

УДК 656.257

Т. Н. СЕРДЮК – к. т. н., доцент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, serducheck-t@rambler.ru
З. В. ТОДОРОВ – студент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ztdorov1995@gmail.com
А. С. ГРЕЦКО – студент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, alexgretsko@gmail.com

ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ И ЗАЩИТА УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ

Введение

Устройства электропитания станций относятся к электроустановкам I категории особо важной группы. Они должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников питания и перерыв в их электроснабжении может быть допущен только на время автоматического включения резервного питания (не более 1,3 с). К тому же для таких электропотребителей необходимо предусматривать дополнительное электроснабжение от третьего независимого источника. На постах электрической централизации (ЭЦ) крупных станций в качестве резервного источника используется дизель-генератор автоматический (ДГА) или (и) аккумуляторные батареи.

От качества электрической энергии существенно зависят такие показатели систем автоматики, как стабильность работы, надежность, безопасность, капитальные и эксплуатационные расходы. Согласно статистике отказов в устройствах электроснабжения станций под действием внешних факторов (например, атмосферные перенапряжения) происходит 6,1 % отказов в панелях электропитания поста ЭЦ, из-за влияния тяговых токов железных дорог электрифицированных постоянным и переменным током – 9,2 %.

Одной из причин ненадежной работы систем электроснабжения устройств сигнализации, централизации и блокировки

(СЦБ) является отсутствие контроля неполнофазных режимов в цепях электроснабжения. Согласно статистике чаще всего выходят из строя магнитные пускатели – 30,5 %, защитные автоматы – 19,6 %, предохранители – 18,5 %, монтаж – 13 %, зарядные устройства – 7 %, тумблеры и пакетные выключатели – 5,4 % [1–6].

К основным причинам повреждений магнитных пускателей электропитающих панелей относятся: пропажа электрического контакта силовых и вспомогательных цепей из-за несвоевременной чистки и регулирования; неисправность магнитной системы вследствие износа контактирующих поверхностей или повреждении короткозамкнутого витка, что выражается в сильном шуме и вибрации устройства (повышается риск выхода из строя катушки вследствие незащищенности от перенапряжений со стороны системы электроснабжения); выход из строя катушки из-за сгорания обмотки или межвитковое короткое замыкание.

Следует отметить, что изменения в режиме работы системы внешнего электроснабжения является причиной нарушения нормального функционирования питающих панелей. Повышение напряжения более 250 В приводит к перегоранию предохранителей, срабатыванию защитных автоматов, оплавлению обмоток аппаратуры, находящейся под напряжением сети.

Таким образом, создание и модернизация аппаратуры электропитания соответ-

ствуєт вимогам сучасних систем залізничної автоматики і є однією з найважливіших актуальних задач в галузі підвищення пропускної спроможності транспорту і забезпечення безпеки руху поїздів.

Постановка проблеми

Розвиток в даному напрямку передбачає впровадження принципово нової апаратури електроживлення постів ЕЦ, забезпеченої джерелом безперебійного живлення і схемами захисту від імпульсних перешкобок, використанням реле напруги з контролем чергування або обриву фаз, застосуванням пристрою захисного відключення.

Нова апаратура електроживлення, розроблена на базі тиристорних і транзисторних перетворювачів і управляємих випрямачів, має вищу надійність, дозволяє збільшити термін служби акумуляторів і забезпечує оптимальні показники пристроїв електроживлення залізничної автоматики.

Отже, метою даної роботи є аналіз проблем, що виникають в панелях електроживлення старого зразка, розробка рекомендацій по розрахунку і впровадженню сучасних схем і засобів релейної захисту, оцінка впливу системи тягової електроживлення на роботу пристроїв СЦБ.

Панелі електроживлення поста ЕЦ

Панелі живлення призначені для центрального живлення пристроїв електричної централізації станцій. На проміжних станціях з кількістю централізованих стрілок до 30 використовуються панелі: ввідна ПВ2-ЕЦ (ПВ3-ЕЦ) і розподільна ПР2-ЕЦ (ПР3-ЕЦ).

Панель ПВ2-ЕЦ може працювати в одному з двох режимів: в режимі переважання фідера I і в режимі рівноцінних фідерів. Схемне рішення ввідної панелі перед-

бачує контроль справності магнітних пускателів обох фідерів і автоматичне переключення на справний фідер або резервну електростанцію типу ДГА при відмові. Як засоби захисту в панелі ПВ2-ЕЦ використовуються пристрої захисту, лічильник електроенергії, пристрій контролю чергування фаз трифазної мережі, реле максимальної напруги і детектор підвищеного часу одночасного відключення двох фідерів живлення, сигналізатор заземлення (СЗМ). СЗМ дозволяє виміряти токи утечки полюсів живлення через землю і між фазами різних джерел живлення [1, 2, 10].

При батарейній системі живлення розподільна панель ПР2-ЕЦ не використовується, а ввідна панель ПВ2-ЕЦ застосовується разом з панелями ПРПТ-ЕЦ, ПРП-ЕЦ, ПП50-ЕЦ, ПП25-ЕЦ, ПП50-ЦАБ і ПП75-ЦАБ, які забезпечують резервування живлення робочих і контрольних ланок стрілочних електроприводів, світлофорних ламп і рейсових ланок від кислотних акумуляторних батарей (АБ) типу С і СК з напругою 24 В або 48 В. Варіанти застосування панелей електроживлення на малих станціях залежать від роду струму живлення станційних рейсових ланок (РЛ) і стрілочних приводів, наведені в табл. 1 [1, 10].

