

УДК 621.315:004.42

АЛГОРИТМ ТЕСТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯМИ*А. В. Попов, К. П. Попова, Н. И. Цыгулев, В. А. Шелест*

Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Разработаны предложения по совершенствованию системы управления выключателями. Работа выполнена с учетом реализации концепции интеллектуализации электроэнергетики. При этом учитывалась важность создания цифровых электрических подстанций. Такая цифровизация электроэнергетики имеет много положительных сторон. В работе обращено внимание на основной недостаток цифровых подстанций. Отсутствуют надежные гарантии хорошего решения вопросов кибербезопасности. В такой ситуации необходимо иметь резервные возможности управления подстанцией. Желательно иметь дополнительную систему управления выключателями. Для обеспечения надежной работы такой системы в работе уделено основное внимание разработке алгоритма тестирования для своевременного выявления неисправностей и предотвращения выполнения неправильных команд управления выключателями. Надежная система управления может исправить результаты несанкционированных действий на цифровой подстанции.

Ключевые слова: цифровая подстанция, кибербезопасность, резервное управление, алгоритм, тестирование, исправление, выключатель.

ALGORITHM FOR TESTING THE SWITCH CONTROL SYSTEM*A. V. Popov, K. P. Popova, N. I. Tsygulev, V. A. Shelest*

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

The proposals have been developed to improve the switch control system. The work was carried out taking into account the implementation of the concept of the electric power industry intellectualization. The importance of creating digital electrical substations was taken into account. This digitalization of the electric power industry has many positive aspects. But the paper draws attention to the main drawback of digital substations. There are no reliable guarantees of a good solution to cybersecurity issues. In this situation, it is necessary to have backup substation management capabilities.

It is desirable to have an additional switch control system. To ensure the reliable operation of such a system, the work focuses on the development of a testing algorithm for timely detection of malfunctions and preventing the execution of incorrect switch control commands. Reliable control system to correct the results of unauthorized actions at the digital substation.

Keywords: digital substation, cybersecurity, backup management, algorithm, testing, correction, switch.

Введение. Совершенствование энергетики всегда интересовало специалистов. Технология генерирования, распределения и потребления электрической энергии распределена на большие территории, особенно в нашей стране. Приходится решать сложные технические задачи как в нормальном, так и в аварийном режимах.

Для выбора направления совершенствования энергетики надо рассмотреть более совершенную систему. В качестве такой системы можно выбрать живые организмы. Особенностью живых организмов является наличие очень развитой нервной системы. Нервные окончания проникают практически в каждую клетку. Если мысленно сравнить соотношение устройства управления в энергетике с ее силовой частью (генераторы, трансформаторы, линии электропередач и др.), с аналогичным соотношением в живых организмах, то можно сделать вывод, что «нервная система» энергетики находится в зачаточном состоянии. А в живых

организмах кроме совершенного управления, есть еще функции самоизлечения. Но оставим этот вопрос будущим энергетикам.

С самого начала развития энергетики создавались устройства, выполняющие рефлексные функции. К ним относятся релейная защита и различная автоматика. Достаточно сложной является технологическая автоматика, используемая для управления генераторами. Дальнейшее совершенствование энергетики сдерживалось отсутствием необходимой элементной базы и принципиально новых технологий.

Роль электроники в развитии энергетики. Развитие электроники способствовало созданию современных информационных технологий, которые проникли во все сферы деятельности человека. То же наблюдаем в энергетике. Под флагом цифровизации происходит широкое внедрение терминалов релейной защиты и автоматики, реализующих много функций. Некоторые функции присущи искусственному техническому интеллекту.

В энергетике объявлена концепция интеллектуализации электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью [1]. Важным шагом в реализации этой концепции является создание цифровых подстанций [2, 3]. Применение таких подстанций имеет достоинства и недостатки. К основным достоинствам относят повышенную надежность и доступность (это надо будет еще доказать на практике), оптимизацию работы, сокращение расходов на обслуживание и улучшение коммуникационных возможностей [4]. К достоинствам можно еще отнести: применение унифицированных источников информации, замену контрольных кабелей традиционной подстанции современными коммуникационными сетями на базе оптоволоконных кабелей, повышенную надежность передачи большого объема данных и возможность обеспечивать дальнейшее увеличение уровня автоматизации и управляемости.

При внедрении новой техники всегда выявляются ее недостатки, которые предстоит устранить или компенсировать. Прежде всего, вернемся к рефлексным функциям. Сейчас на обычных подстанциях эти функции реализуются полностью автономными устройствами. А на цифровой подстанции, на которой сторонники информационных технологий хотят реализовать только сетевой принцип, работа рефлексных функций будет зависеть от работоспособности всей системы и надежность их реализации будет существенно ниже.

При дальнейшем развитии цифровых подстанций неизбежно увеличится доля программной части. Возникнет необходимость постоянного повышения квалификации обслуживающего персонала.

Кибербезопасность. Самым главным вопросом является кибербезопасность [5]. Нежелателен несанкционированный мониторинг режимов работы. Опасным является и несанкционированное управление цифровой подстанцией. Известны случаи, когда за рубежом отключали значительную часть энергетики страны извне. Такие действия могут нанести непоправимый вред предприятиям металлургической и химической промышленности, окружающей среде и населению.

