

УДК 621.311.4

Птанов Олег Арстанович, магистрант, Электроэнергетический факультет, Волгоградский Государственный аграрный университет, г. Волгоград

Зеляковский Дмитрий Викторович, доцент, Волгоградский Государственный аграрный университет, г. Волгоград

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ ПОДСТАНЦИИ 110/10 КВ НА БАЗЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО КОМПЛЕКСА БМЦС-40

Аннотация

В статье рассматривается проблема технического и морального устаревания релейно-блнкерных систем центральной сигнализации (ЦС) на понижающих подстанциях 110/10 кВ. На базе типового проекта 407-3-596.90 обоснована концептуальная необходимость перехода к распределенной микропроцессорной архитектуре. В качестве базового элемента предложен специализированный терминал БМЦС-40 с полной поддержкой стандарта МЭК 61850 (IEC 61850). Проведены электротехнические расчеты для проверки чувствительности защитных аппаратов системы оперативного постоянного тока (СОПТ), доказано снижение нагрузки на аккумуляторные батареи в аварийных режимах в 12 раз. При помощи математического аппарата марковских случайных процессов выполнено моделирование надежности модернизированной ЦС: выявлено снижение вероятности скрытых отказов оборудования в 133,5 раза за счет внедрения функций глубокой самодиагностики. Рассчитана загрузка оптического канала Station Bus в условиях «шторма событий» при каскадных авариях (пиковый трафик 1600 пакетов/с), составившая 2,32 %, что гарантирует отсутствие коллизий. Технико-экономическое обоснование на базе LCC-анализа показало

рентабельность проекта ($NPV = 2,23$ млн руб.) с периодом окупаемости 4,45 года.

Annotation

The article discusses the problem of technical and moral obsolescence of relay-blinker central signaling systems at 110/10 kV step-down substations. Based on the standard project 407-3-596.90, the conceptual need for a transition to a distributed microprocessor architecture is justified. A specialized BMCS-40 terminal with full support for the IEC 61850 standard is proposed as the base element. Electrotechnical calculations were carried out to verify the sensitivity of the protective devices of the direct current operational system, and a 12-fold decrease in the load on batteries in emergency modes was proven. Using the mathematical apparatus of Markov random processes, reliability modeling of the upgraded central signaling was performed: a decrease in the probability of hidden equipment failures by 133.5 times was revealed due to the introduction of deep self-diagnostic functions. The load of the Station Bus optical channel under conditions of an 'event storm' during cascading accidents (peak traffic of 1600 packets/s) was calculated, amounting to 2.32%, which guarantees the absence of collisions. Feasibility study based on LCC analysis showed the profitability of the project ($NPV = 2.23$ million rubles) with a payback period of 4.45 years.

Ключевые слова: центральная сигнализация, подстанция 110/10 кВ, БМЦС-40, надежность, МЭК 61850, СОПТ, марковские цепи, экономическая эффективность.

Keywords: central signaling, 110/10 kV substation, BMCS-40, reliability, IEC 61850, DC power system, Markov chains, economic efficiency.

Введение

В настоящее время значительная часть распределительных устройств (РУ) напряжением 110/10 кВ, обеспечивающих электроснабжение промышленных и коммунально-бытовых потребителей, эксплуатируется на базе типовых проектов, разработанных в конце прошлого века (в частности, подстанции серии 407-3-596.90). Вторичные цепи таких объектов, включая комплексы центральной сигнализации (ЦС), преимущественно построены с применением устаревшей электромеханической релейной аппаратуры: указательных реле серии РУ-21, промежуточных реле РП, а также схем на базе реле времени с конденсаторными приставками.

Данная аппаратная база характеризуется высокой степенью физического и морального износа. Традиционные радиально-проводные схемы ЦС со сбором сигналов в виде общих «шинок аварийной сигнализации» (ШАС) и «шинок предупредительной сигнализации» (ШПС) не позволяют идентифицировать конкретный источник сигнала с точностью до присоединения без прямого визуального осмотра блинкеров оперативным персоналом. Более того, электромеханические реле потребляют значительные токи от системы оперативного постоянного тока (СОПТ) в аварийных режимах (при одновременном срабатывании множества защит), что создает риск глубокой просадки напряжения на аккумуляторной батарее (АБ) и отказа в отключении высоковольтных выключателей. В контексте современной Концепции цифровой трансформации сетей (СТО 34.01-21-004-2019 ПАО «Россети») подобные системы признаются крайне неэффективными.

