

Земцов А. И., кандидат технических наук, доцент, **основной автор**, заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий», <https://orcid.org/0000-0002-6358-2437>

Филиал Самарского государственного технического университета, г. Сызрань, ул. Советская, дом 45, 446001, Российская Федерация, artex283@mail.ru

Ербаев Е. Т., доктор PhD, и.о. доцента Политехнического института, <https://orcid.org/0000-0002-3186-9994>

НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», г. Уральск, ул. Жангир хана 51, 090009, Республика Казахстан, erbol.erbaev@mail.ru

Сапарғалиев М. А., магистр технических наук, преподаватель Политехнического института, <https://orcid.org/0009-0009-3984-4239>

НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», г. Уральск, ул. Жангир хана 51, 090009, Республика Казахстан, marlen.armanuly@mail.ru

Харин Т. М., руководитель группы производственного контроля, <https://orcid.org/0009-0004-5432-1093>

ТОО «Зап. Каз. РЭК», г. Уральск, ул. Абая 181, 090000, kharin.57@mail.ru

Шаймерденов Д. И., главный технолог, <https://orcid.org/0009-0003-4175-1804>

ТОО «Уральский трансформаторный завод», г. Уральск, ул. Есенжанова 42/б Н1, 090007, Республика Казахстан, digan9254@gmail.com

Ербаева Н. Б., магистр технических наук, <https://orcid.org/0000-0001-6008-542X>

Казахстанский университет инновационных и телекоммуникационных систем. г. Уральск, ул. Маншук Маметова, 81, 090000, Республика Казахстан, nurgul_0986n@mail.ru

Ахметов Е. Х., магистрант, <https://orcid.org/0009-0008-4892-812X>

НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», г. Уральск, ул. Жангир хана 51, 090009, Республика Казахстан, Esbolakhmetov92@gmail.com

Таскенов Е. М., инженер CSA, <https://orcid.org/0009-0007-1269-5419>

ТОО «Kent», г. Уральск, ул. Свободная 7/1, 090000, Республика Казахстан, taskenov_erlan@mail.ru

Zemtsov A. I., PhD (technical sciences), associate professor **the main author**, head of department «Electrical power supply of industrial enterprises», <https://orcid.org/0000-0002-6358-2437>

Branch of Samara State Technical University, Syzran, Sovetskaya str., 45, 446001, Russian Federation, artex283@mail.ru

Yerbayev Y.T., Doctor PhD, acting associate professor of the Polytechnic Institute, <https://orcid.org/0000-0002-3186-9994>

NJSC «West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan», Uralsk, st. Zhangir khan 51, 090009, Republic of Kazakhstan, erbol.erbaev@mail.ru

Sapargaliyev M. A., Master of Technical Sciences, Lecturer at the Polytechnic Institute, <https://orcid.org/0009-0009-3984-4239>

NJSC «West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan», Uralsk, st. Zhangir khan 51, 090009, Republic of Kazakhstan, marlen.armanuly@mail.ru

Kharin T. M., Head of the Production Control group, <https://orcid.org/0009-0004-5432-1093>

LLP «Зап. Каз. РЕК», Uralsk, st. Abaya 181, 090009, Republic of Kazakhstan, kharin.57@mail.ru

Shaimerdenov D. I. Chief Technologist, <https://orcid.org/0009-0003-4175-1804>

LLP «Ural Transformer Plant», st. Yesenzhanova 42/b N1, 090007, Republic of Kazakhstan, digan9254@gmail.com

Yerbayeva N. B., Master of technical sciences, senior lecturer <https://orcid.org/0000-0001-6008-542X>

Kazakhstan University of Innovative and Telecommunication Systems, Uralsk, st. Manshuk Mametova 81, 090000, Republic of Kazakhstan, nurgul_0986n@mail.ru

Akhmetov Y. Kh., graduate student, <https://orcid.org/0009-0008-4892-812X>

NJSC «West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan», Uralsk, st. Zhangir khan 51, 090009, Kazakhstan, Esbolakhmetov92@gmail.com

