

М. О. Балаев, В. В. Власюк, Г. А. Кардашев, С. В. Алёшин Анализ поведения системы активно-адаптивного управления напряжением при отказе одного из программных модулей

Аннотация. Разработана система активно-адаптивного управления напряжением в распределительных электрических сетях, создана её физическая модель. Проведены испытания, выявившие влияние отказа программных модулей на качество регулирования. Предложен алгоритм компенсации потери данных и оптимизации управления комплексом при отказе программных модулей.

Ключевые слова и фразы: управление напряжением, качество электроэнергии, управление РПН, сетевые средства, натурная модель.

Введение

Качество передаваемой потребителю электроэнергии непосредственно влияет на эффективность работы и сроки службы электроприемников и должно соответствовать установленным стандартам [1], отклонение от нормы не должно выходить за установленные нормативными требованиями [2] рамки. Как показано в [3], при управлении напряжением и компенсации реактивной мощности, сетевые компании не учитывают ряд важных факторов, влияющих на качество потребляемой электроэнергии, что приводит к возникновению нарушений, связанных с несоответствием качества электроэнергии (КЭ) установленным стандартам [2]. Согласно статистическим данным [4], наиболее часто регистрируются нарушения по установившемуся отклонению напряжения.

Традиционные способы управления устройствами регулирования под нагрузкой (РПН), основаны на непрерывном анализе текущего уровня напряжения на шинах центра питания (ЦП) с последующим

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках мероприятия 1.2 ФЦП (уникальный идентификатор проекта RFMEFI57414X0095).

© М. О. Балаев⁽¹⁾, В. В. Власюк⁽²⁾, Г. А. Кардашев⁽³⁾, С. В. Алёшин⁽⁴⁾, 2016

© Экспериментальный завод научного приборостроения РАН^(1, 2, 4), 2016

© Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)⁽³⁾, 2016

© Программные системы: теория и приложения, 2016

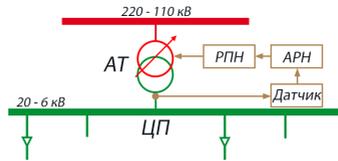


Рис. 1. Схема традиционного способа управления напряжением на шине центра питания посредством РПН

выбором требуемого коэффициента трансформации, посредством автоматического регулятора напряжения (АРН) [5–7] (см. рис. 1).

Такой способ регулирования обладает рядом существенных недостатков:

- не учитывается неоднородность нагрузок в распределительной сети между потребителями,
- не учитываются фактические уровни напряжения в распределительной сети,
- нет объективных данных о количестве потребителей, удовлетворенных уровнем напряжения на выводах своих электроприемников,
- отсутствует обратная связь с непосредственным потребителем электроэнергии.

Учитывая вышеперечисленные недостатки традиционного управления качеством электроэнергии в распределенных сетях, была разработана система активно-адаптивного управления напряжением (ААУН) в распределительных электрических сетях [3]. В этом случае система осуществляет сбор и непрерывный анализ информации об уровнях напряжений на шинах трансформаторной подстанции 6-10/0,4 кВ (ТП) конкретных потребителей [8, 9], что позволяет управлять устройствами РПН с учетом прогноза изменения напряжения у потребителя. Система ААУН предназначена для автоматического управления уставками РПН в зависимости от изменения параметров системы или внешних возмущений, действующих на сеть. Под внешними возмущениями понимаются изменения параметров режима сети.

На рис. 1 представлена схема традиционного способа управления напряжением на шине центра питания посредством РПН, заключающегося в выборе уставок автоматических регуляторов напряжения.

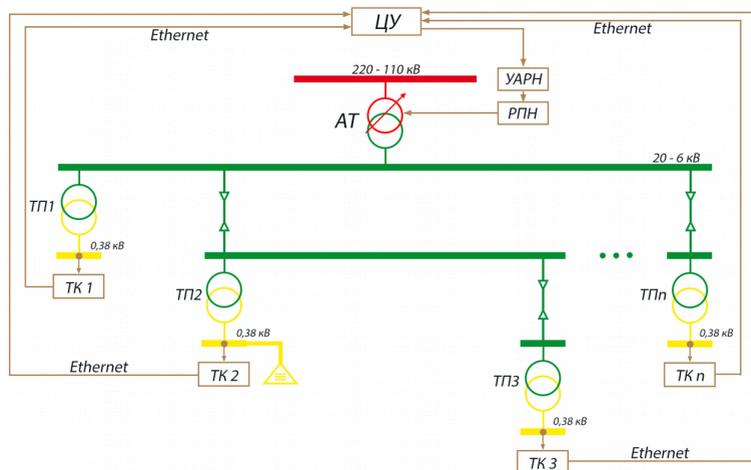


Рис. 2. Схема управления напряжением на шине центра питания с использованием системы ААУН