Для електроживлення великих станцій використовуються ввідна панель ПВ-ЕЦК, ПВ1-ЕЦК, розподільна панель ПР-ЕЦК, ПР1-ЕЦК, напівпровідниково-перетворювальна панель ПВП-ЕЦК, ПВП1-ЕЦК, стрілочні панелі для живлення двигачів постійного струму ПСП-ЕЦК, ПСПН1-ЕЦК і змінного струму ПСТ-ЕЦК, ПСТН1-ЕЦК, перетворювальна панель ПП25-ЕЦК, ПП25.1-ЕЦК [1–3].

В даний час на залізничних дорогах України широке застосування знайшли ввідні панелі типу ПВ-60 і ПВ-24/220, встановлювані на великих станціях.

Таблица 1
 Панели электропитания при
 батарейной системе питания малых
 станций

Напряжение на АБ, В	Тип РЦ	Тип панелей
24	50 Гц	ПВ2-ЭЦ, ПРП-ЭЦ (ПРПТ-ЭЦ)
24	ЦАБ*, то- нальные РЦ, АЛСН 75 Гц	ПВ2-ЭЦ, ПРП-ЭЦ (ПРПТ-ЭЦ), ПП75-ЦАБ
24	ЦАБ*, то- нальные РЦ, АЛСН 50 Гц	ПВ2-ЭЦ, ПРП-ЭЦ (ПРПТ-ЭЦ), ПП50-ЦАБ

Примечание: * – система централизованной автоблокировки (ЦАБ), ** – ПРП-ЭЦ – панель распределительно-преобразовательная ЭЦ (применяется на станциях со стрелочными двигателями постоянного тока), ПРПТ-ЭЦ – панель распределительно-преобразовательная ЭЦ (применяется на станциях со стрелочными двигателями трехфазного тока).

Обобщив возможности вводных панелей разного типа можно сказать, что они выполняют следующие функции:

- подключение двух фидеров трехфазного переменного тока и ДГА;
- автоматическое переключение нагрузки с одного фидера на другой при выключении или нормируемом снижении напряжения в работающем фидере, а также переключение нагрузки на резервную электростанцию при выключении напряжения в обоих фидерах;
- ручное переключение нагрузки с одного фидера на другой, отключение фидеров для ремонта, а также ручной запуск дизель-генераторной установки с (без) переключением на нее устройств питания ЭЦ;
- работа поста ЕЦ в одном из двух режимов (ПВ2-ЭЦ): в режиме пре-

обладания первого фидера и в режиме равноценных фидеров;

- электрическая изоляция цепей питания устройств ЭЦ от внешних источников переменного тока, а также их защита от перегрузок;
- защита от перенапряжений устройств электропитания ЭЦ;
- оптическая сигнализация о работе фидера и оптическая и акустическая сигнализация о выключении напряжения фидеров;
- оптическая сигнализация о запуске и работе дизель-генераторной установки;
- оптическая сигнализация о заземлении основных цепей питания (ПВ2-ЭЦ) и перегорании предохранителей, установленных на панели;
- измерение напряжений и токов в фазах обоих фидеров, а также измерение расхода электроэнергии второго (ПВ2-ЭЦ) или первого и второго фидеров (ПВ3-ЭЦ);
- контроль исправности пускателей обоих фидеров (ПВ2-ЭЦ) и резервирование питания нагрузки от фидера с исправным пускателем или резервной электростанции;
- подсчет количества выключений фидеров, контроль перенапряжения, нарушения чередования фаз одновременного выключения двух фидеров питания на время более 1,5 с [1 – 3].

Панель ПВП-ЭЦК предназначена для заряда аккумуляторной батареи в режимах постоянного подзаряда и форсированного заряда и получения переменного тока мощностью до 1 кВт для гарантированного питания ламп входных светофоров и других нагрузок от батареи. Панель обеспечивает также питание постоянным током внепостовых схем ЭЦ и электропневматических клапанов ЭПК для обдува стрелочных переводов в снежный период [1 – 3].

Панель ПР-ЭЦК предназначена для изоляции от внешних источников переменного тока цепей питания ламп светофоров, контрольных цепей стрелок, рельсовых цепей 50 Гц, маршрутных указателей, ламп табло и других дополнительных нагрузок ЭЦ. Панель управляет режимами питания ламп светофоров и табло и обеспечивает сигнализацию заземления основных нагрузок ЭЦ, получающих от нее питание. В панели формируется импульсное питание различных нагрузок ЭЦ.

Стрелочные панели предназначены для питания рабочих цепей стрелочных электродвигателей переменного (трехфазного) (ПСТ-ЭЦК) или постоянного (ПСП-ЭЦК) тока. При отсутствии резерва перевода стрелок от батареи применяются панели ПСТН-ЭЦК и ПСПН-ЭЦК.

Панель преобразовательная ПП25-ЭЦК входит в состав устройств электропитания для постов ЭЦ крупных станций с центральной системой питания и резервной кислотной аккумуляторной батареей номинальным напряжением 24 В, при применении фазочувствительных рельсовых цепей переменного тока частотой 25 Гц или тональных рельсовых цепей с кодированием АЛСН частотой 25 и 50 Гц, со светодиодными табло ДСП, пультами ограждения составов и маневровыми колонками.

Таким образом, питающие панели на постах ЭЦ – это одни из самых ответственных узлов средств железнодорожной автоматики и телемеханики. Их неисправность приводит к полному отказу в работе устройств электрической централизации и к массовым задержкам поездов. Повышению надежности электроснабжения устройств СЦБ способствует и обеспечение пожарной безопасности на посту ЭЦ.

