

УДК 621.713.13: 621.313

С.Н. Ткаченко /к.т.н./, П.Р. Никифоров, А.В. Коваленко
 ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» (Донецк)

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВА НЕВОЗРАСТАНИЯ ОБЪЕМА ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ SCADA НА ОСНОВЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СТЕНДОВ

Для моделирования процессов в системах SCADA, построенных на основе совместного моделирования в САПР и физического имитационного моделирования, предлагается к существующим физическим лабораторным стендам разных учебных дисциплин добавить информационные датчики на основе микропроцессорной базы и программируемых логических матриц. Моделирование выполнено по трем сигналам – релейная защита и автоматика, «живучесть», «эффективность». Предложен способ методического совершенствования структуры и алгоритмов системы SCADA.

Ключевые слова: система SCADA, концепция Smart Grid, цифровая подстанция, релейная защита и автоматика, структурно-информационный метод.

Постановка проблемы

Решение задач построения систем SCADA возможно на основе совместного моделирования в САПР и физического имитационного моделирования. В распределительных электросетях напряжением 6...35 кВ такие задачи появляются при реализации концепций Smart Grid, «цифровая подстанция», «цифровая ячейка», «аутсорсинг услуг». Для совершенствования, разработки, реализации алгоритмов систем SCADA и интуитивно понятных способов отображения технологического процесса (ТП) в автоматизированной системе управления (АСУ) ТП Щита контроля изоляции согласно концепциям Smart Grid, «цифровая ячейка», «цифровая подстанция», «аутсорсинг услуг» требуется построение структурно емких моделей. Например, совместное моделирование устройств управления, а также релейной защиты и автоматики (РЗА/РПА), объекта управления и защиты (ОУЗ/ОСР), исполнительных органов ЕУ, формирователей и датчиков информационных сигналов и др. Это требует значительных затрат материальных и временных ресурсов. В то же время в университете при изучении дисциплин «Основы релейной защиты и автоматизации энергосистем», «Автоматизация производственных процессов», «Микропроцессорные защиты и автоматика электрических систем», «Автоматизированные системы проектирования и управления», «Электрическая часть станций и подстанций» и др. имеются стенды лабораторных работ. Можно выделить элементы и оборудование ОУЗ, технологические цепочки построения станций и под-

станций, позволяющие задавать тестовые, контрольные, аварийные, специальные режимы работы ОУЗ, формирователи сигналов для устройств РЗА. Таким образом, при организации SCADA-системы на имеющихся стендах одной или нескольких лабораторий можно выполнять моделирование процессов в SCADA, в том числе дистанционное оперативное управление и контроль работы.

Анализ последних исследований и публикаций

Согласно источникам [1,2] работа технологического и других процессов в сети представляется согласно цепочке SCADA – ОСР. В статье рассматривается реализация SCADA-системы на основе передачи смыслового сигнала $S(t)$. В качестве примера рассматривается разработка системы SCADA в задаче контроля переходных процессов в контуре нулевой последовательности сети также, как в [3]. Авторами предлагается способ численного анализа и систематизации известных алгоритмов SCADA-систем, который следует из структурно-информационного метода, описанного в [1,4...6]. Методическое совершенствование алгоритмов основано на шаблонах схем системы SCADA и устройств РЗА, описанных в [7...12]. Обеспечение невозрастания объема информации достигается передачей только смысловых сигналов по локальным информационным сетям с последующим их объединением на более высоком иерархическом уровне защиты и управления [13]. В данной работе формирователи сигналов введены в алго-

ритмы релейной защиты и автоматики. Моделирование выполнено по трем сигналам – реле, «живучесть», «эффективность». Такой подход позволяет также решать задачи учебного процесса и совершенствования алгоритмов релейной защиты и автоматики, проектирования электростанций и подстанций, диспетчеризации, технологического управления.

Цель (задачи) исследования

Решения задач реализуются методикой обучения и практической направленностью.

Среди задач методической направленности обучения можно выделить – построение SCADA-систем для конкретных энергообъектов, каналов и протоколов передачи информации, синхронизации сигналов управления, анализа переходных процессов в аварийных файлах, способах защиты информации при передаче по проводным, беспроводным и оптоволоконным, спутниковым каналам с алгоритмами кибербезопасности и оперативной работы, а также согласования реальных процессов в SCADA с ее последующей реализацией в САПР.

