

УДК 621.31.004.18

**ОБ УЛУЧШЕНИИ РАБОТЫ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
С СОБСТВЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ
В ДИСТАНЦИОННЫХ ОРГАНАХ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ
ОДНОФАЗНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ВРАЩАЮЩИМСЯ
МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ**

Г.А. Захаров

Кубанский государственный технологический университет
Россия, 350072, г. Краснодар, ул. Московская, 2

Рассмотрены проблемы совершенствования функционирования электротехнических комплексов (ЭТК) систем электроснабжения промышленных предприятий, имеющих собственную генерацию, и пути их решения при инновационном подходе к реализации дистанционной релейной защиты. Обсуждаются вопросы, связанные с неэффективностью применения максимальной токовой защиты для отходящих от шин линий 6(10) кВ, а также недостатки и особенности использования известных способов реализации дистанционной релейной защиты. По результатам расчетов для ряда объектов и, в частности, в данной работе для конкретного типичного предприятия проведен анализ уровней токов коротких замыканий в расчетных точках схемы главных соединений электростанции собственных нужд. Это позволяет констатировать для ЭТК промышленных предприятий необходимость и предложить направление совершенствования дистанционных органов релейной защиты на основе применения однофазных трансформаторов с вращающимся магнитным полем. Представлены экспериментальные зависимости, отражающие работу данных устройств и характеризующие эффективность их применения в релейной защите рассматриваемых ЭТК.

Ключевые слова: электротехнические комплексы, системы электроснабжения, промышленные предприятия, электростанция собственных нужд, релейная защита, дистанционная защита, дистанционный орган, однофазные трансформаторы с вращающимся магнитным полем.

В соответствии с «Энергетической стратегией России на период до 2030 года» (утвержденной распоряжением Правительства РФ от 13.11.2009 № 1715-р, раздел V, подраздел б) для повышения энерговооруженности и надежности энергоснабжения предприятиями различных отраслей промышленности ведется развитие собственных электротехнических комплексов путем строительства объектов малой распределенной генерации электрической энергии в виде электростанций собственных нужд (ЭСН) электрической мощностью от 1 до 50 МВт. В составе генерирующих мощностей данных ЭСН используются преимущественно модульные (контейнерные) дизельные, газопоршневые, газотурбинные агрегаты электрической мощностью от 1 до 5 МВт, количеством до 10 единиц, вырабатывающие электрическую энергию на напряжении 6(10) кВ, используемую для покрытия собственных нужд технологического процесса производства и направления излишек в общую электрическую сеть. При этом проектирование и эксплуатация подобных электротехнических комплексов вызывают ряд сложностей, в

Геннадий Александрович Захаров, ассистент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий».

частности при выполнении релейной защиты (РЗ) линий 6–10 кВ, питающих нагрузки предприятия, а также обеспечивающих связь с энергосистемой.