Анализ средств защиты в устройствах электропитания

Линии электроснабжения устройств СЦБ подвержены повреждениям и коротким замыканиям (КЗ). Опыт эксплуатации

показал, что короткие замыкания в высоковольтных линиях сигнализации, централизации и блокировки (ВЛ СЦБ) возникают из-за грозовых разрядов, вызывающих перекрытия изоляторов, замыкания проводов разных фаз птицами, схлестывания проводов, попадания на провода веток с деревьев при сильном ветре и т. п. Большая часть из них носит кратковременный характер, так как вызвавшие их причины самоустраняются, а возникшая в месте замыкания электрическая дуга гаснет при отключении выключателя от действия релейной защиты.

Наибольшее число повреждений в ВЛ СЦБ приходится на однофазные замыкания на землю (около 50 %) и двухфазные КЗ (около 30 %), последние могут возникать при непосредственном замыкании двух фаз или через переходное сопротивление при двух замыканиях разных фаз на землю в разных точках ВЛ СЦБ [13].

Фидеры, питающие ВЛ СЦБ 6 (10) кВ снабжены максимальными токовыми защитами (МТЗ) и по минимальному напряжению на шинах питания, действующими на отключение выключателя. Защиты при однофазных замыканиях на землю действуют либо на сигнал, либо, если объединены высоковольтные и низковольтные заземления на силовых трансформаторах, на отключение выключателя. Для ограничения токов всех видов коротких замыканий на фидерах СЦБ применяется гальваническая развязка в виде двойной трансформации (6/0,4 – 0,4/6 кВ) [12 – 14].

Поскольку ВЛ СЦБ является линией с изолированной нейтралью гальванически развязанной с шинами подстанции повышающим трансформатором 0,23/6(10) кВ, однофазное замыкание любого провода на землю не изменяет междуфазных напряжений и не влияет на кабельные сети СЦБ. На участках, где в устройствах СЦБ применяются воздушные линии связи, проложенные по опорам ВЛ СЦБ, однофазные замыкания нарушают симметрию электромагнитной системы и приводят к сбоям в СЦБ.

Токи замыкания на землю обычно не превышают единиц ампер и обусловлены емкостью проводов. На напряжении 6 кВ ток однофазного замыкания составляет около 20 мА на 1 км ЛЭП, а на напряжении 10 кВ – 26 мА. Поэтому линии ВЛ СЦБ оборудованы средствами контроля однофазных замыканий на землю, предназначенными для оперативного оповещения персонала о повреждении и принятия мер по его устранению. Допустимое время работы высоковольтной линии в режиме однофазного замыкания – до двух часов. Однако, надо иметь в виду, что при однофазном КЗ может возникнуть дуга, что вызывает переходные процессы с появлением гармоник высоких частот, создающих резонанс в некоторых элементах цепи и пробой изоляции.

Высоковольтные линии продольного электроснабжения (ВЛ ПЭ), как правило, не имеют изолирующих трансформаторов и напрямую подключаются к шинам подстанции. Следовательно, суммарная емкость проводов всех линий, подключенных к шинам источника сравнительно велика и ток КЗ на землю будет значительным. Поэтому защита при замыкании на землю должна действовать на отключение выключателя поврежденной линии ПЭ. Напряжение на разомкнутом треугольнике трансформатора напряжения фидера свидетельствует о появлении нулевой последовательности. Она возникает при несимметрии по различным причинам: от однофазного замыкания; от наведенного напряжения; от неравномерной нагрузки фаз на ЛЭП (например, при потере контакта на разъединителе). Нулевая последовательность передается через трансформаторы со схемой соединения обмоток Y/Y и замыкается в треугольнике у трансформаторов нечетных групп соединения [14].

В панелях электропитания поста ЭЦ нашло применение токовая защита, которая заключается в установке предохранителей

или автоматов. Такой вид защиты имеет существенные недостатки. Надо отметить, что вся силовая часть электроснабжения постов ЭЦ выполнена без ориентирования на опыт общетехнических электроустановок. Вследствие этого, щитовые установки ЩВП и ЩВПУ представляют собой стивы с большим числом контактов и промежуточных проводников. В результате защищенными оказываются лишь несколько метров проводников до отходящих присоединений. Вследствие этого силовые кабели от ЩВП до вводной панели, прокладываемые в помещении поста ЭЦ, оказываются в самом конце зоны действия защиты. Токовая защита кабелей, прокладываемых в полевых условиях, отстраивается на более грубую и длительную уставку по времени.

Расчет уставок токовых защит на вводной панели производится по методике, нуждающейся в совершенствовании. ВЛ СЦБ и ВЛ ПЭ нельзя рассматривать как систему неограниченной мощности. При питании нагрузки от линий ВЛ СЦБ (ВЛ ПЭ) в сопротивлении цепи короткого замыкания необходимо учитывать сопротивление и внутреннее падение напряжения трех составляющих (трансформатора поста ЭЦ и силового с двойной гальванической развязкой). Для наиболее массово применяемых трансформаторов с напряжением короткого замыкания $u_k = 4,5\%$ внутреннее падение фазного напряжения на низкой стороне составляет около 10 В на каждую кратность номинального тока. Большое сопротивление в цепь КЗ вносится проводниками высоковольтных линий, особенно стальными.

Как указывалось выше, практически все КЗ в низковольтной сети 0,4 кВ происходят вследствие возникновения дуги. Падение напряжения на электрической дуге, являющееся нелинейной функцией тока, весьма значительно. Последовательное соединение трех трансформаторов системы электроснабжения СЦБ создает необходимую для горения дуги крутопадающую внешнюю

характеристику. Индуктивности поста ЭЦ оказываются подключенными параллельно дуге [13].