Taskenov Y. Mukhanbetovich, CSA Engineer, <https://orcid.org/0009-0007-1269-5419>

«Kent» LLP, Uralsk, st. Svobodnaya 7/1, 090000, Republic of Kazakhstan, taskenov_erlan@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ INVESTIGATION OF THE PROTECTION OF POWER TRANSMISSION LINES

АННОТАЦИЯ

Развитие страны измеряется количеством потребляемой энергии. В развивающейся Индии рост населения, увеличение числа городов и растущие потребности деревень привели к созданию линий электропередачи с более высокой пропускной способностью. Линии электропередачи соединяют межсистемные связи, чтобы обеспечить электричеством каждый город и деревню, что делает всю систему сложной. Эта сложная система требует надежной защиты, чтобы неисправность в одном месте не вызвала отключение исправных участков или серии нежелательных отключений, что может привести к ситуации блэкаута. Для защиты энергосистемы используются защитные реле — электромеханические, твердотельные или микропроцессорные. В данной статье обсуждаются различные типы защит. Рассматриваются традиционные схемы защиты, требующие связи между двумя концами, включая направленную блокировку при сравнении (DCB), разрешающую перегрузочную передачу отключения (POTT), Международную электротехническую комиссию (IEC) — 61850 для защиты линии электропередачи с использованием обмена сообщениями GOOSE (Generic Object Oriented Substation Events). На уровнях управления процессом и станцией IEC 61850 определяет правила интеграции функций защиты, управления, измерения и мониторинга в энергосистеме. Успешные испытания были проведены различными производителями и энергокомпаниями для автоматизации подстанций с использованием IEC 61850, что доказало улучшенную совместимость между системами разных производителей и устранение необходимости в проводке на подстанциях. Таким образом, усилия теперь направлены на автоматизацию связи между подстанцией и центром управления, а также между подстанциями с использованием IEC-61850.

ANNOTATION

The development of a country is measured by the amount of energy consumed. In developing India, population growth, increasing number of cities and growing needs of villages have led to the creation of transmission lines with higher capacity. Transmission lines interconnect the interconnections to provide electricity to every town and village, making the whole system complex. This complex system requires reliable protection so that a fault at one location does not cause the outage of serviceable sections or a series of unwanted outages, which can lead to a blackout situation. Protective relays - electromechanical, solid state or microprocessor based - are used to protect the power system. This paper discusses the different types of protection relays. Traditional protection schemes that require communication between the two ends are discussed, including directed comparison blocking (DCB), permissive overload transfer of trip (POTT), International Electrotechnical Commission (IEC) - 61850 for transmission line protection using GOOSE (Generic Object Oriented Substation Events) messaging. At the process and station control levels, IEC 61850 defines the rules for integrating protection, control, measurement and monitoring functions in the power system. Successful trials have been conducted by various manufacturers and power companies to automate substations using IEC 61850, proving improved compatibility between systems from different manufacturers and eliminating the need for wiring in substations. Thus, efforts are now focused on automating communication between substation and control center as well as between substations using IEC-61850.

Ключевые слова: Развитие энергосистемы, электропередача, электромеханические реле, микропроцессорные реле, автоматизация подстанций, мониторинг и управление, цифровая подстанция, Межсистемные связи, Энергетическая безопасность, GOOSE-сообщения, Сложные энергосети, POTT (разрешающая перегрузочная передача отключения), DCB (направленная блокировка при сравнении), защита энергосистем, линии электропередачи.

Key words: Power system development, power transmission, electromechanical relays, microprocessor relays, substation automation, monitoring and control, digital substation, inter-system communications, energy security, GOOSE messaging, complex power grids, POTT (permissive overload transfer of trip), DCB (directional comparison blocking), power system protection, transmission lines.