Предлагаемый метод отличается от традиционного тем, что осуществляется управление с учётом фактических уровней напряжения в узлах (на шинах стороны НН ТП), ТК распределительной сети (см. рис. 2 [8]).

Система ААУН включает в свой состав:

- Точки контроля (ТК) — устройства, которые располагаются в заранее выбранных узлах сети, производящие непрерывные измерения установившегося отклонения напряжения прямой последовательности основной частоты, обработку этих значений и формирование сигнала по запросу ЦУ о необходимом номере отпайки РПН.
- Центр управления формирует по результатам полученных от ТК данных управляющий сигнал об изменении номера отпайки. Основными функциями ЦУ является выбор требуемого номера отпайки, соответствующего допустимому отклонению напряжения для наибольшего возможного числа потребителей. При этом учитывается число переключений РПН.
- Устройство активно-адаптивного регулирования напряжением (УААРН) осуществляет контроль функционирования РПН и формирует сигнал об изменении номера отпайки. УААРН производит

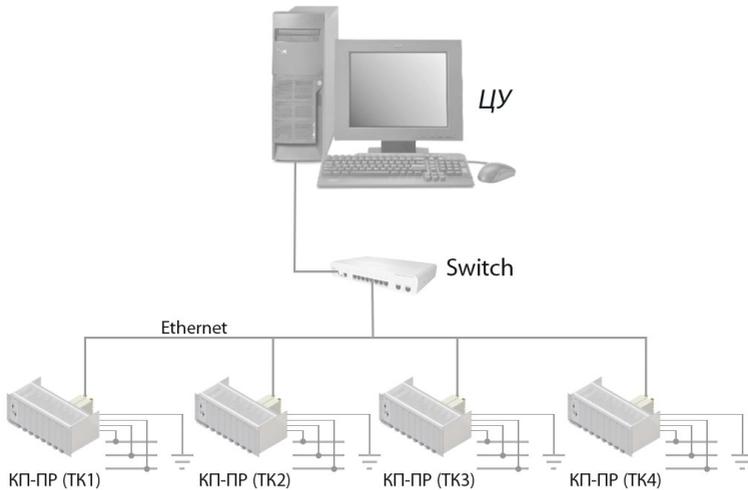


Рис. 3. Натурная модель системы ААУН

диагностику функционирования цепей автоматики и электропривода РПН.

1. Аппаратно-программный комплекс натурной модели системы ААУН

Для анализа функционирования системы ААУН при отказе программных модулей была разработана представленная на рис. 3 натурная модель системы ААУН, состоящая из следующих устройств:

- (1) 4 точки контроля: ТК1, ТК2, ТК3 и ТК4,
- (2) Центр управления,
- (3) Стенд генерации трехфазного напряжения для моделирования распределительной сети,
- (4) Каналы передачи данных стандарта Ethernet.

Контроль и управление комплексом модели ААУН осуществляет полномасштабная SCADA система для промышленности и энергетики — «Соната».

SCADA «Соната» построена с использованием принципа многоядерной архитектуры. Каждое программное приложение имеет в своем составе микроядро, хранящее используемые им значения сигналов

и отвечающее за их синхронизацию. Каждое приложение напрямую связано с другими приложениями (в т.ч. и на других ТК), совместно использующими набор сигналов. Благодаря такой архитектуре повышается общая живучесть системы и ее надежность. Кроме того, такой подход приводит к унификации межпрограммного взаимодействия, т.е. драйвер и прикладная программа передают данные как локально, так и между узлами по единому протоколу.

Каждая ТК представляет собой контроллер присоединения программируемый регистрирующий (КП-ПР), подключенный к стенду генерации трехфазного напряжения. КП-ПР производит прием, обработку (включая расчет базовых электротехнических параметров) и регистрацию сигналов переменного тока (напряжения) в аварийных и нормальных режимах работы электротехнических параметров.