Среди задач практической направленности можно выделить следующие: построение специальных проектируемых участков или всего энергетического объекта, реальных энергообъектов, самоконтроля работы, реализации разрабатываемых устройств РЗиА и подстанций согласно протоколам МЭК, концепциям формирования отображения ТП, сигналов аварийных файлов, задачи рабочих мест главного щита управления (ГЩУ), аутсорсинга служб РЗиА, изоляции, хозяйствующего менеджмента, программой реализации и специфики оперативной работы обслуживающего, ремонтного персонала.

Основной материал исследования

Описание системы. Конечный смысловой результат управления технологическим процессом – интуитивно понятное смысловое представление текущего, предыдущего состояний ОУЗ, а также

формирование рекомендаций по последующему состоянию ОУЗ. Контроль смысла минимизирует оперативные затраты. Эти задачи решает SCADA-система АСУ ТП с аутсорсинговым рабочим местом. Все имеющиеся устройства РЗиА, высоковольтное оборудование, исполнительные органы, выключатели Q и т.д. должны поставлять информацию для системы. Следовательно, энергопредприятие, сеть, оборудование должны быть спроектированы с учетом такого управления. Работа технологического и других процессов в сети представляется согласно цепочке SCADA – ОСП (рис. 1). В статье рассматривается реализация SCADA-системы на основе передачи смыслового сигнала $S(t)$ с использованием диапазона порогов ρN согласно (рис. 2) и работам [1,2]. От устройств РЗиА запрашиваются сигналы аварийных файлов только в случаях сложных нехарактерных ситуаций, катастрофического развития аварий, отказа и др.

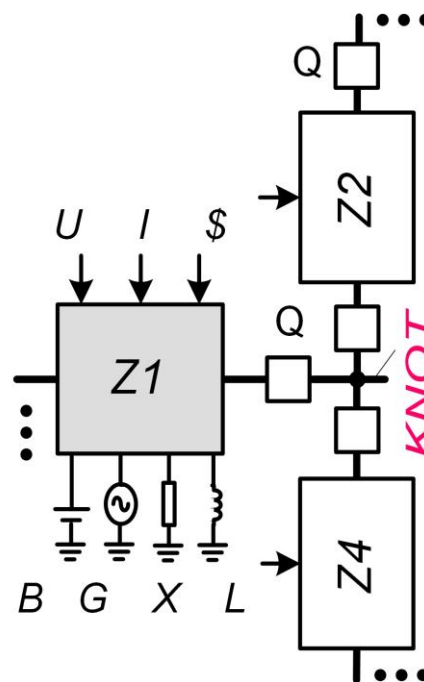


Рис. 1. Унифицированная схема сети Smart Grid SCADA – Driver – EU – ОСП

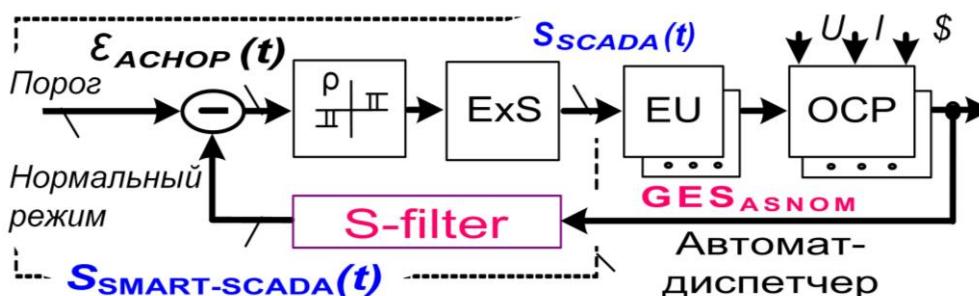


Рис. 2. Система ANSOM SCADA по сигналу $S_{SCADA}(t)$:
 ОСП – объект; ExS – экспертная система; EU – исполнительные органы;
 Driver – алгоритмы РЗиА; S-filter – смысловой фильтр GES_{SCADA}