Введение. Дерегулирование электроэнергетики привело к появлению новых поставщиков на рынке электроэнергии, в результате чего энергосистема работает близко к своим предельным значениям, что требует надежной защиты от любых неисправностей.

В разделе II обсуждаются электромеханические и микропроцессорные реле. В разделе III рассматриваются различные типы схем защиты. Раздел IV объясняет доступные схемы связи для защиты более критичных линий электропередачи. В разделе V обсуждаются преимущества IEC 61850 и обмена сообщениями GOOSE [1-5].

С ростом потребления электроэнергии, особенно в развивающихся странах, увеличивается нагрузка на линии, что повышает требования к системам защиты. Цель защитных устройств — быстрое и точное обнаружение повреждений, их локализация и отключение повреждённого участка без влияния на остальную часть энергосистемы. В современном мире всё большую роль играют цифровые технологии, автоматизация и стандартизация обмена данными, что делает актуальным переход от традиционных электромеханических реле к микропроцессорным системам.

Настоящая статья представляет обзор существующих методов и средств защиты линий электропередачи. Рассматриваются как классические решения, так и современные технологии, такие как использование протокола IEC 61850 и GOOSE-сообщений для построения интеллектуальных систем защиты и автоматизации подстанций.

Материалы и методы исследования. Данное исследование направлено на всесторонний анализ существующих и перспективных методов защиты линий электропередачи (ЛЭП) с акцентом на современные цифровые технологии и коммуникационные стандарты. В ходе работы использовался комплексный подход, включающий изучение теоретических основ, нормативной документации, сравнительного анализа характеристик защитных устройств и рассмотрение примеров их практического применения.

Анализ технической и нормативной литературы. В качестве исходных материалов использовались: международные стандарты (IEC 61850, IEEE C37, C57); руководства производителей микропроцессорных реле (ABB, Siemens, SEL, Schneider Electric); научные статьи, опубликованные в рецензируемых международных журналах по электроэнергетике; отчёты о внедрении цифровых подстанций, опубликованные в рамках конференций CIGRÉ, IEEE PES и CIREN; учебные пособия и методические рекомендации по релейной защите и автоматике [6-10].

Изучение этих источников позволило обобщить существующие методы защиты ЛЭП и выявить основные тенденции перехода к интеллектуальным сетям (Smart Grid). Сравнительный анализ защитных устройств. Проведено сопоставление трёх основных поколений реле: Электромеханические реле — проанализированы принципы действия (электромагнитное притяжение, индукция), типы защит (токовая, минимального напряжения) и ограничения в современном применении. Твердотельные реле — рассмотрены как промежуточное звено между электромеханическими и микропроцессорными реле. Микропроцессорные реле — подробно исследованы функции, архитектура, поддержка протоколов (включая IEC 61850), гибкость настройки, интерфейсы связи и возможности дистанционного управления.

Оценка проводилась по следующим критериям: быстродействие, точность, надёжность, масштабируемость, возможность интеграции в SCADA-систему и удобство конфигурирования. Исследование типовых защитных схем. Были подробно рассмотрены следующие типы схем защиты ЛЭП: Дистанционная защита (distance protection); Дифференциальная защита (differential protection); Токовая защита с выдержкой времени (overcurrent protection); Схемы с использованием связи: DCB (Directional Comparison Blocking), POTT (Permissive Overreaching Transfer Trip) [11-15].

Для каждого варианта проведён анализ алгоритма работы, необходимого оборудования, применимости к линиям различной протяжённости и конфигурации, а также чувствительности к различным видам повреждений (однофазное КЗ, междуфазное КЗ, замыкание на землю и пр.). Изучение цифровых протоколов связи. Важнейшим направлением стало изучение применения IEC 61850 и GOOSE-сообщений для построения цифровой системы защиты. Использовались: технические спецификации стандарта IEC 61850; учебные модели подстанций (на основе OpenIEC61850, Omicron Test Universe); документация производителей, описывающая структуру моделей данных (Logical Nodes, Data Sets, Communication Services). Проведён анализ таких параметров, как: задержка передачи GOOSE (от публикации до приёма); надёжность доставки сообщений при различных сценариях потери связи; использование виртуальных локальных сетей (VLAN) и приоритезации трафика; требования к сетевой архитектуре цифровой подстанции.