В состав ТК входят следующие программные модули:

- (1) «Драйвер ввода-вывода», который производит запись мгновенных значений фазных напряжений и расчет необходимых электротехнических параметров;
- (2) «Программный модуль – блок прогнозирования», который по значениям установившегося отклонения напряжения прямой последовательности основной частоты формирует сигнал о необходимости изменения номера отпайки РПН;
- (3) Программный модуль «Архивации данных» осуществляет архивацию полученных значений основной частоты прямой последовательности усредненных на одноминутных интервалах.

Значения номеров отпайек, полученные в «Блоке прогнозирования» из ТК по интерфейсу Ethernet передается в ЦУ для последующей обработки.

ЦУ реализован на базе ЭВМ, обеспечивающей управление системой в режиме реального времени. ЭВМ осуществляет прием, обработку и архивацию значений электротехнических параметров каждой ТК с периодичностью 1 секунда, на годовом интервале времени.

В ходе испытаний были выгружены программные модули, влияющие на качество управления электроэнергией комплексом ААУН.

Ниже приведен анализ результатов полученных в ходе испытаний, в котором отражено влияние отказа программных модулей на качество управления системой. Предложен метод решения данной проблемы.

ТАБЛИЦА 1. Влияние отказа сетевых модулей на качество управления системой

Номер отпайки	Эталон (все программные модули в работе)	Выгружены программные модули на ТК1		Выгружены программные модули на ТК1 и ТК2		Выгружены программные модули на ТК1, ТК2 и ТК3	
		Номер отпайки	кол-во несоот.	Номер отпайки	Кол-во несоот.	Номер отпайки	Кол-во несоот.
-9	4	4	0	4	0	0	4
-8	8	8	0	8	0	0	8
-7	8	8	0	8	0	0	8
-6	8	8	0	8	0	0	8
-5	8	8	0	8	0	0	8
-4	8	8	0	8	0	0	8
-3	8	0	8	0	8	0	8
-2	8	0	8	0	8	0	8
-1	8	0	8	0	8	0	8
0	8	0	8	0	8	0	8
1	8	40	32	68	60	112	104
2	8	8	0	8	0	8	0
3	8	8	0	8	0	8	0
4	8	8	0	8	0	16	8
5	8	8	0	8	0	0	8
6	8	8	0	0	8	0	8
7	8	8	0	0	8	0	8
8	8	8	0	0	8	0	8
9	4	4	0	0	8	0	8
Кол-во неоптимальных переключений	0	32		60		112	
Погрешность в расчетах	0	22,222		41,667		77,778	

2. Влияние отказа программных модулей на качество управления

Для анализа поведения модели ААУН при отказе программных модулей были проведены следующие испытания (см. таблицу 1):

- (1) Программные модули всех ТК находятся в работе (эталон);
- (2) Выгружены программные модули в одной ТК (КП-ПР1);
- (3) Выгружены программные модули в двух ТК (КП-ПР1 и КП-ПР2);
- (4) Выгружены программные модули в трех ТК (КП-ПР1, КП-ПР2 и КП-ПР3).

Опыты проводились в условиях predetermined режима сети: на протяжении 12 часов на ТК подавались такие значения напряжений, при которых в ЦУ каждые 5 минут осуществлялись перерасчеты оптимального номера отпайки РПН. Значения номеров отпайек рекомендованных ЦУ, занесены в таблицу 1, где отображено, сколько раз ЦУ рекомендовал определенный номер отпайки. В последующих опытах, при каждой выгрузке программных модулей, использовался тот же режим сети, который был применен при получении эталонного результата. В таблице 1 приведены данные полученные в результате опытов, что отображает влияние отказа программных модулей на выбор оптимального номера отпайки РПН в центре управления. За оптимальный (эталонный) выбор номера отпайки принимается результат, полученный в ходе опыта, когда все программные модули были в работе.

Для имитации отказа программных модулей ТК осуществлялась выгрузка программного компонента, посредством его остановки в центре управления SCADA Sonata.

Значения погрешностей, полученные в результате опыта, подтверждают, что отказ программных модулей значительно влияет на качество управления электроэнергией посредством системы ААУН. При отказе программного модуля в одной ТК качество регулирования ухудшается в 1,3 раза, при отказе в двух ТК — в 1,8 раза, если вывести из строя программные модули в трех ТК — качество управления снизится в 4,1 раза.