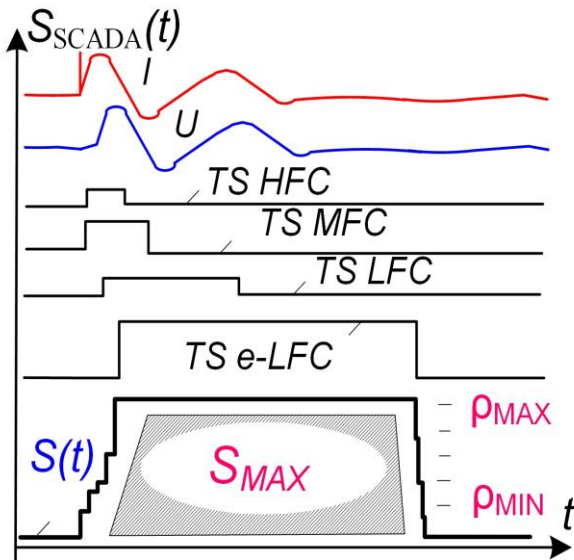


Рис. 3. Принцип формирования $S_{SCADA}(t)$ и его контроля порогами ρ_N :

TS – терминальные символы;
 HFC – высокочастотные компоненты;
 MFC – среднечастотные компоненты;
 LFC – низкочастотные компоненты;
 $e-LFC$ – медленные огибающие низкочастотные компоненты; TP – переходный процесс

В качестве примера рассматривается разработка автоматической системы стабилизации нормального режима работы ASNOM SCADA или ASNOM SCADA в задаче контроля переходных процессов в контуре нулевой последовательности сети (КНПС). КНПС является фильтром нулевой последовательности распределительной сети напряжением 6...35 кВ и выделяет информационные составляющие всей гальванически связанной сети. Графическое представление информации может быть реализовано на основе виджета В-КНПС/W-LZSC – оконного представления работы терминала Т-КНПС-АРК/T-LZSC-ARC, и системы ASNOM на дисплее PC АСУ ТП ГЦУ [3]. Также реализованы известные алгоритмы РЗиА.

Сравнительный анализ систем SCADA. Предлагается способ численного анализа и систематизации известных алгоритмов SCADA-систем, на основе которых можно построить систему ASNOM SCADA (рис. 2,3). Способ следует из структурно-информационного SI-метода [1,4,5]. Составляется обобщенная эквивалентная схема GES_{SCADA} слиянием структур известных алгоритмов SCADA с учетом необходимых свойств (рис. 4).