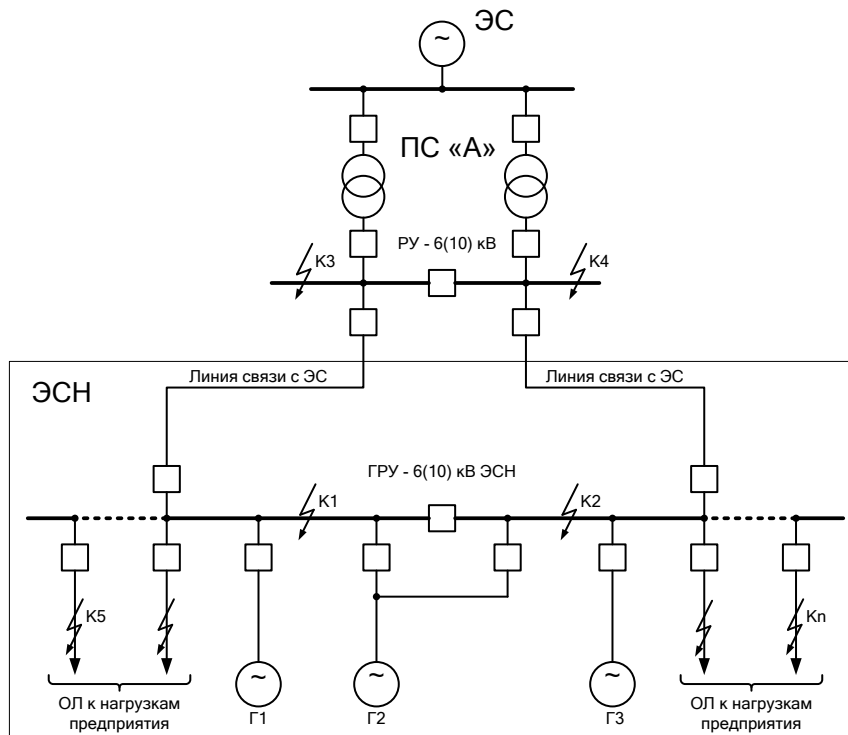


Рис. 1. Вариант выполнения схемы главных соединений ЭСН промышленного предприятия при наличии связи с энергосистемой

На рис. 1 приведен пример реализации схемы главных соединений ЭСН промышленного предприятия. Данная схема включает в себя главное распределительное устройство ЭСН (ГРУ), выполненное по принципу одной системы шин 6(10) кВ с секционированием, генераторные установки (Г1 – Г3), отходящие линии (ОЛ) питания нагрузок предприятия, а также линии связи каждой секции шин ГРУ-6(10) кВ с энергосистемой через подстанцию ПС «А». Представленная главная схема обеспечивает параллельную работу от одной до трех генераторных установок совместно с энергосистемой «в острове», на нагрузки промышленного предприятия, а также питание нагрузок предприятия от подстанции ПС «А» при отсутствии генерации. По аналогии с изображенной на рис. 1 схемой выполнена ЭСН предприятия по производству сельхозтехники, расположенного на территории Краснодарского края. В ее состав входят три газопоршневых генераторных агрегата (ГПА) 1750 GQNB/C (Cummins, Великобритания) электрической мощностью 1750 кВт, напряжением 10,5 кВ. Параллельная работа ЭСН с энергосистемой предусматривается через РУ-10 кВ подстанции с приведенными значениями реактансов коротких замыканий (КЗ) 0,812 Ом и 1,191 Ом в максимальном и минимальном режимах соответственно. Для данного объекта при помощи программного комплекса DigSILENT® Power Factory® выполнен проектный расчет токов КЗ в различных режимах работы ЭСН, в различных точках (см. рис. 1), результаты которого приведены в таблице.

Результаты расчета тока КЗ ЭСН, кА

Режим работы		Расчетная точка КЗ		
		К1, К2	К3, К4	К5, ..., Кп
Работа трех ГПГА ЭСН параллельно с ЭС	макс.	9,846	10,338	4,473
	мин.	6,136	6,259	2,97
Работа двух ГПГА ЭСН параллельно с ЭС	макс.	9,019	9,169	3,942
	мин.	5,77	5,916	2,558
Работа одного ГПГА ЭСН параллельно с ЭС	макс.	8,189	8,89	3,411
	мин.	5,403	5,573	2,146
Работа трех ГПГА ЭСН «в острове»	макс.	2,59	2,169	1,593
	мин.	1,101	1,121	1,21
Работа двух ГПГА ЭСН «в острове»	макс.	1,661	1,518	1,072
	мин.	0,732	0,715	0,836
Работа одного ГПГА ЭСН «в острове»	макс.	0,832	0,785	0,547
	мин.	0,366	0,373	0,422
Питание нагрузок предприятия от ЭС	макс.	7,357	8,169	2,88
	мин.	5,035	5,29	1,734

Анализируя представленные в таблице данные, можно сделать вывод о различии уровней токов КЗ в каждой расчетной точке в зависимости от режимов работы источников питания ЭСН. Особенно данное различие проявляется между режимами совместной работы с энергосистемой и работой генерации ЭСН «в острове». В данных условиях использование на отходящих от ГРУ-6(10) кВ ЭСН линиях максимальных токовых защит часто оказывается неэффективным по обеспечению нормативной чувствительности. Переключение групп уставок защит, реализуемое большинством современных микропроцессорных терминалов релейной защиты, в полной мере решить данную проблему не позволяет, прежде всего зачастую из-за малого числа сохраняемых групп, а также необходимости пренебрегать селективностью с нижестоящими защитами ради повышения чувствительности при работе генерации «в острове», что снижает надежность бесперебойного электроснабжения конечных потребителей.