Результаты эксперимента показали, что для нормальной работы ААУН требуется разработка дополнительных средств диагностики и компенсации потери данных в результате отказа программных модулей.

Таблица 2. Обозначения, используемые в алгоритме диагностики

Переменная	Описание
a	Порядковый (идентификационный) номер ТК
T_r	Сигнал состояния ТК
$F(Z_{dop}(a))$	Плотность распределения $Z_{dop}(a)$
Z_{dop}	Значения $Z_{dop}(a)$, соответствующие максимуму $F(Z_{dop}(a))$
Z_N	Необходимое изменение номера отпайки
$M(a)$	Весовой коэффициент a -ой ТК, численно равный установленной мощности трансформатора в кВт, от которого ТК получает питание
$Z_{dopVIH}(a)$	База данных по a -й ТК на выходной день
$Z_{dopBUD}(a)$	База данных по a -й ТК на будний день

3. Диагностика отказа программных модулей

Благодаря специальным средствам самодиагностики, система АА-УН осуществляет непрерывное диагностирование программных и аппаратных средств.

Система самодиагностики ААУН фиксирует следующие виды неисправностей программно-технических средств:

- Неисправности и нарушения в работе программных модулей;
- Неисправности и нарушения в работе контроллеров.

Во всех случаях сообщение о неисправности или выводе из работы ТК заносится в архив самодиагностики с меткой времени наступления данного события и осуществляется сигнализация о возникшей неисправности на экранах АРМов «Центра управления».

В ходе анализа работы оборудования в штатных режимах работы было выявлено, что имеющиеся средства диагностики и обеспечения надежности функционирования не лишены недостатков, которые могут привести к внезапному отказу всей системы. Дополнительные исследования параметров надежности и устойчивости работы позволят выявить причины возникновения возможных неисправностей и выработать меры по их своевременной диагностике и реализации мер по устранению.

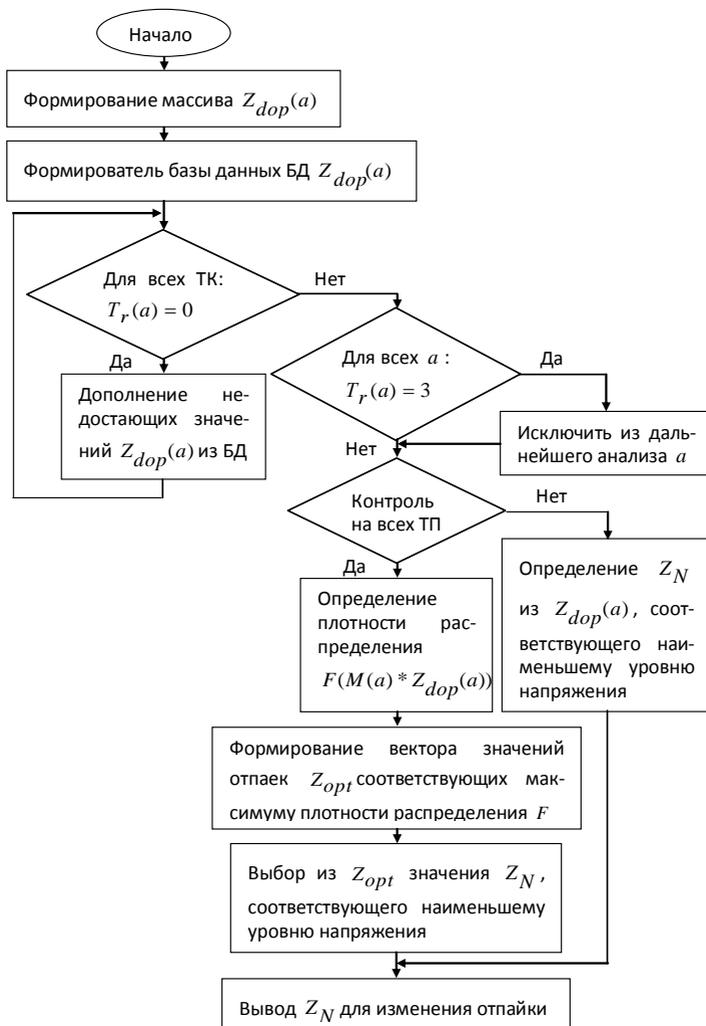


Рис. 4. Алгоритм обработки результатов опроса точек контроля

4. Алгоритм достоверного расчета оптимального номера отпайки при отказе программных модулей