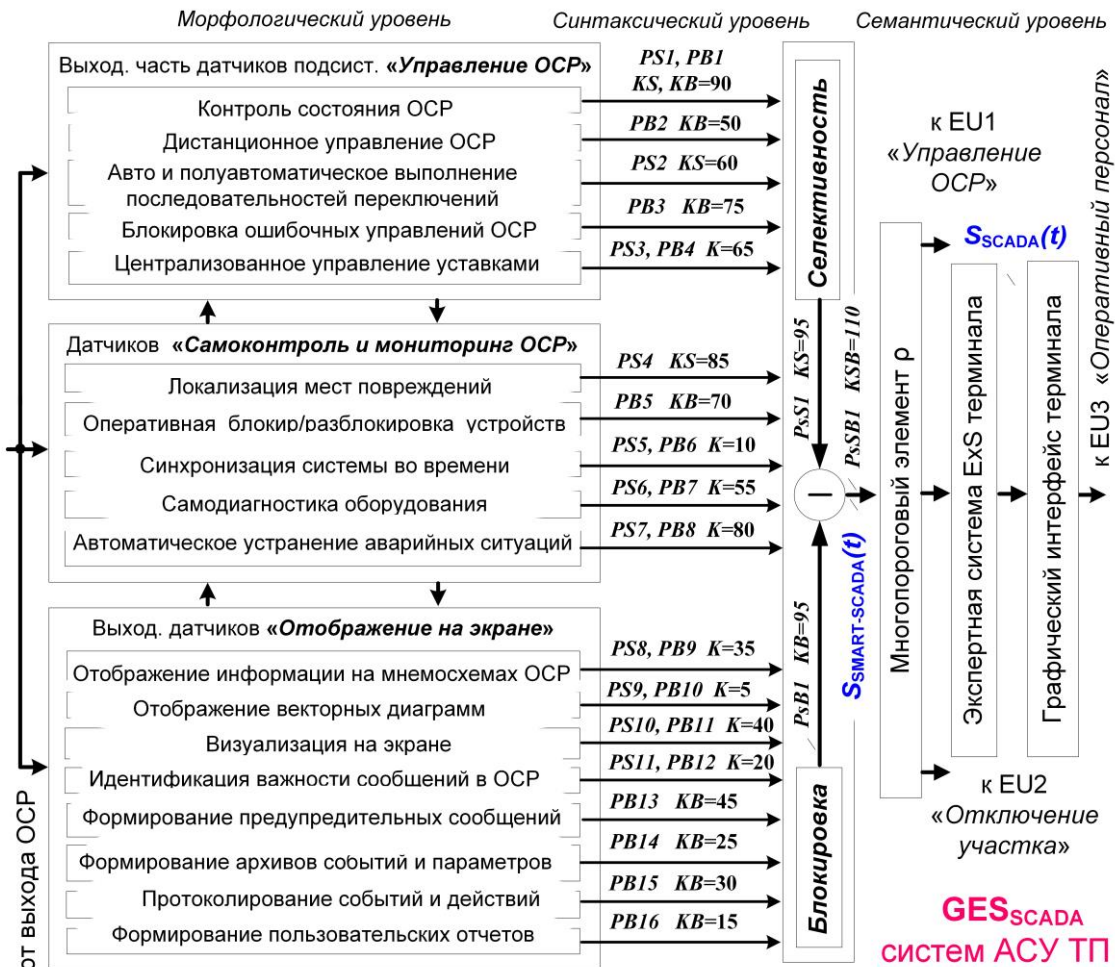


Рис. 4. Структурная схема S-фильтра АСУ ТП ГЦУ для системы ASNOM SCADA

Заполняется в виде таблицы, приведенной на рис. 5 систематизации Ψ-структур SCADA, где $A < \Psi < Я$, с вариантами грамматики G_{Ψ} схемы GES_{SCADA} :

$$G_{\Psi} = (PS1, PS2, PS3, PS4, PS5, PS6, PS7, PS8, PS9, PS10, PS11, PB1, PB2, \dots, PB16, PsS1, PsB1, PsSB1). \quad (1)$$

Выделяется иерархическая линия развития структурных схем устройств от «простого» к «совершенному» (показана красным цветом для структур $A < \Psi < Я$ в таблице (рис. 5). При этом структурные схемы более «совершенных» алгоритмов логически следуют из более «простых» (являются частью GES). Для ее заполнения подсчитываются весовые коэффициенты на схеме GES_{SCADA} для каждого известного алгоритма (показано на рис. 5). Например, если участвует в формировании селективное правило $PS7$ с весовым коэффициентом $KS=80$, то в формировании результирующего корневого правила $PsSB1$ участвует два корневых правила $PsSB1 = f_{\&}(PsS1, PsB1)$, где $PsS1=PS7$ с суммарным $KSB=80+95$ [1]. Принято, что $PsSB1$ подсчитывается отдельно для селективной PS и блокирующей PB частей схемы GES_{RPA} . В обобщенной структуре $\Psi=Я$ участвуют все правила P в (1). Составлена схема GES_{SCADA} в задаче ASNOM КНПС. Выявлено 10 вариантов Ψ-структур SCADA, построенных на основе терминалов РЗиА. Показана их иерархическая систематизация (рис. 5). Подсчитано, что реализация задачи довольно эффективна ($K_{EFF}=0,8$). Это объясняет-

		Селективность									
		235	240	305	325	335	365	380	430	545	
Блокировка	245			А							
	335					Б					
	460		В		Е						
	485	Г									
	490		Д								
	500					Ж					
	530						З				
	545							И			
	595								К		
	710									Я	

Рис. 5. Иерархическая систематизация SCADA-устройств АСУ ТП ГЩУ

ся обобщенностью задач SCADA, структуры терминалов РЗиА.