Оптимальным решением данной проблемы является использование на отходящих линиях от ГРУ-6(10) кВ ЭСН РЗ, функционирование которой не зависит от режимов работы источников питания, а определяется параметрами защищаемого оборудования. Такой защитой является дистанционная защита (ДЗ), определяющая КЗ по сопротивлению до места его возникновения. Однако применение устройств ДЗ в системе РЗ подобных объектов является затруднительным по причине высокой стоимости и сложности современных микропроцессорных терминалов, реализующих данную функцию, а также значительного возраста и низких эксплуатационных и технических показателей электромеханических и полупроводниковых аналогов. Поэтому задача разработки и совершенствования устройств ДЗ для применения в системе РЗ электротехнических комплексов промышленных предприятий, сочетающих высокие технические показатели ра-

боты, простоту конструкции, а также сниженную стоимость, является актуальной.

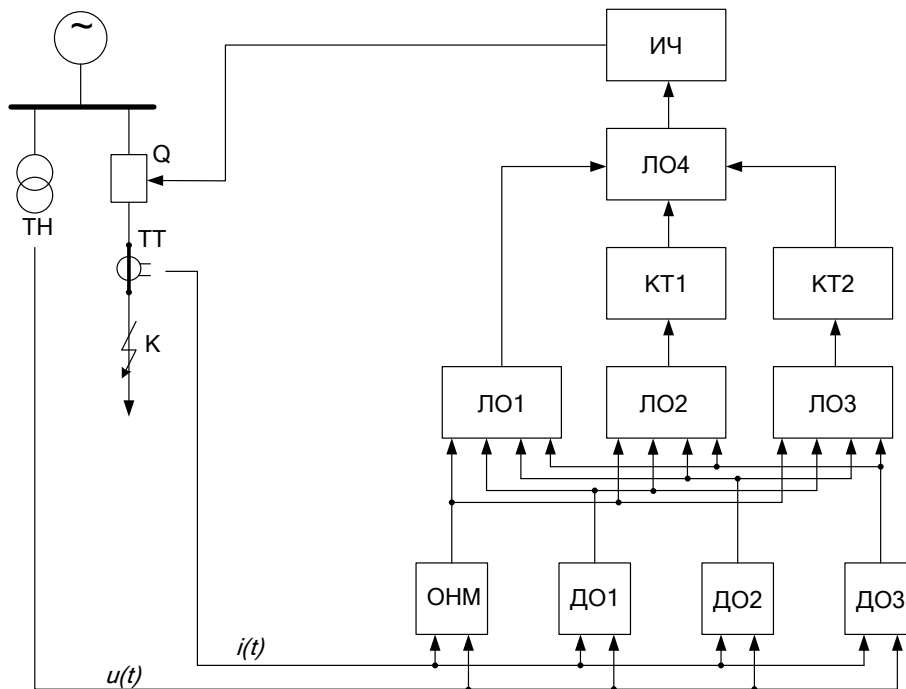


Рис. 2. Структурная схема дистанционной защиты линии электропередач

На рис. 2 представлена типовая структурная схема дистанционной защиты линии электропередач. Ее работа определяется функциональной связью и взаимодействием различных органов, входящих в ее состав: измерительных (ОНМ, ДО), логических (ЛО, КТ), исполнительных (ИЧ). Причем основным измерительным органом ДЗ является дистанционный орган (ДО). ДО относится к органам с двумя входными воздействующими величинами и реагируют на отношение напряжения к току в месте их установки (так называемое входное сопротивление). Это входное сопротивление пропорционально расстоянию до места КЗ, поэтому дистанционные органы также называют реле сопротивления. Технические характеристики дистанционных органов во многом определяют показатели работы дистанционной защиты, такие как точность и быстрдействие.