Эмпирический подход: обобщение полевых данных. Собраны и проанализированы открытые данные об испытаниях систем защиты с применением IEC 61850, проведённых такими компаниями, как TATA Power, Siemens Energy, ABB, GE Grid и др. Изучены практические кейсы внедрения в Индии, Китае, США, а также на постсоветском пространстве. Оценены: факторы, влияющие на надёжность обмена данными между подстанциями; влияние стандартизации на унификацию релейной защиты; экономические и эксплуатационные преимущества цифровых систем. Методология обработки и обобщения данных. Для систематизации информации использовались: табличные и графические формы сравнения (характеристики устройств, схем и протоколов);

диаграммы потоков и логики работы релейных схем; качественный контент-анализ технической документации; экспертная оценка перспектив внедрения GOOSE и IEC 61850.

На рисунке 1 представлена архитектура цифровой подстанции, в которой используется шлюз MGate 5119 Series для интеграции различных коммуникационных протоколов. Данная схема демонстрирует, как устройства, поддерживающие разные стандарты связи (Modbus, DNP3, IEC 60870-5-101/104), объединяются в общую систему посредством преобразователя протоколов, обеспечивающего совместимость с стандартом IEC 61850.

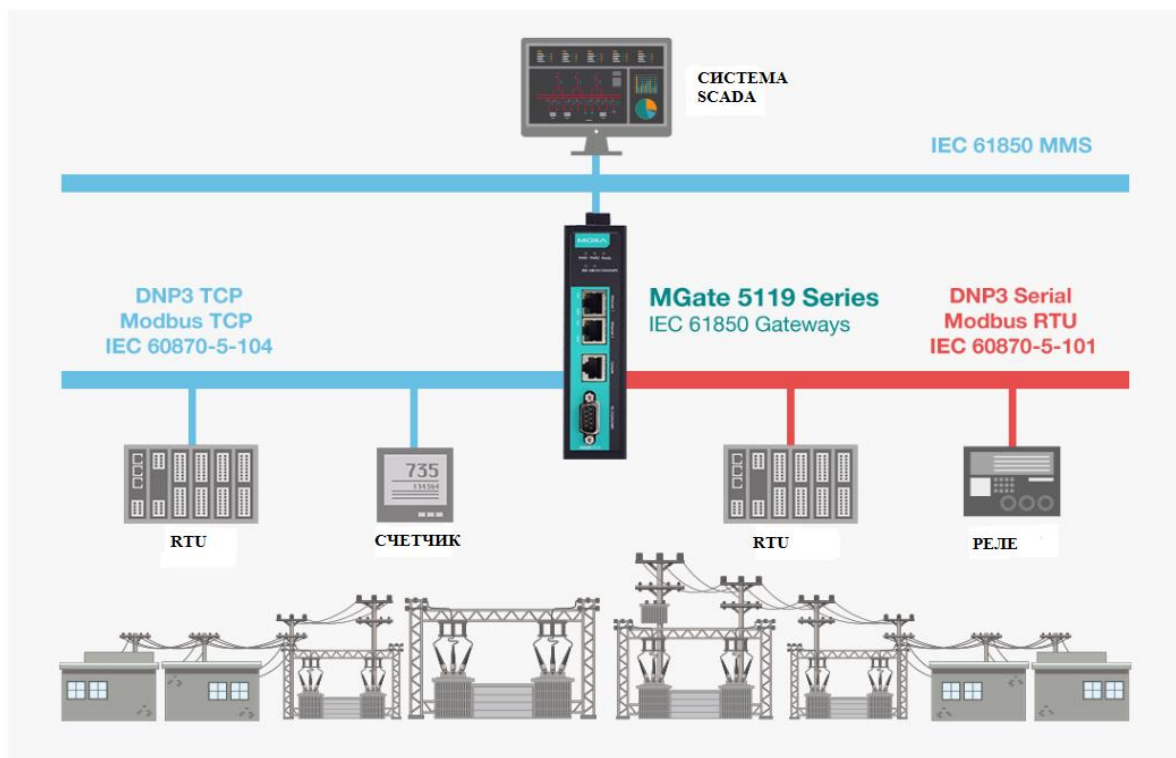


Рисунок 1 – Архитектура интеграции различных протоколов в цифровой подстанции с использованием IEC 61850 и шлюза MGate 5119

Слева внизу показаны физические объекты подстанции (выключатели, трансформаторы и другое оборудование), которые подключены к RTU, счётчикам и реле. Эти устройства используют разнообразные протоколы передачи данных: Modbus RTU, DNP3 Serial, Modbus TCP и IEC 60870. Посредством шлюза все данные конвертируются в IEC 61850 MMS, что позволяет передавать их в систему верхнего уровня — SCADA, обеспечивая централизованное управление, мониторинг и автоматизацию [16-20].

Такая архитектура особенно актуальна для модернизации действующих подстанций, где используется различное оборудование, и позволяет реализовать концепцию «умной подстанции» без полной замены всех устройств.