Ниже приведены некоторые разъяснения, касающиеся обозначений на рис. 5.

- А – БРЕСЛЕП-0107 $\rho N=7$ $K_{\Sigma}=550$ $K_{EFF}=0.43$;
- Ж – ЭНТЕК $\rho N=14$ $K_{\Sigma}=835$ $K_{EFF}=0.65$;
- Б – СМ РЭС $\rho N=10$ $K_{\Sigma}=670$ $K_{EFF}=0.53$;
- З – MicroScada NT $\rho N=15$ $K_{\Sigma}=895$ $K_{EFF}=0.71$;
- В – ОИК Диспетчер $\rho N=12$ $K_{\Sigma}=700$ $K_{EFF}=0.55$;
- И – SICAM PAS $\rho N=15$ $K_{\Sigma}=925$ $K_{EFF}=0.73$;
- Г – КОТМИ-NT $\rho N=12$ $K_{\Sigma}=720$ $K_{EFF}=0.57$;
- Д – Систел $\rho N=13$ $K_{\Sigma}=730$ $K_{EFF}=0.58$;
- Е – ES-Энергия $\rho N=13$ $K_{\Sigma}=785$ $K_{EFF}=0.62$;
- К – MicroSCADAPro $\rho N=16$ $K_{\Sigma}=1025$ $K_{EFF}=0.80$;
- Я – Объединенный $\rho N=18$ $K_{\Sigma}=1255$ $K_{EFF}=1.00$.

Наглядное сравнение фиксированного объема сигнала $S(t)$ (см. рис. 2, 3) с интенсивно увеличивающимся объемом обрабатываемой сигнальной информации в SCADA-системе проиллюстрировано на рис. 6.

Предлагаемые решения. Согласно SI-методу рассматривается непрерывное совершенствование устройств с разделением на иерархические этапы «Анализ→Синтез→Конструктив» [1...4]. Каждый этап выполняется в рамках системы автоматической стабилизации нормального режима работы ASNOM SCADA (см. рис. 2).

Практическая реализация системы SCADA для разных учебных дисциплин построена на трех конструктивных основах – аппаратной, программной и графической. Так, аппаратная часть реализуется:

- для медленных переходных процессов в ОУЗ (на микроконтроллерах (МК) Atmel,

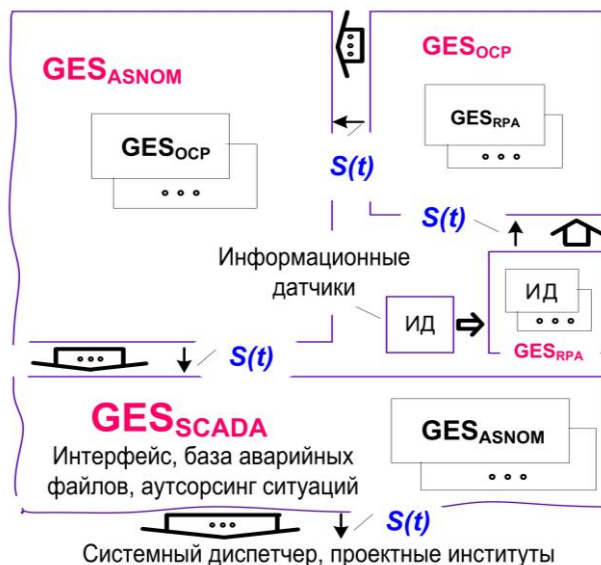


Рис. 6. Сравнение фиксированного объема смыслового сигнала $S(t)$ с увеличивающимся объемом обрабатываемой информации в SCADA