Интересным подходом в вопросе совершенствования ДО является применение в их составе однофазных трансформаторов с вращающимся магнитным полем (ОТВП) [1]. Принципиальная схема такого устройства приведена на рис. 3.

Подробное описание взаимосвязи ее элементов и принципов функционирования приведено в [2-4]. Изображенная схема использует в своей работе простой алгоритм сравнения по абсолютному значению с помощью выпрямления двух электрических величин $\underline{E}_1$ и $\underline{E}_2$, представляющих собой функцию входных напряжения и тока, аналогичный описанному в [7] и использованному в реле сопротивления типа ДЗ-2 [8]. Формирование величин $\underline{E}_1$ и $\underline{E}_2$ происходит за счет соответствующей обмотки, пространственного расположения и соединения обмоток датчиков тока ОТВП(i) и напряжения ОТВП(u).

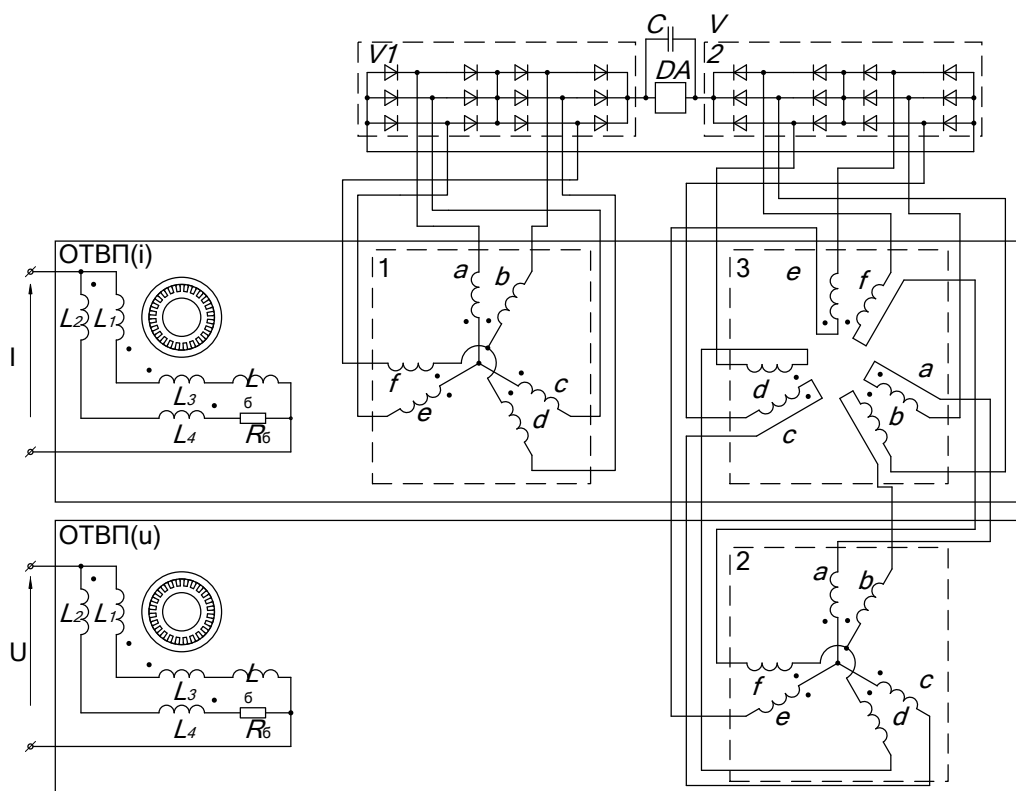


Рис. 3. Принципиальная схема ДО на основе ОТВП

Использование в составе устройства ОТВП позволяет добиться ряда технических преимуществ перед традиционными схемами, таких как:

- формирование посредством ОТВП информационных признаков входных сигналов без дополнительной нагрузки на логическую часть устройства;
- выполнение ОТВП гальванической развязки логической части ДО и цепей первичных измерительных трансформаторов тока и напряжения;
- получение на выходах ОТВП величин в виде многофазных систем напряжений и применение многофазного выпрямления для снижения пульсаций на входе логической части устройства;
- отсутствие необходимости использования на входе логической части ДО сложных фильтров и сглаживающих устройств с большими постоянными времени.