Опыт выбора токовых защит для фидеров 0,4 кВ постов ЭЦ показал необходимость сопоставлять величины тока КЗ, полученные по результатам расчетов и по результатам измерений цепи фаза – ноль. Если ток КЗ по результатам измерений значительно меньше расчетного, то очевидно, что для питания устройств вместо нулевой жилы кабеля используется заземляющее устройство. Необходимо немедленно проверить целостность нулевых жил и их болтовых соединений на питающих кабелях. В системе PEN-проводников недопустимо присоединение нескольких нулевых жил на одно болтовое соединение.

Согласно [15] время отключения аварии в сети с фазным напряжением до 230 В не должно превышать 0,4 с, а для распределительной сети – 5 с.

Для получения различных напряжений с изолированным от земли нулем на постах ЭЦ применяются разделительные силовые трансформаторы типа ТС – однофазные или трехфазные. Их характерной особенностью является значительное нагревание магнитопровода (более 60°C). Так, ток холостого хода (ХХ) ТС-10 составляет 10 % от номинального вследствие недостаточного числа витков первичной обмотки.

Защита от перенапряжений выполнена установкой низковольтных разрядников в ЩВП и на вторичной стороне ТС, а также выравнивателей различных типов. При КЗ через дугу в устройствах электроснабжения наряду с пиковыми перенапряжениями, которые частично срезаются устройствами грозозащиты, попадает целый ряд высокочастотных гармоник, вызывающих резонансные явления в различных контурах схемы (иногда в пределах одного прибора). Это может вызвать пробой изоляции и порчу полупроводниковых приборов.

На всех станциях напряжение после ЩВП от основного и резервного источников и от ДГА поступает на вводные панели (ПВ). ДГА автоматически включает нагрузку примерно через 60 с после исчезновения напряжения на обоих фидерах и отключает её после восстановления напряжения на одном из фидеров. Контроль уровня напряжения на обоих фидерах производится реле типа РН-53/400 или РНП. Включенное положение контакторов фиксируется лампочками на вводной панели и на табло дежурного. Уровень фазного напряжения обоих фидеров контролируется вольтметром. При одинаковом уровне напряжения на фидерах 1 и 2 схемным решением (установкой перемычек) обеспечено преобладание фидера 1 (основное питание). При снижении величины напряжения хотя бы на одной из фаз фидера 1 ниже уровня возврата реле контроля напряжения произойдет мгновенное переключение питания на резервный фидер 2 и мгновенный обратный возврат на фидер 1 при восстановлении на нем напряжения, превышающего уставку срабатывания его контрольных реле [13].

Установкой соответствующих перемычек можно обеспечить преимущество фидера 2 или установить переключение фидеров без преимущества. Нарушение подачи напряжения или переключение сопровождается акустическим сигналом – звонком. Время перехода с фидера на фидер составляет от 0,05 до 0,3 с. Система с преимуществом фидера 1 и с моментальным возвратом часто создает сбой в СЦБ и перекрытия сигналов при переключениях высоковольтных фидеров по циклу АПВ – АВР [13, 14].

За контактами контакторов в цепях 380 В включены пакетные выключатели 1ПВ, 2ПВ типа ПВМ-3, предназначенные только для отключения входных силовых цепей от общих шин без нагрузки. П1 – П3, П7 – П9 типа ПР – 500 определяется величиной токовой нагрузки, потребляемой по-

стом ЭЦ. Пофазный контроль тока производится по показаниям амперметров 1А, 2А [13].

На малых станциях с числом стрелок менее 30 на постах ЭЦ коммутационная мощность панели в зависимости от типа не превышает 16/28 кВА. Панель обеспечивает подключение двух источников питания 380/220 В и резервной электростанции. Фазное напряжение переменного тока каждого фидера контролируется реле напряжения РН1 – РН3 типа РНП. При заводской регулировке для трехфазной нагрузки эти реле настраиваются на срабатывание при 198 В и на отпадание при 187 В; для однофазной нагрузки – на притяжение 207 В, на отпадание 198 В.

При снижении напряжения хотя бы в одной фазе до расчетного сигнал с РН подается на фидерное реле 1Ф (2Ф), которое через реле повторители 1ВФ1 (2ВФ1) управляет включением и отключением магнитного пускателя 1ВФ2 (2ВФ2) типа ПА-311 с разрывной мощностью контактов 50 А. Переключения нагрузки с фидера 1 на резерв производится без задержки. Обратное переключение с фидера 2 или ДГА производится с выдержкой времени до нескольких минут, позволяющей стабилизироваться напряжению. При отключении основных источников питания и отсутствии резервного ДГА включение нагрузки при появлении напряжения с уровнем срабатывания на одном из фидеров производится без выдержки времени [12, 13]. Такая система дает меньше сбоев в устройствах СЦБ при переключениях фидеров питания.

Автоматические выключатели 1АВ, 3АВ типа АП 50-3М служат для отключения источников питания при перегрузках и коротких замыканиях в панели и должны иметь селективность с аппаратами защиты во внешних устройствах электроснабжения (например, в комплектных трансформаторных подстанциях КТП).

На новых станциях с тональными РЦ в качестве вводных устройств устанавлива-

ются ЩВПУ, имеющие для отключения всех источников питания автоматические выключатели с независимыми расцепителями. Отключение производится кнопкой дистанционного управления у дежурного по станции. Токовая защита предохранителями установлена на вводной панели.