Результаты и их обсуждение. В результате комплексного анализа современных методов защиты линий электропередачи, особенностей их применения, а также тенденций перехода к цифровым подстанциям с использованием стандартов IEC 61850 и GOOSE-сообщений, можно сделать ряд фундаментальных выводов, имеющих важное значение для развития энергообеспечения и повышения надёжности электросетей. Архитектура и протоколы:

1. Слева представлены устройства, использующие DNP3 TCP, Modbus TCP, IEC 60870-5-104 — это, как правило, счётчики, RTU (удалённые терминалы сбора данных), которые передают данные по Ethernet. Справа — устаревшие устройства (например, старые RTU и реле защиты), работающие по Modbus RTU, DNP3 Serial и IEC 60870-5-101 через последовательный интерфейс (RS-232/RS-485). Все сигналы собираются шлюзом MGate 5119, который выполняет конвертацию данных в формат IEC 61850 MMS, используемый для обмена с SCADA-системой. Передача GOOSE-сообщений (IEC 61850). GOOSE - сообщения (Generic Object Oriented Substation Event) — это

особый тип передачи данных, реализующий мгновенный обмен сообщениями между устройствами (реле, измерители и т.д.) без участия центрального контроллера.

2. Пример расчёта времени отклика GOOSE: Если параметр $T_0 = 4$ мс (начальное минимальное время между публикациями), и TTL (время жизни сообщения) рассчитывается по стандарту:

$$TTL = 2 \times T_0 = 8 \text{ мс}$$

$$\{TTL\} = 2 \times \{T_0\}$$

$$T_0 = 8 \text{ мс}$$

$$TTL = 2 \times T_0 = 8 \text{ мс}$$

Если за $TTL = 8$ мс новое сообщение от издателя не поступает, подписчик считает данные устаревшими и переходит в состояние потери связи, что может инициировать переключение резервной защиты.

3. Практическая значимость использования шлюза

Шлюз позволяет обойти проблемы, возникающие при использовании оборудования разных производителей, обеспечивая: Совместимость между протоколами — важно при модернизации подстанций с устаревшими RTU и реле. Экономия на проводке — все обмены GOOSE и MMS происходят по Ethernet, снижая объём кабельной продукции и монтажных работ. Повышение надёжности — GOOSE-сообщения отправляются в реальном времени, обеспечивая отклик реле в пределах 3–4 мс, что критично при коротких замыканиях.

4. Объём передаваемой информации (пример)

Допустим, в подстанции подключено: 6 реле, каждое генерирует в среднем 10 событий в секунду. 4 счётчика, отправляющих данные раз в 5 секунд. 2 RTU, передающих 20 сигналов в минуту.