Таким образом, использование ОТВП в составе ДО способствует повышению точности работы, увеличению быстродействия, упрощению конструкции и алгоритмов работы, повышению надежности, снижению стоимости самого устройства и в конечном результате ДЗ.

На рис. 4 представлены математическая модель ДО в матричной форме и алгоритм его работы [5]. На основании их разработаны компьютерная модель ДО на основе ОТВП и его экспериментальный образец, с помощью которых произведено подтверждение теоретических основ формирования подобного ДО и проведена экспериментальная оценка основных технических характеристик полученного устройства в сравнении с некоторыми современными аналогами с использованием комплекса РЕТОМ-51 [6]. На рис. 5–7 представлены основные результаты исследований.

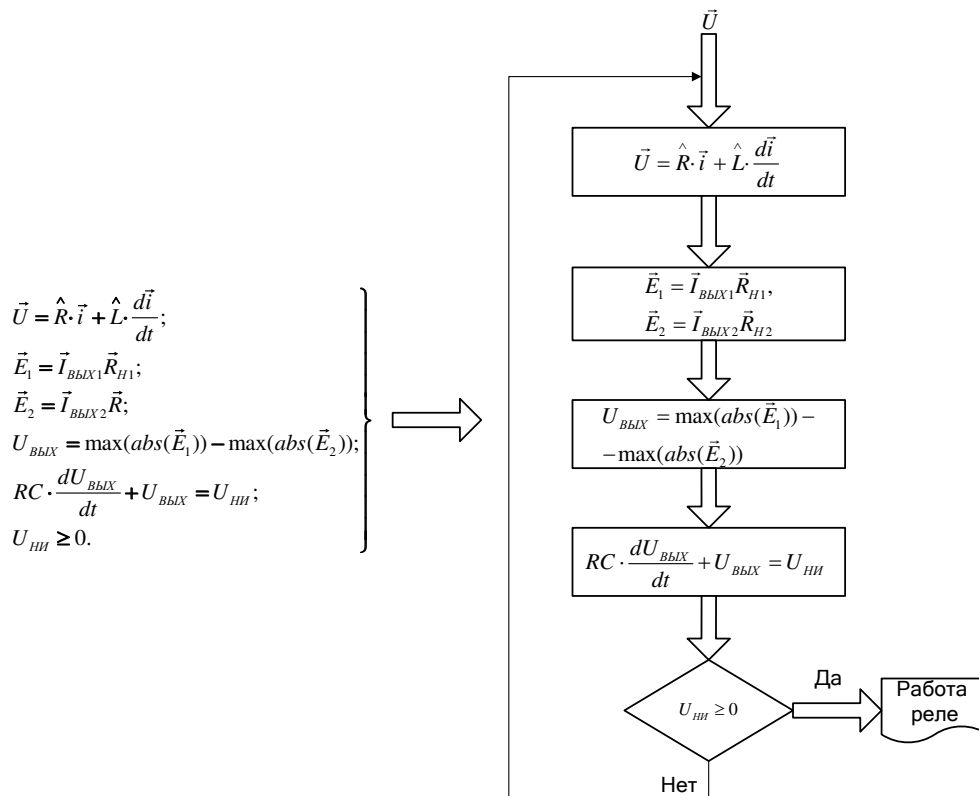


Рис. 4. Математическая модель и алгоритм работы ДО на основе ОТВП

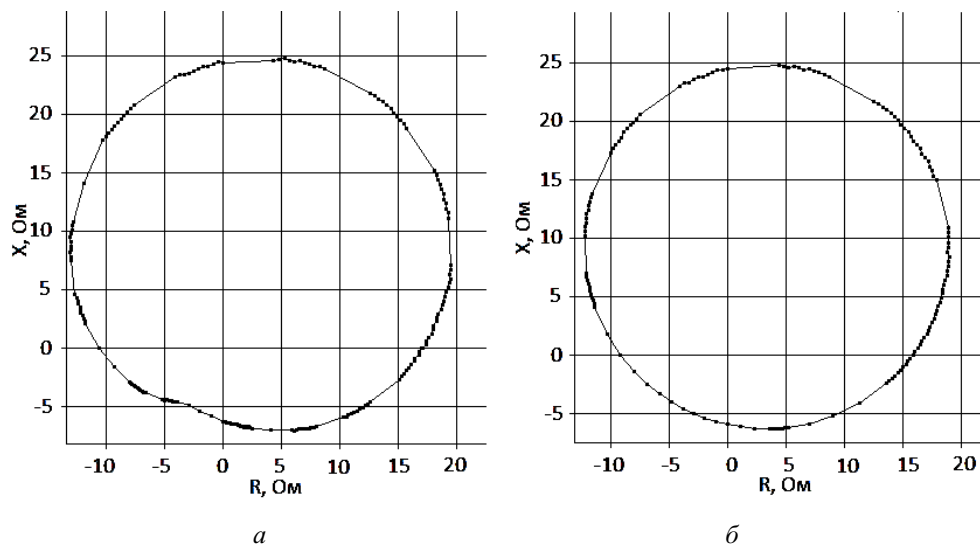


Рис. 5. Экспериментальные характеристики срабатывания в комплексной плоскости опытного образца ДО на основе ОТВП с параметрами $Z_0 = 10,42$ Ом, $r_0 = 15,48$ Ом, $\varphi_{мч} = 69,5^0$ (а) и терминала REF630 (Asea Brown Boveri Ltd., Финляндия) (б)

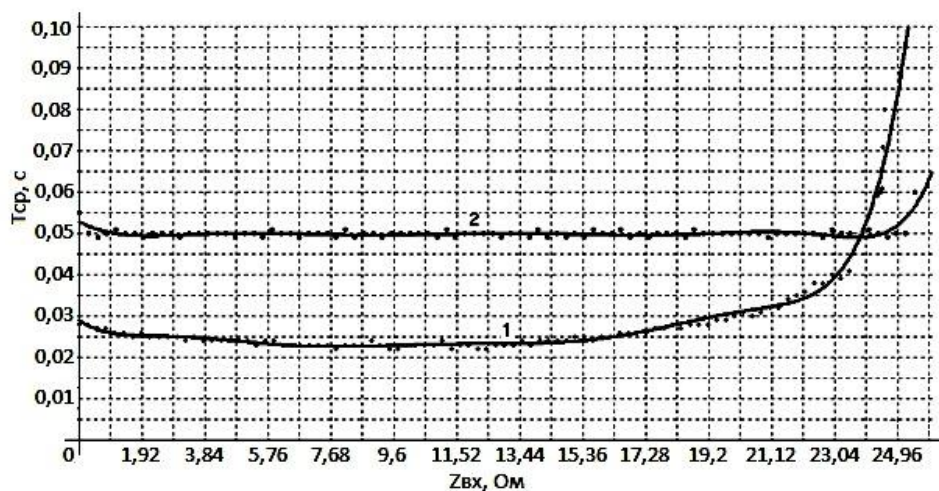


Рис. 6. Зависимости времени срабатывания от входного сопротивления для ДО на основе ОТВП (1) и терминала REF630 (2)

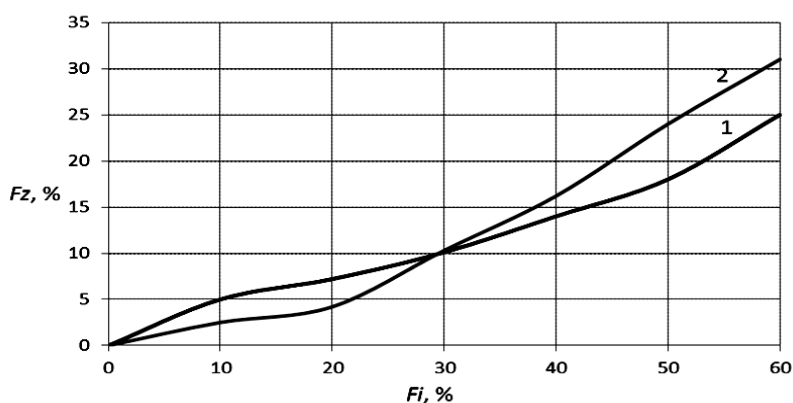


Рис. 7. Зависимости погрешности срабатывания ДО на основе ОТВП (1) и терминала REF630 (2) в направлении угла максимальной чувствительности при искажении входного сигнала тока