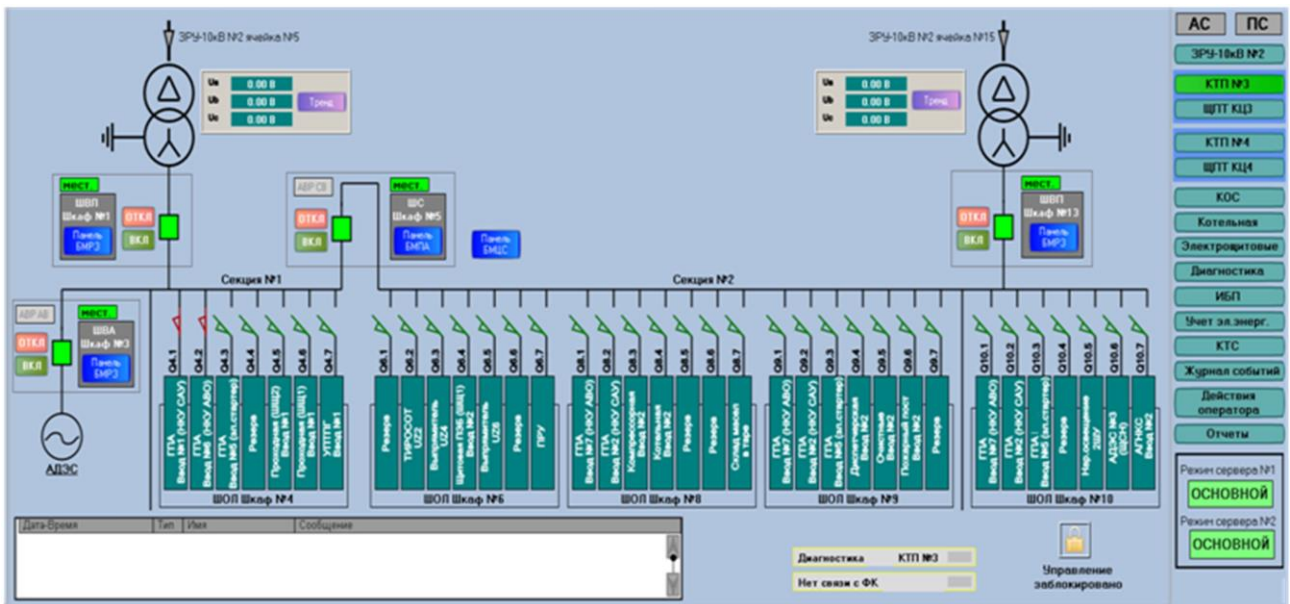


Рис. 7. Пример визуального отображения на экране терминала контроля технологического процесса

Arduino и ПЛИС CPLD MAX2);

- для средне-быстродействующих переходных процессов в ОУЗ (на МК STM, Discovery и ПЛИС CPLD);

- для локальных информационных сетей (на CAN, Ethernet, USART, RS232, RS485, Wi-Fi);

- для универсальности реализации (на промышленных контроллерах, МК Atmel, Arduino и ПЛИС CPLD).

Программная часть:

- для моделирования работы этих комплектов (на имеющемся ПО Quartus, Proteus, MatLAB, OrCAD);

- для разработки программ для МК (ПО CodeVision, KEIL, библиотеки CUB, операционные и файловые системы, Arduino);

- для моделирования переходных процессов в ОУЗ (на САПР PowerFactory DigSi, Elpek, MatLAB, OrCAD и др.).

Графическая часть – на экране системы SCADA отображается общая схема технологического процесса объектов или электросети на однолинейной схеме сети (рис. 7).

На рынке специализированного ПО имеются коммерческие продукты SCADA с предлагаемыми собственными информационными датчиками. Однако для учебного процесса приемлемыми являются собственные разработки студентов (конструктивные решения, ПО и сопутствующая элементная база).

Предлагаемые фирмами-разработчиками старт-платы МК возможно использовать по назначению, в качестве информационных датчиков, или использовать схемотехнические решения для собственных сквозных разработок в

САПР, моделирования конструктивных решений и ПО. Например, MatLAB позволяет построить SCADA-систему из имеющихся графических блоков, с подключением датчиков к PC, старт-платам Arduino и Discovery, работать с датчиками на основе их ПО с объектно-ориентированным языком.

Изготовлены устройства на основе МК фирм Atmega, STM для совершенствования алгоритмов РЗиА с выдачей информации на терминалы «цифровой ячейки», «цифровой подстанции», SCADA-системы.

Выводы

Предложена схема GES_{SCADA} , основанная на формировании смыслового сигнала $S(t)$. Формирование выполняется автоматами в устройствах РЗиА на разных иерархических уровнях обработки информационных потоков. Передается только $S(t)$, в случае необходимости вызывается соответствующий аварийный файл из конкретных устройств и терминалов РЗиА.