В связи с этим целью настоящей работы является разработка и комплексное технико-экономическое обоснование модернизации системы ЦС на базе специализированного микропроцессорного терминала БМЦС-40 с переходом на архитектуру стандарта МЭК 61850 (IEC 61850).

Методы и средства электротехнического расчета

Для построения цифровой схемы ЦС требуется интеграция микропроцессорных терминалов релейной защиты (БМРЗ) с логическим блоком БМЦС-40. Для настройки дискретных признаков аварии («триггеров») в работе выполнен аналитический расчет токов короткого замыкания. Согласно выполненному расчету, минимальный ток при двухполюсном КЗ на стороне 10 кВ составляет 115,67 А. Именно от этого значения выполнялось параметрирование измерительных органов защит. При жесткой координации уставок ложная генерация дискретных сигналов и их недопустимое загробление исключаются.

В основе аппаратной части — децентрализованная матрица, использующая все 40 оптоизолированных входов БМЦС-40. Это позволило отказаться от промежуточных клеммных сборок и общих шин. Для каждого входа настраиваются программные фильтры антидребезга (диапазон от 15 до 100 мс), благодаря чему регистрируются только истинные события. Наиболее существенным результатом модернизации стало снижение нагрузки на СОПТ: потребление одного оптоизолированного входа не превышает 2–3 мА. В итоге при аварии общая токовая нагрузка снижается в 12 раз относительно старой схемы на реле РУ-21.

Для защиты цепей питания терминала применяется автоматический выключатель S202M UC. Чувствительность проверена расчетом: коэффициент чувствительности составил $K_{\text{ч}} = 2,06$ при нормируемом минимуме 1,5, что гарантирует надежное срабатывание. Дополнительно выполнен поверочный расчет падения напряжения в наиболее протяженном контрольном кабеле (цепь газовой защиты трансформатора Т1 длиной 250 м). Потери напряжения не превышают 0,0146 В, то есть менее 0,01%. Даже при снижении напряжения аккумуляторной батареи до 154 В фиксация состояния датчиков остается устойчивой.

Оценка показателей надежности и сетевого трафика

При переходе на цифровую архитектуру критически важными аспектами становятся верификация надежности элементной базы и оценка пропускной способности станционной шины (Station Bus). В работе использован математический аппарат марковских случайных процессов для сопоставительного анализа старой релейной схемы и новой системы на базе БМЦС-40.

Поскольку традиционные электромеханические системы не обладают алгоритмами самодиагностики, отказ любого реле или обрыв цепи классифицируется как скрытый (вероятность такого отказа в межповерочный интервал составила 7,31 %). Внедрение терминала БМЦС-40, оснащенного алгоритмами глубокого аппаратного и программного самотестирования с коэффициентом охвата диагностикой $s = 0,95$, позволяет снизить вероятность скрытых отказов до уровня 0,054 %. Таким образом, общая надежность комплекса по критерию предотвращения невыявленных неисправностей возрастает в 133,5 раза, что обеспечивает практически полную информационную наблюдаемость объекта.

Передача данных между смежными терминалами РЗА, контроллером ЦС и сервером АСУ ТП реализована по стандарту МЭК 61850-8-1 (протоколы GOOSE и MMS). Побитовый анализ трафика на канальном уровне Ethernet показал, что фиксированный физический размер GOOSE-сообщения составляет 160 байт, а событийного отчета MMS — 244 байт. Для оценки пропускной способности коммуникационной сети смоделирован режим «шторма событий» (тяжелая каскадная авария с одновременным отключением 10 фидерных присоединений). Пиковая интенсивность потока данных достигла 1600 пакетов в секунду. Моделирование с применением расширенной формулы теории массового обслуживания (модель Поллачека—

Хинчина М/Г/1) показало, что максимальная нагрузка оптического магистрального канала (скорость 100 Мбит/с) составляет 2,32 %, а пиковая нагрузка процессора обработки сетевого трафика в коммутаторе — 48,4 %. Возникновение информационных коллизий в физической среде исключено, среднее время сквозной доставки дискретного сигнала составляет менее 3 мс.