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили основные теоретические положения о работе ДО на основе ОТВП. Представленные на рис. 5–7 зависимости демонстрируют сопоставимость основных технических характеристик ДО на основе ОТВП и микропроцессорного устройства производства одного из лидеров отрасли. Также отмечено некоторое превосходство по быстродействию – на 0,02 с, по точности работы – на 6–8 % для экспериментального образца предлагаемого устройства.

Таким образом, полученные данные, общая простота конструкции и алгоритма функционирования, а также сниженная при серийном изготовлении стоимость по сравнению с современными микропроцессорными аналогами дают возможность применения ДО на основе ОТВП в составе дистанционной защиты электротехнических комплексов промышленных предприятий с собственной генерацией, тем самым повышая эффективность их работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент 2333562 РФ. Однофазный трансформатор вращающегося поля / Б.А. Коробейников, Д.И. Сидоров (РФ). – 5 с.
2. Патент на полезную модель 128408 РФ. Реле сопротивления / Б.А. Коробейников, А.Б. Коробейников, В.М. Радионов, Г.А. Захаров (РФ). – 5 с.
3. Патент на полезную модель 108888 РФ. Реле полного сопротивления / Б.А. Коробейников, А.Б. Коробейников, В.М. Радионов, Г.А. Захаров (РФ). – 5 с.
4. Коробейников Б.А., Захаров Г.А., Радионов В.М. Дистанционный орган релейной защиты на основе преобразователей с вращающимся магнитным полем // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2013. – № 3. – С. 68–72.
5. Коробейников Б.А., Захаров Г.А., Сидоров Д.И., Мироненко В.В. Дистанционный орган в виде реле полного сопротивления на основе преобразователей с вращающимся магнитным полем // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – № 05(099). – IDA [article ID]: 0991405009. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/05/pdf/09.pdf>, 0,750 у.п.л.
6. Коробейников Б.А., Захаров Г.А. Дистанционные органы релейной защиты. Пути совершенствования // Новости электротехники: информационно-справочное издание. – 2014. – № 4. – С. 28-30.
7. Фабрикант В.Л. Основы теории построения измерительных органов релейной защиты и автоматики (органы с двумя электрическими величинами). – М.: Высшая школа, 1968. – 267 с.
8. Шнеерсон Э.М. Полупроводниковые реле сопротивления. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 144 с.

Статья поступила в редакцию 15 января 2015 г.

ON IMPROVING THE WORK OF ELECTROSUPPLY SYSTEMS WITH OWN GENERATION WHEN USED IN THE DISTANCE DETECTORS OF RELAY PROTECTION ONE-PHASE TRANSFORMERS WITH ROTATING MAGNETIC FIELD

G.A. Zakharov

Kuban State Technological University
2, Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russia

The problems of improving the operation of electrotechnical complexes (ETC) for power supply systems of electricity prosumers' industrial enterprises with their own generation are discussed, and solutions using an innovative approach to the implementation of distance relay protection are offered. The issues concerning the inefficiency of the overcurrent protection for the lines exiting bus 6 (10) kV busses, as well as the disadvantages and the specific features of the use of the well-known ways to implement distance relay protection are treated. According to the results of the calculations for some plants and, in particular, in this paper for a certain typical enterprise, the levels of short circuit currents in the calculated points of the prosumer's power station main connections circuit are analyzed. This allows, for industrial enterprises ETCs, to state the need to propose a way of improving the relay protection distance detectors based on the use of one-phase rotating magnetic field transformers. The experimental dependences are presented, reflecting the operation of these devices and characterizing the efficiency of their application in the relay protection of the ETCs in question.

Keywords: *electrotechnical complexes, electrosupply systems, industrial enterprises, power station own needs, relay protection, distance protection, distance detector, one-phase transformers with rotating magnetic field.*