Для решения задачи компенсации потери данных и последующего расчета оптимального управляющего воздействия на РПН, при отка-

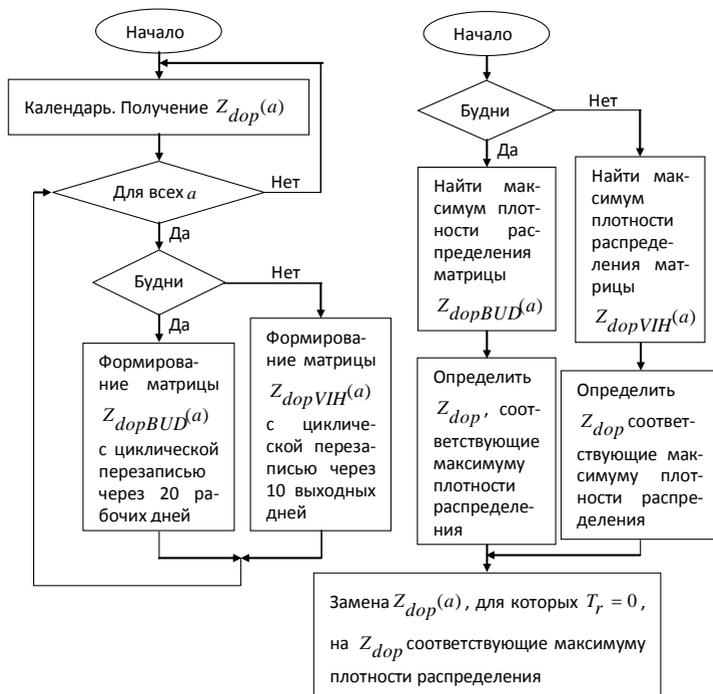


Рис. 5. Алгоритм формирователя базы данных по точкам контроля и дополнения недостающих значений

зе программных модулей ТК, в ЦУ реализован программный блок «Формирователь базы данных по точкам контроля» (ФБД), предназначенный для «обучения» системы регулирования по всем ТК в центре питания, алгоритм работы которого представлен на рис. 4. На основе этих данных возможно оптимальное управление при отсутствии информации о текущем выборе номеров отпаек, удовлетворяющих ТК.

ФБД работает таким образом, что при нормальной работе ТК он распределяет данные Z_{dop} в зависимости от показаний электронного календаря в две матрицы, см. рис. 5.

Цикл перезаписи для архивов Z_{dopBUD} и Z_{dopVIH} — выбирается и составляет 20 рабочих и 10 выходных дней соответственно. Выбор длительности циклов производится из следующих соображений: если выбрать длительный промежуток времени, то система будет «перечиваться» на новые резкие изменения параметров режима (схемы) с

заметным запаздыванием; если этот промежуток времени будет коротким, то выборка может оказаться не показательной. При выбранных длительностях полное «переучивание» системы на существенные изменения в параметрах режима (схемы) будет происходить через 20 рабочих и 10 выходных дней [3].

Соответственно, при получении сигнала «Отказ ТК» ЦУ замещает Z_{opt} на результаты статической обработки по данной ТК. Статистическая обработка заключается в определении плотности распределения Z_{dop} ТК для будних или выходных Z_{dop} дней и для определенного времени (в зависимости от дня и времени запроса).

Полученное значение Z_{opt} используется центром питания в расчетах оптимальной отпайки для РПН.

Используя предлагаемый метод, реализованный с помощью программных средств модели ААУН, удалось существенно уменьшить погрешность в расчетах, полученные результаты представлены в таблице 3.

В результате проведенного опыта выявлена тенденция повышения точности в расчетах оптимальной отпайки РПН за счёт использования предложенного метода компенсации потери данных. К сожалению, в созданной модели системы используется малое число ТК (4), что может повлиять на точность и достоверность полученных результатов. В дальнейшем планируется продолжить исследования на основе математической модели с двадцатью ТК и более, что позволит более детально и наглядно изучить работу предложенного метода без существенных экономических затрат.