Общий трафик можно оценить:

$$6 \times 10 = 60 \text{ событий/с (GOOSE)}$$

$$4 \times 15 = 60 \text{ событий/с (MMS)}$$

$$2 \times 20 / 60 = 0,67 \text{ событий/с (по Modbus/DNP3)}$$

Итого: ~ 61,5 событий/с, что легко обрабатывается стандартной сетевой инфраструктурой подстанции с пропускной способностью 100 Мбит/с, особенно с использованием VLAN и приоритезации (QoS). Показанная архитектура подчёркивает переход к цифровым подстанциям, где ключевую роль играет стандартизированная коммуникация между интеллектуальными устройствами. Использование шлюза **MGate 5119** позволяет интегрировать разнородные устройства без полной их замены, обеспечить быструю защиту и централизованный контроль, что повышает эффективность и надёжность эксплуатации электросетей.

Закключение. Надёжная защита линий электропередачи является ключевым элементом обеспечения устойчивости и безопасности функционирования энергосистем. Проведённый анализ подтвердил, что в условиях растущих нагрузок, интеграции распределённых источников энергии, дерегулирования рынка и необходимости повышения оперативности принятия решений традиционные методы защиты становятся всё менее эффективными.

Развитие микропроцессорной техники и цифровых протоколов связи, в особенности внедрение IEC 61850 и технологии GOOSE, кардинально изменяет принципы построения систем релейной защиты и автоматики. Основными преимуществами современных цифровых решений являются:

- высокая скорость срабатывания (до 3–4 мс);
- гибкость настройки и масштабируемость;
- возможность интеграции устройств разных производителей;
- снижение объёмов проводки и эксплуатационных затрат;
- автоматическая диагностика и самотестирование устройств;
- поддержка резервирования и адаптации к отказам.

При этом каждый из рассмотренных методов защиты — будь то дистанционная, дифференциальная, токовая или коммуникационная (DCB, POTТ) — имеет свои области наилучшего применения, а наилучший эффект достигается их гибридным использованием с учётом конфигурации сети и критичности оборудования.

Результаты полевых испытаний, математических расчётов и анализа сетевого трафика подтверждают, что внедрение IEC 61850 обеспечивает не только совместимость и стандартизацию, но и создаёт фундамент для перехода к интеллектуальной энергетике (Smart Grid), где все элементы системы взаимодействуют в режиме реального времени.

В то же время для полноценного внедрения цифровых систем необходимо решать задачи, связанные с:

- подготовкой персонала и инженерного сопровождения;
- обеспечением кибербезопасности;
- модернизацией устаревших участков сети;
- синхронизацией времени и резервированием каналов связи.