Токовая нагрузка на фазе с преобразователями частоты ПЧ-50/25 часто в два-три раза больше, чем на других фазах. В связи с ограниченностью мощности трансформаторов основного питания крайне нежелательно подключение на эту фазу прочих нагрузок поста, особенно негарантированных.

Что касается стрелочных панелей, при применении стрелочных приводов с трехфазными асинхронными двигателями переменного тока следует обратить внимание, что при коммутационных переключениях вводных кабелей 380/220 В нельзя менять порядок чередования фаз.

Пожароопасность панелей электропитания

Серьезной проблемой является пожароопасность панелей электропитания.

Пожароопасные ситуации могут возникать из-за нагрева монтажа и разъемных соединений вследствие плохого контакта. Самым пожароопасным элементом считаются силовые трансформаторы. Перегрев происходит по причинам:

- недостаточной для имеющихся устройств ЭЦ мощности;
- неравномерной загрузки фаз выходных обмоток и перегрузки по току;
- плохой вентиляции панелей при закрытых дверцах.
- Анализ случаев возгораний на постах ЭЦ позволил систематизировать всю имеющуюся информацию и определить основные причины, способствующие возникновению пожара:

- попадание тягового тока на устройства СЦБ и связи по металлическим конструкциям и устройствам (бронирование или оболочке кабелей, металлическим трубопроводам, заземляющим проводникам);
- отсутствие единого контура заземления;
- отсутствие селективности защит в низковольтных цепях постоянного и переменного тока;
- превышение максимально допустимого напряжения (399 В) основного и резервного источников питания;
- неудовлетворительное содержание сетей 230/400 В;
- наличие бытовых помещений, технологически не связанных с функциональным назначением постов ЭЦ;
- использование нетиповых электронагревательных приборов [14].

Улучшить ситуацию с пожароопасностью может вынос трансформаторов из панелей с установкой типовых ограждений из уголка и металлической сетки и (или) разработка трансформаторов близкого типоразмера с большей мощностью и допустимой токовой нагрузкой за счет использования магнитопровода из трансформаторной стали с более высокой магнитной проницаемостью; применение принудительного воздушного охлаждения трансформаторов с использованием готовых компактных вентиляционных установок при достижении критической температуры нагрева.

Задача выявления случаев нагрева монтажа и разъёмных соединений в значительной мере решается путем использования современных бесконтактных приборов измерения температуры – пирометров и тепловизоров.

Эффективным техническим решением является также создание и внедрение локальной автоматической пожарной сигнализации. В качестве датчика используют

линейный тепловой извещатель (термокабель), позволяющий отключить перегретый элемент.

Таким образом, для повышения надежности электроснабжения устройств электрической централизации за счет обеспечения пожарной безопасности является актуальной задачей, решением которой будет применение токовых защит низковольтных сетей переменного и постоянного тока и уточнение метода расчета токов уставок, внедрение современного защитного оборудования.

Опасные и мешающие влияния устройств электроснабжения на работу устройств СЦБ

Неправильное функционирование устройств СЦБ может происходить вследствие влияния тягового тока на рельсовые цепи в нормальных и аварийных режимах работы системы электроснабжения и в результате кратковременного перерыва или понижения величины питающего напряжения.

На перегонах перерывы в электроснабжении в линиях ВЛ СЦБ приводят к обесточиванию светофоров, сигнальные показания которых восстанавливаются после подачи напряжения. На станциях же разрешающие сигналы, не переведенные на автодействие, перекрываются на запрещающие и открыть их может только дежурный по станции. Поэтому в устройствах СЦБ предусмотрено замедление до 2...3 с на переключение всех реле, входящих в цепь сигнальных реле, при понижении напряжения на время до 1,3 с. В некоторых случаях разрешается увеличение времени замедления до 5...6 с. Замедление срабатывания достигается за счет применения конденсаторной установки или реле времени. Блок реле замедления может быть один на всю станцию или на каждый сигнал. Проверка замедления сигналов проводится ежегодно персоналом дистанции ШЧ совместно с ЭЧ.

Проверку отсутствия перекрытия входных и выходных сигналов станций при перерывах электроснабжения на заранее заданное время 1,3 с выполняется согласно [17]. Периодичность работ – 1 раз в год и после случаев перекрытия сигналов.

Проверка времени переключения фидеров ВЛ СЦБ (ВЛ ПЭ) на пунктах питания производится с периодичностью 1 раз в год [17, 18]. Контроль за перекрытием сигналов на перегонах производится машинистами движущихся поездов, а на станциях – дежурными по станции.

Измерение значений напряжения в кабельных ящиках и на вводных панелях постов ЭЦ выполняется два раза в год согласно действующих инструкций [18, 19]. По результатам проверок составляются акты установленной формы.

Причинами сбоев АЛСН часто является неустойчивое питание рельсовых цепей, возникающее как от колебаний напряжения в энергосистеме, так и в результате потери контакта на разъединителях. При снижении питающего напряжения менее 210 В возможны сбои АЛСН от уменьшения сигнального тока в конце длинной рельсовой цепи, а также от изменения величины подвеса приемных катушек во время движения. Кратковременный перерыв питания при переключениях фидеров машинистами локомотивов часто тоже отмечается как сбой АЛСН.

Итак, причинами нарушения нормального режима работы ВЛ СЦБ являются: обрыв проводов при падении деревьев или наброса проводов других линий (КЗ); наезда негабаритного транспорта, а также интенсивная коррозия; замыкание проводов при большой стреле провеса, поломке изоляторов или обрыва вязки проводов.