Выводы

- (1) Разработанная модель ААУН, позволяет проводить испытания, связанные с имитацией внештатных ситуаций и эффективно выявлять слабые места реального комплекса ААУН.
- (2) В результате проведенных испытаний с отказом программных модулей, было выявлено существенное негативное влияние внештатных ситуаций на качество регулирования.
- (3) Разработан метод компенсации потери данных и оптимизации управления комплексом при отказе программных модулей.

Таблица 3. Влияние отказа сетевых модулей на качество управления системой

Номер отпайки	Эталон (все программные модули в работе)	Выгружены программные модули на ТК1		Выгружены программные модули на ТК1 и ТК2		Выгружены программные модули на ТК1, ТК2 и ТК3	
		Номер отпайки	кол-во несоот.	Номер отпайки	Кол-во несоот.	Номер отпайки	Кол-во несоот.
-9	4	4	0	4	0	2	2
-8	8	8	0	8	0	6	2
-7	8	8	0	8	0	6	2
-6	8	8	0	8	0	8	0
-5	8	8	0	8	0	8	0
-4	8	8	0	8	0	6	2
-3	8	8	0	8	0	6	2
-2	8	6	2	6	2	8	0
-1	8	6	2	4	4	6	2
0	8	6	2	4	4	6	2
1	8	14	6	24	16	28	20
2	8	8	0	8	0	8	0
3	8	8	0	8	0	12	4
4	8	8	0	8	0	14	6
5	8	8	0	8	0	6	2
6	8	8	0	6	2	6	2
7	8	8	0	6	2	4	4
8	8	8	0	6	2	4	4
9	4	4	0	2	2	2	2
Кол-во неоптимальных переключений	0	6		16		30	
Погрешность в расчетах	0	4,167		11,111		20,833	

Список литературы

- [1] И. И. Карташев, В. Н. Тульский, Р. Г. Шамонов и др. *Управление качеством электроэнергии*, ред. Шаров Ю. В., Издательский дом МЭИ, М., 2008. ↑⁴⁹
- [2] *Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения*, ГОСТ 13109-97, ИПК Издательство стандартов, Минск, 1998. ↑⁴⁹
- [3] Р. Р. Насыров, В. Н. Тульский. *Система активно-адаптивного регулирования напряжения в распределительных электрических сетях*, ред. Карташев И. И., Издательский дом МЭИ, М., 2013. ↑^{49,50,59}
- [4] И. И. Карташев, И. С. Пономаренко, В. Н. Тульский и др. «Качество электрической энергии в муниципальных сетях Московской области», *Промышленная энергетика*, 2002, №8. ↑⁴⁹
- [5] Л. А. Солдаткина. *Регулирование напряжения в городских сетях*, ред. Мельников Н. А., Энергия, М., 1967. ↑⁵⁰
- [6] А. А. Васильев, И. П. Крючков, Е. Ф. Наяшкова и др. *Электрическая часть станций и подстанций*, ред. Васильев А. А., Энергия, М., 1980. ↑⁵⁰
- [7] А. К. Лоханина, *Силовые трансформаторы*, Справочная книга, ред. Лизунов С. Д., Энергоиздат, 2004. ↑⁵⁰
- [8] Р. Р. Насыров, В. Н. Тульский. «Разработка способа управления средствами регулирования напряжения в распределительных сетях 6–10(20)/0,38 кВ», *Сборник тезисов XVI Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика»*, МЭИ, М., 2010. ↑^{50,51}
- [9] И. М. Ябузарова, Р. Р. Насыров. «Разработка алгоритма управления устройством автоматического регулирования напряжения под нагрузкой», *Сборник тезисов XVIII Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика»*, МЭИ, М., 2012. ↑⁵⁰

Рекомендовал к публикации

к.т.н. Д. В. Зубов

Пример ссылки на эту публикацию:

М. О. Балаев, В. В. Власюк, Г. А. Кардашев, С. В. Алёшин. «Анализ поведения системы активно-адаптивного управления напряжением при отказе одного из программных модулей», *Программные системы: теория и приложения*, 2016, 7:4(31), с. 49–64.