В структуре SCADA не происходит усложнение и увеличение количества обрабатываемой информации. Это позволяет строить автоматические алгоритмы распознавания смыслового состояния объекта управления по сигналам аварийных файлов.

Предложен способ методического совершенствования структуры и алгоритмов системы SCADA согласно SI-методу. Совершенствование основано на шаблонах схем GES_{RPA} , GES_{OCP} , GES_{ASNOM} , GES_{SCADA} согласно их грамматикам $G_{OCP} \approx \Sigma G_{GES} = \Sigma G_{RPA} = G_{SCADA}$, таблицах систематизации Ψ -структур устройств SCADA. К схемам

GES можно свести известные алгоритмы систем SCADA с разноплановыми авторскими описаниями. В качестве шаблонов схемы GES позволяют получить или не оставить без внимания необходимую информацию, рассчитать варианты изменений, передать результаты для будущих совершенствований. Способ позволяет реализовать современные концепции построения электроэнергетических объектов разного класса напряжения.

Приведен сравнительный анализ 10 вариантов Ψ -структур SCADA-систем. Анализ позволяет формировать рекомендации по совершенствованию качественных характеристик алгоритмов и структур SCADA.

Информационные датчики строятся методически согласно унифицированным детекторам. Задействуются предложенные фирмами-изготовителями старт-плат специальное объектно-ориентированное программное обеспечение и обучающие графические и видеоматериалы.

Предлагается применение сигнала $S(t)$ для реализации критериев надежности, устойчивости, чувствительности, быстродействия, относительного сравнения, дополнительных критериев. Появляется возможность определить поврежденный участок сети при низкой достоверности входной информации, смене сложных ситуаций, разрывах ее следования, сторонних помехах и др.

Полученные результаты моделирования работы алгоритмов в реальном масштабе времени используются для построения разрабатываемого устройства У-ВЦР-СП со встроенным высокочастотным цифровым регистратором и алгоритмами селективного поиска поврежденного присоединения сети при однофазных замыканиях на землю.

Список литературы

1. Nikiforov, A. Unified smart-detector for electrical power smart grid networks. / 13th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 22-24 July 2015. – Cambridge, 2015. – P. 1032-1039.
2. Никифоров, А.П. Поддержание эффекта самовосстановления изоляции для повышения «живучести» сетей смарт-грид напряжением 6-35 кВ / А.П. Никифоров, П.П. Никифоров // Материалы 21-й междунар. конф. по автоматическому управлению «Автоматика-2014», 23-24.09.2014 г. – К.: Изд-во НТУУ «КПИ» ИПИ ППК «Политехника». – С. 208-209.
3. Никифоров, А.П. Виджет «Контур нулевой последовательности сети» для мобильного

дисплея АСУ ТП «Электро смарт-грид» / 15 междунар. науч.-технич. конфер. ICPEES-2014 «Проблемы энергоресурсосбережения в электротехнических системах». 14-16 мая 2014 г. – С. 152-155.