Технико-экономическое обоснование проекта

Оценка инвестиционной привлекательности предложенных решений выполнена на основе методологии стоимости жизненного цикла (Life Cycle Costing, LCC) на горизонте полезного использования оборудования 15 лет при ставке дисконтирования 12 %. Капитальные инвестиции (CAPEX), включающие закупку терминала БМЦС-40, промышленных коммутаторов, кабельной продукции, а также затраты на инженерное проектирование и пусконаладочные работы, составили 2,025 млн руб.

Прямой операционный эффект от внедрения БМЦС-40 обусловлен переходом на стратегию обслуживания «по состоянию» (отказ от трудоемких плановых проверок релейной аппаратуры) и снижением энергопотребления от аккумуляторных батарей СОПТ. Ежегодная экономия операционных затрат (OPEX) оценена в 105 тыс. руб.

Косвенный эффект заключается в предотвращении ущерба от недоотпуска электроэнергии потребителям (ENS). Точная пофидерная индикация через SCADA-систему сокращает среднее время локализации аварий на распределительных линиях 10 кВ с 1,25 ч до 0,15 ч. Согласно методике РД 153-34.0-20.527-98, это позволяет ежегодно предотвращать недоотпуск 7,1 МВт·ч электроэнергии, что эквивалентно 520 тыс. руб. предотвращенного ущерба.

По итогам расчетов интегральных показателей получены следующие значения: чистый дисконтированный доход (NPV) — 2,23 млн руб., индекс рентабельности инвестиций (PI) — 2,10, дисконтированный срок окупаемости (DPP) — 4,45 года.

Заключение

Модернизация системы центральной сигнализации подстанции 110/10 кВ на базе микропроцессорного комплекса БМЦС-40 является технически необходимой и экономически эффективной задачей. Переход на цифровую децентрализованную архитектуру устраняет ключевые недостатки электромеханических схем: нагрузка на СОПТ существенно снижается, обеспечивается полная селективность сигналов и наблюдаемость объекта для диспетчерского персонала.

Выполненные расчеты надежности и сетевого трафика подтверждают устойчивость оборудования к скрытым отказам и информационным перегрузкам («штормам событий»). Положительные экономические показатели (NPV = 2,23 млн руб., срок окупаемости 4,45 года) свидетельствуют о целесообразности внедрения стандарта МЭК 61850 на объектах распределительного электросетевого комплекса.

Список литературы

1. СТО 34.01-21-004-2019. Цифровой питающий центр. Требования к технологическому проектированию цифровых подстанций напряжением 110–750 кВ и архитектуре АСУ ТП. — М.: ПАО «Россети», 2019.
2. ГОСТ Р МЭК 61850-8-1-2011. Сети и системы связи на подстанциях. Часть 8-1. Специфическое отображение сервиса связи (SCSM).

Отображение на MMS (ISO 9506-1 и ISO 9506-2) и на ISO/IEC 8802-3. — М.: Стандартиформ, 2012.

3. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. — М.: СПО ОРГРЭС, 1999
4. Блок микропроцессорный центральной сигнализации БМЦС-40. Руководство по эксплуатации. ДИВГ.421412.025 РЭ. — СПб.: ООО «НТЦ «Механотроника», 2021.
5. Типовой проект 407-3-596.90. Закрытая подстанция напряжением 110/6-10 кВ по схеме 110-4Н с трансформаторами 63 (80) МВА в сборном железобетоне. Альбомы 1–4. — Л.: Севзапэнергопроект, 1990.

References

1. STO 34.01-21-004-2019. Digital supply center. Requirements for technological design of 110-750 kV digital substations and APCS architecture. Moscow: PJSC Rosseti, 2019.
2. GOST R IEC 61850-8-1-2011. Communication networks and systems in substations. Part 8-1. Specific communication service mapping (SCSM) - Mappings to MMS (ISO/IEC 9506-1 and ISO/IEC 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3. Moscow: Standartinform, 2012.
3. RD 153-34.0-20.527-98. Guidelines for Calculation of Short Circuit Currents and Selection of Electrical Equipment. — Moscow: SPO ORGRES, 1999.

4. Microprocessor block of central signaling BMCS-40. Operation manual.
DIVG.421412.025 RE. St. Petersburg: LLC NTC Mechanotronika, 2021.

5. Standard project 407-3-596.90. Closed substation with voltage of 110/6-10 kV according to scheme 110-4N with transformers 63 (80) MVA in precast concrete. Albums 1-4. Leningrad: Sevzapenergosetproekt, 1990.