Специалисты в области информационных технологий утверждают, что будет разработана надежная защита от вмешательства работу цифровых подстанций. Однако на это полагаться нельзя, так как постоянно совершенствуются технологии взлома. Можно привести много примеров, когда самые надежные защиты оказываются преодолены.

При проектировании электроэнергетических объектов авторы исходим из того, что аварии в системе неизбежно будут. Можно привести классический пример: возникновение короткого замыкания при грозовом разряде с перекрытием изоляции. Человек предотвратить это не может.

Следовательно, оборудование должно выдерживать большие токи короткого замыкания. К аналогичным последствиям могут привести ошибочные действия человека.

По отношению к цифровой подстанции необходимо предположить, что взлом будет. Нельзя исключать возможность ошибки человека. Поэтому необходимо заранее предусмотреть технические и аппаратные средства для сведения к минимуму отрицательных результатов несанкционированного воздействия на цифровую подстанцию. Причем эти средства должны быть автономны и работать на другом принципе.

На государственном уровне принята важная доктрина информационной безопасности Российской Федерации [6]. Для реализации этой доктрины многое предстоит сделать в энергетике.

Все вышеизложенные факты подтверждают актуальность рассматриваемой темы. При внедрении новой техники необходимо гарантировать надежную работу энергетике. Для компенсации недостатков новой техники необходимо находить соответствующие дополнительные решения.

В работе [7] предложено использовать резервную систему управления выключателями цифровой подстанции, не связанную с основной информационной сетью. По принципу действия она не может быть подвержена кибератакам. Для уменьшения количества соединительных проводов в ней предлагается использовать матричную схему.

Целью этой работы было продолжение совершенствования резервной системы управления выключателями подстанции.

Алгоритм тестирования. Основное внимание в данной работе уделено разработке алгоритма тестирования резервной системы управления выключателями.

Наличие электромеханических реле и проводов требует иметь постоянный контроль их исправности. Разумеется, связано это с аппаратным и программным дополнением. Было решено не отказываться от применения электромеханических реле, а ориентироваться на применение миниатюрных сигнальных и силовых реле, которые совершенствуются и серийно выпускаются ведущими мировыми производителями.

На рис. 1 приведена структура алгоритма теста резервной схемы управления выключателями на цифровой подстанции.

Работа алгоритма начинается с проверки исправности коммутатора теста (КТ). Блоком 1 подается команда включения КТ с резистором, ограничивающим ток в исполнительном реле до величины, при которой реле не срабатывает. Блоки 2, 3 и 4 включают первые ключи вертикальных и горизонтальных линий (КВЛ и КГЛ). Далее проверяется напряжение на резисторе. Если оно рано 1 (логическое значение), то тест продолжается. В противном случае происходит переход на запись неисправности 6 с выходом из теста.

После проверки КТ блоки 6 и 7 отключают первые ключи КВЛ и КГЛ.

Выявление неисправных ключей выполняется в цикле 8. Здесь включаются поочередно все КВЛ и КГЛ. При каждом включении ключа блоком диагностики (БД) проверяется наличие тока в реле. Если ток есть, то какой-то ключ открыт без соответствующей команды, т.е. он неисправен. Происходит переход на запись неисправности 4 или 5 с выходом из алгоритма. Если БД не обнаружил наличие тока, то тест продолжается.

Выявление неисправностей цепей подключения исполнительных реле и залипание последних выполняется циклами 15 и 17. Цикл 17 встроен в цикл 15. Здесь также блоком диагностики БД проверяется уровень тока в цепи реле. Выходной сигнал из БД представляется двухразрядным двоичным числом.