4. Ткаченко, С.Н. Совершенствование цифровых устройств релейной защиты и автоматики в интеллектуальных энергосистемах концепции Smart Grid / С.Н. Ткаченко, А.В. Коваленко // Завалишинские чтения'16, ГУАП, г. Санкт-Петербург, 2016. – С. 239-245.
5. Никифоров, А.П. Теорема о наличии смыслового сигнала в системах релейной защиты / Материалы 10 науч.-техн. конференц. «ПСЕ-2010», 02.06.2010. – Киев: НАН Украины. Институт электродинамики, 2010. – С. 73-76.
6. Nikiforov, A.P. Application of the Theorem of “About the Unity of the Structural Description of RPA Devices” for the Simulation of a Power Network Smart-Grid // Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering, Jakarta, Indonesia. – 2017. – No.1-5. – Vol.9. – P. 39-48.
7. Thamilvalluvan, B. A novel relay used for fault detection and isolation in distribution networks containing of several DGs / B. Thamilvalluvan, P. Aswini, M. AntoBennet, et al. // Int. Conf. ICEEOT, 3-5 March 2016. – Tamil Nadu, India, 2016. – P. 3574-3580.
8. Zellagui, M. Impact of renewable dispersed generation on performance of directional overcurrent relay on MV distribution power system / M. Zellagui, M. Karimi, H. Mokhlis, et al. // 8th Int. Conf. on Electrical Engineering (CEE), November 16-17, 2014, Nagpur, India, 2014. – P. 5.
9. Javadian, S. An adaptive overcurrent protection scheme for distribution networks including DG using distribution automation system and its implementation on a real distribution network / S. Javadian, M. Massaeli // Indian Journal of Science and Technology. – 2011. – No.11. – Vol.4. – P. 1438-1445.
10. Ates, Y. Additive protection scheme for a distribution system considering grid-connected and islanded modes of operation / Y. Ates, A. Boynuegri, M. Uzunoglu [et al.] // Energies. – 2016. – No.378. – Vol.9. – P. 5.
11. Jones, D. Future distribution feeder protection using directional overcurrent elements / D. Jones, J. Kumm // Rural Electric Power Conference (REPC) – IEEE, 2013. – P. 6.
12. Huchel, L. Planning the Coordination of

Directional Overcurrent Relays for Distribution Systems Considering DG / L. Huchel, H. Zeineldin // IEEE Trans. Smart Grid, Power and Energy Society General Meeting. – Iss.3. – Vol.7. – 2016. – P. 1642-1649.

13. Santos, T. Fault identification using multiple information sources in smart distribution grids / T. Santos, R. Pavão, F. Homma, R. Chumbinho // 22nd Int. Conference on Electricity Distribution (CIRED), 10-13 June 2013. – No.1443. – P. 4.

S.N. Tkachenko /Cand. Sci. (Eng.), P.R. Nikiforov, A.V. Kovalenko
Donetsk National Technical University (Donetsk)

**FUNCTIONAL MODELING OF THE FEATURE
 OF NOT INCREASING INFORMATION VOLUME IN THE SCADA SYSTEM
 ON THE BASIS OF LABORATORY ELECTRICAL STANDS**

Background. *The paper deals with SCADA systems built on the basis of joint modeling in CAD and physical simulation. This topic is relevant for the implementation of the concepts of “Smart grid”, “Digital substation”, “Digital cell”, “Out-sourcing services” in distribution networks with the voltage of 6...35 kV.*

Materials and/or methods. *The comparative analysis using SI-method carried out. The way of methodical improvement of the structure and algorithms of the SCADA system according to the SI-method proposed.*

Results. *The result of the work is the comparative analysis of ten variants of Ψ-structures of SCADA-systems. The analysis allows forming recommendations on improvement of qualitative characteristics of algorithms and SCADA structures. Information sensors constructed methodically according to unified detectors based on Theorems 1 and 2. Used the special object-oriented software and training graphic and video materials offered by the manufacturers of start-boards. The application of a signal S(t) for the implementation of the criteria of reliability, stability, sensitivity, speed, relative comparison, and additional criteria proposed. There is an opportunity to determine the damaged part of the network at low reliability of the input information, change of complex situations, breaks, outside noise, etc.*

Conclusion. *The obtained results of modeling the algorithms in real time used to develop the U-VCR-SP device with a built-in high-frequency digital recorder and algorithms for the selective search of a damaged network connection at single-phase earth faults.*

Keywords: *SCADA systems, Smart Grid concept, digital substation, relay protection and automatics, structure-information method.*

Сведения об авторах

С.Н. Ткаченко

SPIN-код: 5046-6030
 Телефон: +380 (62) 301-03-72
 Эл. почта: tsn1981@mail.ru

П.Р. Никифоров

SPIN-код: 7741-3188
 Телефон: +380 (62) 301-03-72
 Эл. почта: npr1943@gmail.com

А.В. Коваленко

SPIN-код: 8432-3428
 Телефон: +380 (62) 301-03-72
 Эл. почта: anna.kovalenkoETF@gmail.com

Статья поступила 01.09.2018 г.

© С.Н. Ткаченко, П.Р. Никифоров, А.В. Коваленко, 2018
 Рецензент д.т.н., доц. И.А. Бершадский