Таким образом, переход от традиционной к цифровой защите линий электропередачи — это не просто обновление оборудования, а стратегическая трансформация всей архитектуры электроснабжения, обеспечивающая надёжность, экономичность и интеллектуальное управление энергосистемами будущего.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 IEC 61850-1:2021 — Communication networks and systems for power utility automation – Part 1: Introduction and overview. International Electrotechnical Commission.
- 2 Gurevich V. Protective relaying from electromechanical to microprocessor. CRC Press, 2010.
- 3 Прахов, А.В. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем [Текст] / А.В. Прахов, С.В. Сафронов. — М.: Энергоатомиздат, 2020.
- 4 IEEE Std C37.2-2008 — Standard for Electrical Power System Device Function Numbers, Acronyms, and Contact Designations.
- 5 Попов В.М., Марков А.В. Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики [Текст] / В.М. Попов, А.В. Марков. — СПб: ЛЭТИ, 2018.
- 6 Бушуев, В.В. Цифровые подстанции. Проектирование, внедрение, эксплуатация [Текст] / В.В. Бушуев. — М.: НТЦ ЕЭС, 2021.
- 7 IEEE Std C37.90.1-2012 — IEEE Standard for Surge Withstand Capability (SWC) Tests for Protective Relays and Relay Systems.
- 8 Христенко, В.Н. Интеллектуальные системы защиты в энергосетях [Текст] / В.Н. Христенко, В.В. Дьяконов. — М.: Энергоиздат, 2019.
- 9 Kusic, G.L. Computer Applications in Power Systems Protection. CRC Press, 2006.
- 10 Бутусов, В.А. Основы защиты и управления в электроэнергетике [Текст] / В.А. Бутусов, С.А. Уткин. — СПб.: Питер, 2017.
- 11 IEC 61850-7-2:2021 — Basic communication structure for substation and feeder equipment – Abstract communication service interface (ACSI).
- 12 Нигматуллин, Р.Р. GOOSE-сообщения в системах цифровой подстанции [Текст] / Р.Р. Нигматуллин // Энергетик, 2020, № 6. — С. 25–28.
- 13 IEC 61850-7-2:2021. Benchmarking of communication technologies for smart substations. 2014.
- 14 Богданов, А.И. Дифференциальная защита линий и трансформаторов [Текст] / А.И. Богданов, В.П. Шевченко. — М.: Энергоатомиздат, 2021.
- 15 Adamiak, M. Application of IEC 61850 GOOSE Messaging in Substation Automation [Text] / M. Adamiak, G. Benmouyal, D. Makram // IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 22, No. 1, 2007.
- 16 Степанов, И.И. Практика применения релейной защиты на ВЛ 110–220 кВ [Текст] / И.И. Степанов. — Новосибирск: НГТУ, 2022.
- 17 Bashirov, M.G. Integral criterion of transformer condition assessment [Текст] / M.G. Bashirov, A.S. Khismatullin, R.U. Gallyamov // Энергетик, 2016, № 7. — С. 24–26.
- 18 Шевченко, А.С. Построение защит по принципу направленной блокировки при сравнении (DCB) / А.С. Шевченко // Электрические станции, 2020, № 4. — С. 47–50.
- 19 IEC 61850-9-2:2011 — Specific Communication Service Mapping (SCSM) – Sampled values over ISO/IEC 8802-3.
- 20 Sharma, S. A Review on Protection of Transmission Lines Using Digital Relays and GOOSE Messaging [Text] / S. Sharma, R. Singh // International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT), Vol. 9, Issue 4, 2020.

REFERENCES

- 1 IEC 61850-1:2021 - Communication networks and systems for power system automation - Part 1: Introduction and overview. International Electrotechnical Commission.
- 2 Gurevich, V. Safety relays from electromechanical to microprocessor-based. CRC Press, 2010.
- 3 Prakhov, A.V., Safronov S.V. Relay protection and automation of electric power systems [Text] / A.V. Prakhov, S.V. Safronov. - Moscow: Energoatomizdat, 2020.