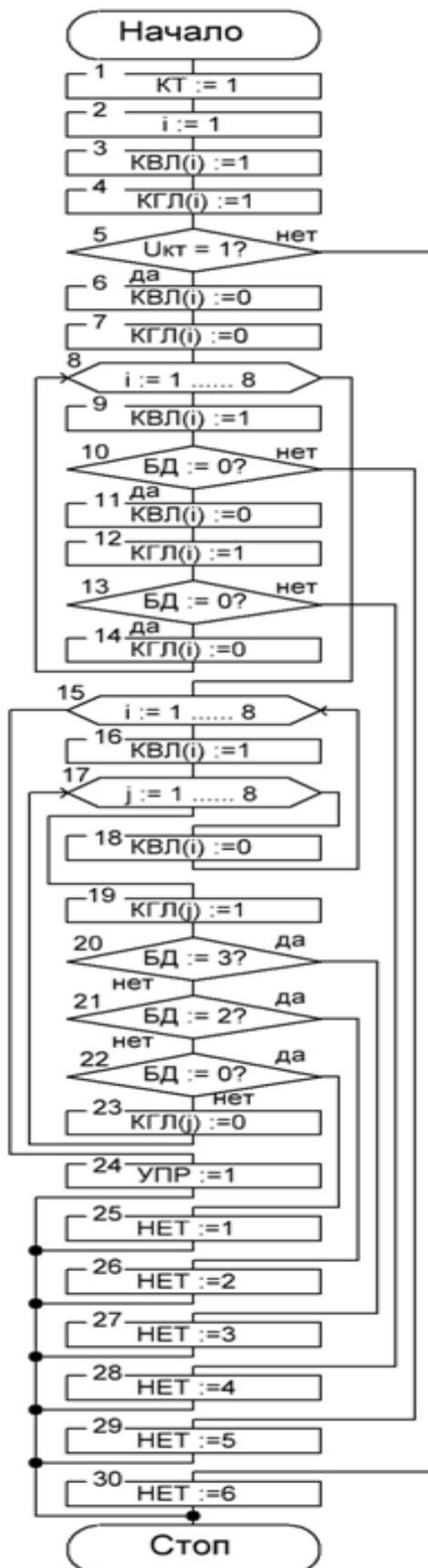


Рис.1. Блок-схема алгоритма теста схемы управления выключателя

При коротком замыкании БД=3, при наличии залипания реле — БД=2, при БД=0 имеет место обрыв соединительного провода. В этих случаях записываются неисправности 1, 2 и 3. И только когда БД=1, блоком 24 записывается разрешение команды управления выключателем.

Алгоритм теста запускается дважды до выполнения команды управления и после ее выполнения. Это повышает надежность тестирования.

Успешная работа алгоритма подтверждена в лабораторных и производственных испытаниях.

Заключение. В работе сделана оценка применения в энергетике современных информационных технологий на сетевом уровне. Отмечена уязвимость информационных сетей на энергетических объектах и обосновано применение резервных технологий. Основное внимание уделено разработке алгоритма тестирования резервной системы управления выключателями. Надежная резервная система управления окажется необходимой при критических ситуациях на цифровых подстанциях.

Для принятия оптимальных решений по вопросу управления выключателями необходима сигнальная и измерительная информация по подстанции. Поэтому считаем перспективным разработку минимальных резервных систем сигнализации и измерений, имеющих матричные схемы и работающих на других принципах.

Библиографический список

1. Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью / Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» : [сайт]. — URL : <https://publications.hse.ru/mirror/pubs/share/folder/mfl4voxwok/direct/73743691.pdf> (дата обращения : 10.10.2020).
2. Цифровая подстанция / НТЦ ФСК ЕЭС : [сайт] — URL : http://www.ntcpower.ru/innovative_projects/digital_substation_and_its_main_fragments/index.php?sphrase_id=18368 (дата обращения : 10.10.2020).
3. СТО 34.01–21–004–2019. Цифровой питающий центр. требования к технологическому проектированию цифровых подстанций напряжением 110–220 кВ и узловых цифровых подстанций напряжением 35 кВ / Библиотека нормативной документации : [сайт]. — URL : <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293730/4293730674.htm> (дата обращения : 10.10.2020).
4. Гаврилов, Ф. В. Основные преимущества и недостатки цифровых электрических подстанций / Ф. В. Гаврилов // Теория и практика современной науки. — 2018, №6(36). — С. 1–7.
5. Обеспечение кибербезопасности в технологии «Цифровой подстанции» с учетом импортозамещения / А. Л. Куликов [и др.] // Релейная защита и автоматика энергосистем : сб. трудов междунар. науч. конф. и выставки — Санкт-Петербург, 2017. — С. 1–4.
6. Доктрина информационной безопасности Российской Федерации (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 5 декабря 2016 г. №646) / Президент России : [сайт]. — URL : <http://kremlin.ru/acts/news/53418> (дата обращения : 12.04.2020).
7. Шелест, В. А. Резервная система управления выключателями цифровой подстанции / В. А. Шелест, А. П. Синегубов, В. Р. Харенко // Кибернетика энергетических систем : сб. трудов междунар. науч. конф. — Новочеркасск, 2016. — С. 235–238.



Об авторах:

Цыгулев Николай Иосифович, заведующий кафедрой «Интеллектуальные электрические сети» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ncygulev@mail.ru

Шелест Владимир Александрович, доцент кафедры «Интеллектуальные электрические сети» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, vshel@yandex.ru

Попов Антон Васильевич, магистрант кафедры «Интеллектуальные электрические сети» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), antz1987@mail.ru

Попова Ксения Петровна, магистрант кафедры «Интеллектуальные электрические сети» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), Korotchenko-k@ya.ru

Authors:

Tsygulev, Nikolai I. head of the Department Intelligent electric networks, Don State Technical University (1,Gagarina sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), doctor of technical Sciences, Professor, ncygulev@mail.ru

Schelest, Vladimir A. associate Professor, the Department of Intelligent electric networks, Don State Technical University (1,Gagarina sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), candidate of technical Sciences, associate Professor vshel@yandex.ru

Popov, Anton V. master degree student, the Department of Intelligent electric networks, Don State Technical University (1,Gagarina sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), antz1987@mail.ru

Popova, Ksenia P. master degree student, the Department of Intelligent electric networks, Don State Technical University (1,Gagarina sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Korotchenko-k@ya.ru