Повреждения кабельных вставок происходят в основном при производстве земляных работ, растяжке кабеля при просадке грунта, попадании влаги в муфту или воронку, коррозии оболочки кабеля.

Отказы предохранителей типа ПКН возникают главным образом при перегорании плавких вставок от КЗ во вторичной цепи трансформаторов ОМ, интенсивной коррозии рабочей спирали при нарушении герметизации плавкой вставки при её нагреве от плохого контакта или от воздействия атмосферных перенапряжений.

Повреждения трансформаторов ОМ возникают при проникновении влаги внутрь корпуса, что приводит к пробое высоковольтной обмотки, а также при механическом разрушении высоковольтных проходных изоляторов. При грозе и возникновении перенапряжения в проводах ЛЭП разрядники срабатывают не одновременно. Возникает большая разность потенциалов между фазами и в месте грозового разряда успевают выгореть часть линии. Предохранители ПКН срабатывают только при КЗ высоковольтной обмотки в непосредственной близости к выводам.

Промышленность не освоила выпуск плавких вставок на ток менее 0,5 А. При замыканиях в цепи вторичной обмотки трансформатор обычно сгорает. Это же происходит при замыкании в цепях нагрузки после неоднократных срабатываний и сваривания контактов при отказе автоматических выключателей типа АВМ.

При большом количестве линейных разъединителей в линиях ВЛ СЦБ периодически происходят случаи пропадания напряжения в одной из фаз из-за нарушения контакта, что также приводит к сбоям в СЦБ и АЛСН.

Таким образом, для надежной работы устройств СЦБ необходимо бесперебойное качественное электроснабжение, что может быть достигнуто за счет выполнения планово-профилактических и восстановительных работ в полном объеме в соответствии с Инструкцией по техническому обслуживанию и ремонту устройств электроснабжения СЦБ, применения современных устройств и средств защиты [14, 18].

Пути устранения недостатков в панелях электропитания

Повысить надежность электропитающих узлов постов ЭЦ можно также путем реновации существующей коммутационной и защитной аппаратуры. Как указывалось выше, магнитные пускатели вводных панелей постов ЭЦ имеют ряд недостатков.

Следует отметить, что аналогичная продукция ведущих мировых производителей Asea Brown Boveri Ltd. (ABB), Schneider Electric, Transtecno СВ Альтера, Lovato Electric и др. является более надежной, имеет меньшие размеры и массу. Так, вспомогательные контакты в зарубежных аналогах магнитных пускателей (контакторов) выполнены в виде отдельных блоков, что позволяет осуществить их резервирование в схемах контроля срабатывания и замены без демонтажа всего магнитного пускателя. Образец магнитного пускателя фирмы АВВ приведен на рис. 1, где представлены дополнительные узлы: RV5 / Ураб – ограничитель напряжения, который включается параллельно катушке электромагнита и изготавливается на все стандартные напряжения для данного серийного ряда; CAL5-11, CA5-10, CA5-31M – боковой, фронтальный и дополнительный фронтальный блоки вспомогательных контактов; VE 5-1 – устройство реверсивной блокировки; TA 25 DU – тепловое реле; NP 40 DA – пневматическое реле времени [6].

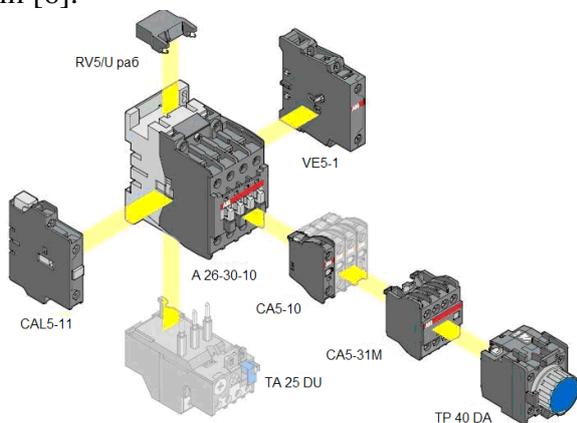


Рис. 1. Магнитный пускатель фирмы АВВ

Эти изделия целесообразно использовать в комплекте с электронной катушкой управления, позволяющей расширить диапазон рабочего напряжения, а также обеспечить работоспособность при значительных колебаниях напряжения сети, четкое срабатывание и возврат. Контактор такой комплектации бесшумен и способен выдерживать перебои или просадки напряжения в питающей цепи управления не менее 20 мс. В нем исключены все недостатки, присущие цепям управления переменного тока с обычными катушками.

Одним из вариантов решения проблем перегорания предохранителей является срабатывание защитных автоматов. Предупреждением возгорания или оплавления обмоток аппаратуры может стать замена существующих реле напряжения во вводных панелях электропитания на современные аналоги зарубежного производства. Наиболее подходящим является реле напряжения РНПП-301 (рис. 2), с помощью которого можно контролировать допустимый уровень действующего напряжения с отдельными регулировками уставок по минимальному и максимальному напряжению; правильность чередования фаз; снижение сопротивления изоляции между фазами ниже допустимых пределов; полнофазность и симметричность сетевого напряжения с регулируемой установкой по перекосу фаз; состояние силовых контактов магнитного пускателя до и после включения нагрузки; требуемые условия, в случае несоблюдения которых нагрузка отключается путем размыкания цепи питания катушками магнитного пускателя с заданной пользователем выдержкой времени; качества сетевого напряжения после отключения нагрузки. При нормализации его параметров нагрузка автоматически включается с заданной пользователем выдержкой времени и таким образом обеспечивается автоматическое повторное включение (АПВ) [24].