URL: http://psta.psir.ru/read/psta2016_4_49-64.pdf

Об авторах:



Максим Олегович Балаев

Инженер-проектировщик БП АСУ ТП, ФГУП ЭЗАН, аспирант Московского государственного машиностроительного университета (МАМИ)

e-mail:

balaev_91@mail



Василий Викторович Власюк

Начальник БП АСУ ТП, ФГУП ЭЗАН

e-mail:

vvlasjuk@inbox.ru



Генрих Арутюнович Кардашев

Доктор технических наук, профессор Московского государственного машиностроительного университета (МАМИ)

e-mail:

gkardashev@yandex.ru



Сергей Викторович Алёшин

Инженер-конструктор Конструкторского бюро технических средств автоматизации, ФГУП ЭЗАН

e-mail:

sv.aleshin@gmail.com

Maksim Balayev, Vasilij Vlasyuk, Genrich Kardashev, Sergej Aleshin. *Analysis of the behavior active-adaptive voltage control system in case of failure one of the software modules.*

ABSTRACT. A system of active-adaptive voltage control in the distribution networks, it created a physical model. The tests, which revealed the impact of failure of software modules to control the quality. An algorithm for data loss compensation and optimization of complex control software modules in case of failure. (In Russian).

Key words and phrases: voltage control, power quality, RPN control, network equipment, full-scale model.

References

- [1] I. I. Kartashev, V. N. Tul'skiy, R. G. Shamonov i dr. *Power quality management*, ed. Sharov Yu. V., Izdatel'skiy dom MEI, M., 2008 (in Russian).
- [2] *Power quality limits in public electrical systems*, GOST 13109-97, IPK Izdatel'stvo standartov, Minsk, 1998 (in Russian).
- [3] R. R. Nasyrov, V. N. Tul'skiy. *The system is active-adaptive voltage control in distribution networks*, ed. Kartashev I. I., Izdatel'skiy dom MEI, M., 2013 (in Russian).
- [4] I. I. Kartashev, I. S. Ponomarenko, V. N. Tul'skiy i dr. "The quality of electric energy in municipal networks Moscow region", *Promyshlennaya energetika*, 2002, no.8 (in Russian).
- [5] L. A. Soldatkina. *Voltage regulation in urban networks*, ed. Mel'nikov N. A., Energiya, M., 1967 (in Russian).
- [6] A. A. Vasil'yev, I. P. Kryuchkov, Ye. F. Nayashkova i dr. *Electrical stations and substations*, ed. Vasil'yev A. A., Energiya, M., 1980 (in Russian).
- [7] A. K. Lokhanina, *Power Transformers*, Reference book, ed. Lizunov S. D., Energoizdat, 2004 (in Russian).
- [8] R. R. Nasyrov, V. N. Tul'skiy. "Development of a method of controlling the voltage regulation means in distribution networks 6-10 (20) / 0.38 kW", *Sbornik tezisev XVI Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii studentov i aspirantov "Radioelektronika, elektrotehnika i energetika"*, MEI, M., 2010 (in Russian).
- [9] I. M. Yabuzarova, R. R. Nasyrov. "Development of a control algorithm with an automatic voltage regulation under load", *Sbornik tezisev XVIII Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii studentov i aspirantov "Radioelektronika, elektrotehnika i energetika"*, MEI, M., 2012 (in Russian).

This work was financed by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation and performed as a part of item 1.2 of the Federal Target Program, "Research and development on priority directions of scientific technological complex of Russia for 2014–2020", project ID: RFMEFI57414X0095.

© M. O. BALAYEV^[1], V. V. VLASYUK^[2], G. A. KARDASHEV^[3], S. V. ALESHIN^[4] 2016

© EXPERIMENTAL FACTORY OF SCIENTIFIC ENGINEERING AND SPECIAL DESIGN DEPARTMENT OF RAS^[1, 2, 4] 2016

© MOSCOW STATE TECHNICAL UNIVERSITY "MAMI"^[3] 2016

© PROGRAM SYSTEMS: THEORY AND APPLICATIONS, 2016

Sample citation of this publication:

Maksim Balayev, Vasilij Vlasyuk, Genrich Kardashev, Sergej Aleshin. “Analysis of the behavior active-adaptive voltage control system in case of failure one of the software modules”, *Program systems: Theory and applications*, 2016, 7:4(31), pp. 49–64. (*In Russian*).

URL: http://psta.psir.ru/read/psta2016_4_49-64.pdf