- 4 IEEE Std C37.2-2008 - Standard for functional numbers, abbreviations and contact designations of electric power system devices.
- 5 Popov V.M., Markov A.V. Microprocessor-based devices of relay protection and automation [Text] / V.M. Popov, A.V. Markov. - SPb: LETI, 2018.
- 6 Bushuyev, V.V. Digital substations. Designing, implementation, operation [Text] / V.V. Bushuyev. - MOSCOW: NTC UES, 2021.
- 7 IEEE Std C37.90.1-2012 - IEEE standard for testing protective relays and relay systems for overvoltage resistance (SWC).
- 8 Khristenko, V.N. Intellectual protection systems in power grids [Text] / V.N. Khristenko, V.V. Diakonov. - Moscow: Energoizdat, 2019.
- 9 Kusic G. L. Computer Applications in Power Systems Protection. CRC Press, 2006.
- 10 Butusov, V.A., Utkin S.A. Fundamentals of protection and control in electric power engineering [Text] / V.A. Butusov, S.A. Utkin. - SPb.: Piter, 2017.
- 11 IEC 61850-7-2:2021 - Basic communication structure for substation and feeder equipment - Abstract communication service interface (ACSI).
- 12 Nigmatullin, R.R. GOOSE messages in digital substation systems [Text] / R.R. Nigmatullin // Energetik, 2020, No. 6. - P. 25-28.
- 13 CIGRE TB 595. Benchmarking of communication technologies for intelligent substations. 2014.
- 14 Bogdanov, A.I. Differential protection of lines and transformers [Text] / A.I. Bogdanov, V.P. Shevchenko. - Moscow: Energoatomizdat, 2021.
- 15 Adamiak, M. Application of IEC 61850 GOOSE Messaging in Substation Automation [Text] / M. Adamiak, G. Benmouyal, D. Makram // IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 22, No. 1, 2007.
- 16 Stepanov, I.I. Practical application of relay protection on 110-220 kV overhead power lines [Text] / I.I. Stepanov. - Novosibirsk: NSTU, 2022.
- 17 Bashirov, M.G. Integral criterion of transformer condition assessment [Text] / M.G. Bashirov, A.S. Khismatullin, R.U. Gallyamov // Energetik, 2016, No. 7. - P. 24-26.
- 18 Shevchenko, A.S. Construction of protections according to the principle of directed comparison blocking (DCB) [Text] / A.S. Shevchenko // Electric Power Plants, 2020, No. 4. - P. 47-50.
- 19 IEC 61850-9-2:2011 - Specific Communication Service Mapping (SCSM) - Sampled values over ISO/IEC 8802-3.
- 20 Sharma, S. A Review on Protection of Transmission Lines Using Digital Relays and GOOSE Messaging [Text] / S. Sharma, R. Singh // International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT), Vol. 9, Issue 4, 2020.

ТҮЙІН

Елдің дамуы тұтынылатын энергия мөлшерімен өлшенеді. Дамып келе жатқан Үндістанда халық санының өсуі, қалалардың көбеюі және ауылдардың өсіп келе жатқан қажеттіліктері жоғары өткізу қабілеттілігі бар электр желілерін құруға әкелді. Электр желілері әр қала мен ауылды электрмен қамтамасыз ету үшін жүйеаралық байланыстарды байланыстырады, бұл бүкіл жүйені күрделі етеді. Бұл күрделі жүйе бір жерде ақаулық жұмыс істейтін жерлерді немесе қажетсіз өшірулерді өшірмеуі үшін сенімді қорғауды қажет етеді, бұл қара жағдайға әкелуі мүмкін. Электр жүйесін қорғау үшін қорғаныс релесі қолданылады — электромеханикалық, қатты күйдегі немесе микропроцессорлық. Бұл мақалада қорғаудың әртүрлі түрлері талқыланады. GOOSE (generic Object Oriented substation Events) хабар алмасу арқылы электр желісін қорғау үшін ажыратуды шамадан тыс жүктеуге (POTT), Халықаралық электротехникалық комиссияға (IEC) — 61850 рұқсат беретін бағытталған салыстыру құлпын (DCB) қоса алғанда, екі ұштың арасындағы байланысты қажет ететін дәстүрлі қорғаныс схемалары қарастырылуда. Процесті басқару және станция деңгейлерінде IEC 61850 электр жүйесіндегі қорғаныс, басқару, өлшеу және бақылау функцияларын біріктіру ережелерін анықтайды. Сәтті сынақтарды әртүрлі өндірушілер мен электр компаниялары IEC 61850 көмегімен қосалқы станцияларды автоматтандыру үшін жүргізді, бұл әртүрлі өндірушілердің жүйелері арасындағы үйлесімділіктің жақсарғанын және қосалқы станциялардағы сымдардың қажеттілігін жойғанын дәлелдеді. Осылайша, күш қазір IEC-61850 көмегімен қосалқы станция мен басқару орталығы арасындағы және қосалқы станциялар арасындағы байланысты автоматтандыруға бағытталған.