Рис. 2. Реле напряжения РНПП-301

Специалисты ОАО «НИИАС» и Саратовского электротехнического завода «ГЭКСАР» разработали блоки защиты от перенапряжений БЗПВ1 и БЗПВ2, которые применимы в панелях электропитания поста ЕЦ. Они устанавливаются взамен блоков БЗЭ-2 во вводных панелях ПВ2-ЭЦ и ПВ3-ЭЦ с целью повышения защищенности устройств ЖАТ [7, 12].

Также рекомендуется внедрять устройства защиты от перенапряжений (УЗИП) серии OVR фирмы ABB, Siemens, Toshiba, Cooper, ЗАО «Хакель Рос», SALTEK FLP-12,5 V/3, которые предназначены для защиты сети электропитания напряжением 400/230 В и способны длительно работать при напряжении переменного тока величиной 480/275 В, рассчитаны на эксплуатацию в течении 100000 ч, снабжены терморасцепителями с индикаторами срабатывания и контактами дистанционной сигнализации.

В настоящее время также разработан модернизированный блок включения фидера БВФ-М, который выполняет функции нескольких реле и электронных блоков РНМЗ, РНМЗ-У, КЧФ и ДИВ, применяемых во вводных панелях устаревшего типа. В функции БВФ входят: контроль минимального и максимального напряжений трехфазного фидера и управление работой реле включения фидера; формирование выдержки времени на включение фидера при наличии напряжения переменного тока в нагрузке или включение фидера без вы-

держки времени при отсутствии переменного тока в нагрузке при безбатарейном питании станций; контроль превышения допустимого времени одновременного выключения двух фидеров; контроль правильности чередования фаз и исключение включения фидера при неправильном чередовании фаз и наличии напряжения переменного тока на нагрузке – обеспечение возможности перехода с одного фидера на другой; управление работой исполнительных реле диспетчерского контроля; включение индикации контроля работы фидера на панели и табло дежурного [4, 7]. БВФ-М может использоваться в панелях питания типа ПВ1-ЭЦК, ПВ1М-ЭЦК, ПВВ-ЭЦ, ПВВ-АБ.

Совершенствование защиты высоковольтных линий СЦБ

Рассмотрим вопрос совершенствования защиты линий питания устройств СЦБ на примере участка железной дороги электрифицированной переменным током «Тернополь-Подволочиск», где длина фидерной зоны составляет 50 км, а для питания устройств СЦБ используются линии ВЛ СЦБ 10 кВ и два провода – рельс ДПР-27,5 кВ. Напряжение в высоковольтные линии основного и резервного питания подается от КТП, а к потребителям (пост ЭЦ, релейные шкафы светофоров РШ) – от трансформаторов типа ОМ-1,25 и ОМ-0,63 соответственно. Перегон является двухпутным (рис. 3).

Высоковольтные линии ВЛ СЦБ 10 кВ получают питание от тяговой подстанции с первичным напряжением 110 кВ путем двойной трансформации от понижающего трансформатора собственных нужд ТСН (ТМ-400-10/0,4) и повышающего ТМ-100-0,4/10. В систему ДПР подается напряжение непосредственно от шин тяговой подстанции 27,5 кВ от фаз «а» и «в», в качестве обратного провода используется рельс (фаза «с»). Марка проводов ВЛ СЦБ и ДПР – АС-50.

$$R = 1000 \frac{\Delta P_K U_H^2}{S_H}, \quad X = 10 \frac{u_K U_H^2}{S_H}. \quad (5)$$

Определить величину взаимной емкости между проводами ВЛ СЦБ и контактной сетью можно по формуле:

$$C_{к.с.-ВЛСЦБ} = \frac{4,2 \cdot 10^{-9} bc}{(m+2)(a^2 + b^2 + c^2)}, \quad (6)$$

где a – расстояние между линиями (по горизонтали); b – высота подвеса контактной сети над землей; c – высота подвеса линии ВЛ СЦБ над землей; m – количество заземленных проводов ВЛ СЦБ.

Сопротивление взаимоиндукции проводов контактной сети и линий ВЛ СЦБ учитываются следующим образом:

$$\underline{Z}_M = \frac{\pi \cdot \omega}{2} \cdot 10^{-4} + j \cdot \frac{\omega \cdot \mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot 10^3 \cdot \ln \frac{3.695}{D \cdot \sqrt{\omega \cdot g_3 \cdot \mu_0}}, \quad (7)$$

где D – расстояния между центрами проводников, м; ω – угловая частота, рад/с; μ_0 – магнитная постоянная, $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м; g_3 – проводимость земли, См/м.

Ток двухфазного КЗ при непосредственном замыкании двух фаз в трехфазной линии равен

$$I_K^{(2)} = 0,87 I_K^{(3)}. \quad (8)$$

Следует заметить, что ток срабатывания пусковых токовых реле при наличии блокировки минимального напряжения выбирается из тех же соображений, что и без блокировки, но по номинальному току защищаемого оборудования и без учета коэффициента самозапуска. Поэтому определение тока срабатывания производится по формулам:

$$I_{с.з.} = \frac{K_H}{K_\theta} I_{ном}, \quad I_{с.р.} = \frac{K_H K_{сх}}{K_\theta n} I_{ном}, \quad (9)$$

где K_H – коэффициент надежности реле, K_θ – коэффициент возврата реле, $K_{сх}$ – коэффициент схемы, n – коэффициент трансформации трансформатора тока.

