *Omskii nauchnyi vestnik*, 2018, no. 5(161), pp. 76–81. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-161-76-81.
6. Sidorov S.V., Sushkov V.V., Sukhachev I.S. *Osobennosti modelirovaniya opredeleniya mest povrezhdeniya vozdukhnykh linii elektroperedachi napryazheniem 6(10) kV* [Features of modeling the determination of places of damage of overhead power lines of 6 (10) kV voltage]. *Promyshlennaya energetika*, 2020, no. 3, pp. 33–40.
7. Fedotov A.I., Vagapov G.V., Rozhentsova N.V., Abdullazyanov E.Yu., Kurt Sh. *Opredele-nie mest obryva i odnofaznykh zamykaniy na zemlyu v raspredelitel'nykh elektricheskikh setyakh po parametram rezhima na storone 0,4 kV ponizhayushchikh podstantsii* [Location of the locations of breakage and single-phase ground faults in distribution electrical networks by mode parameters on the 0.4 kV side step-down substations]. *Promyshlennaya energetika*, 2016, no. 4, pp. 34–40.
8. Shirkovets A., Sarin L., Il'inykh M., Pod'yachev V., Shalin A. *Rezistivnoe zazemlenie neutrali v setyakh 6-35 kV s SPE-kabelyami. Podkhody k vyboru rezistorov i printsipam postroeniya zashchity ot OZZ* [Resistive grounding of neutral in 6-35 kV grids with XLPE cables. Approaches to the choice of resistors and the principles of constructing protection against SPP]. *Novosti elektrotehniki*, 2008, no. 2. Available at: <http://news.elteh.ru/arh/2008/50/14.php> (Accessed 12 January 2017).
9. Shuin V.A. *Teoriya i prakticheskaya realizatsiya zashchit ot odnofaznykh zamykaniy na zemlyu, osnovannykh na ispol'zovanii perekhodnykh protsessov v elektricheskikh setyakh 6–35 kV: diss. ... dokt. tekhn. nauk* [Theory and practical implementation of protection of single-phase ground faults based on the using of transients in electrical grids 6–35 kV. Doct. Diss.]. Moscow, 1994.
10. Fedotov A., Chernova N., Vagapov G. *Location of single-phase ground fault by positive, negative and zero sequence of overhead power lines in ungrounded power grids of 6-10-35 kV level voltage*. In: *Proc. of the 9th Int. Sci. Symposium on Electrical Power Engineering, Elektroenergetika*. 2017, no. 9, pp. 384–388.
11. Fischer N., Hou D. *Methods for detecting ground faults in medium-voltage distribution power systems*. Pullman, WA USA, 2006, p. 15.

AINUR F. ABDULLAZYANOV – Engineer of the JSC «Grid Company», Russia, Kazan (abdullazyanovaf@gridcom-rt.ru).

ALEXANDER I. FEDOTOV – Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher of Research and Development Department, Engineering Center, Kazan State Power Engineering University, Russia, Kazan (fed.ai@mail.ru).

MARAT N. KHABIBULLIN – Engineer of the JSC «Grid Company», Russia, Kazan (khabibmn@gmail.com).

LINAR I. ABDULLIN – Candidate of Technical Sciences, Engineer of the JSC «Grid Company», Russia, Kazan (abdullin.linar@mail.ru).

GEORGII V. VAGAPOV – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Research and Development Department, Engineering Center, Kazan State Power Engineering University, Russia, Kazan (vagapov@list.ru).

Формат цитирования: Абдуллазянов А.Ф., Федотов А.И., Хабибуллин М.Н., Абдуллин Л.И., Вагапов Г.В. Экспериментальное исследование возможности выделения режима однофазного замыкания на землю в сети 6–10 кВ интеллектуальной системой учета электроэнергии // Вестник Чувашского университета. – 2020. – № 3. – С. 5–15. DOI: 10.47026/1810-1909-2020-3-5-15.