Напряжение срабатывания реле блокировки минимального напряжения максимальной токовой защиты должно удовлетворять следующим условиям:

- защита не должна действовать при эксплуатационных понижениях напряжения до минимально возможного рабочего значения. Для линий ВЛ СЦБ нормируется изменение напряжения в пределах $+5 \dots -10\%$ $U_{ном}$. Таким образом, минимальное рабочее напряжение составляет $U_{min} = 9$ кВ;

$$U_{н.з.} = \frac{U_{min}}{K_H}, \quad (10)$$

где K_H – коэффициент надежности реле, может быть принят равным $1,1 \dots 1,2$;

- защита должна надежно действовать при КЗ на защищаемом участке и иметь коэффициент чувствительности при КЗ в конце этого участка порядка $K_\eta = 1,5$. Напряжение срабатывание рассчитывается по формуле:

$$U_{с.з.} = \frac{U_{min}}{K_H K_\theta}, \quad (11)$$

где $K_\theta = 1,2$.

Напряжение срабатывания реле с учетом коэффициента трансформации трансформатора напряжения, используемого в релейной защите $n = \frac{U_{ном1}}{U_{ном2}} = \frac{10000}{100} = 100$:

$$U_{с.р.} = \frac{U_{min}}{K_H K_\theta n}, \quad (12)$$

$$K_\eta = \frac{U_{с.з.}}{U_{к.з. max}} \geq 1,5, \quad (13)$$

где $U_{к.з. max}$ – максимальное значение остаточного напряжения в месте установки защиты;

- защита должна действовать при КЗ на смежном участке и иметь коэффициент чувствительности при КЗ в конце смежного участка порядка $K_v=1,2$.

Для выполнения первого условия напряжение срабатывания должно быть меньше минимального рабочего напряжения. Однако выполнение только одного этого условия недостаточно. Так, если произойдет КЗ, при котором вследствие понижения напряжения блокировка минимального напряжения сработает, то для того, чтобы после отключения КЗ реле вернулись в исходное положение, их напряжение возврата должно быть меньше минимального рабочего напряжения. Это требование вытекает из того, что после отключения КЗ напряжение может восстановиться не до нормальной величины, а только до значения, соответствующего минимальному рабочему напряжению.

Напряжение U_{\min} может быть определено при приближенном расчете режима самозапуска. Обычно на практике имеют место случаи, когда приходится принимать $U_{с.з.} = (0,4...0,5)U_{nom}$. Такое снижение чувствительности должно использоваться

только при необходимости (например, для согласования по чувствительности с предыдущими защитами), так как при этом ухудшаются условия согласования для защит последующих (питающих) элементов: максимальных токовых, а так же дистанционных, особенно с ненаправленными реле сопротивления. Ниже $0,4U_{nom}$ уставку выбирать опасно, поскольку защита может отказать при КЗ на защищаемых шинах через переходное сопротивление.

Питание пусковых органов напряжения защит понижающих трансформаторов осуществляется от трансформаторов напряжения, установленных на сторонах среднего и низшего напряжений. При этом чувствительность реле при выбранных уставках с большим запасом обеспечивается при всех видах КЗ на шинах соответственно среднего и низшего напряжений.

Результаты расчета по формулам (1 – 13) для выбора уставок защит приведены в табл. 2, 3. Время срабатывания I ступени защиты 0 с, II ступени – 0,5 с. МТЗ реализуется на реле тока РТ-40, РН-60Д. Время автоматического повторного включения (АПВ) – 0,5 с.

Таблица 2

Результаты расчета и выбора уставок релейной защиты линии ВЛ СЦБ 10 кВ

Величина тока КЗ (место КЗ)	Активное сопротивление КЗ $R_{КЗ}^*$, Ом	Реактивное сопротивление КЗ $X_{КЗ}^*$, Ом	Полное сопротивление КЗ $Z_{КЗ}^*$, Ом	Вид КЗ		Токи уставки двухфазной двухрелейной двухступенчатой МТЗ, А		Токи уставки трехфазной трехрелейной двухступенчатой МТЗ, А	
				Ток двухфазного КЗ $I_{дв}^*$, А	Ток трехфазного КЗ $I_{тр}^*$, А	I ступень	II ступень	I ступень	II ступень
$I_{КЗ \min}$	280/ 282	117,3/ 121	303/ 307	19/ 18,8	16,5/ 16,3	11/ 10,9	-	12,7/ 12,5	
$I_{КЗ \max}$	82,2	56,3	100	60	50	-	10		10

Примечание: * – в числителе указаны расчеты сопротивления и токов КЗ без учета взаимоиנדукции между проводами контактной сети и линии ВЛ СЦБ 10 кВ, в знаменателе – с учетом сопротивления Z_M

Таблица 3

Результаты расчета и выбора уставок максимальной токовой защиты с блокировкой по минимальному напряжению линии ВЛ СЦБ 10 кВ

Коэффициент трансформации трансформатора напряжения, $n = \frac{U_{1nom}}{U_{2nom}}$	Минимальное рабочее напряжение U_{min} , В	Напряжение срабатывания защиты $U_{с.з.}$, В	Напряжение срабатывания реле РН-60Д $U_{с.р.}$, В	Коэффициент чувствительности K_{χ}
$n = \frac{10000}{100} = 100$	9000	7438	74,38	1,65
$n = \frac{10000}{220} = 45,5$			163,6	

Учет сопротивления взаимной индукции проводов позволяет повысить точность задания уставок защит до десятых Ампер, что в ряде случаев может быть критичным. Сравнение полученных уставок токов и напряжения МТЗ с блокировкой по напряжению с действующими на данном участке показало, что относительная погрешность расчета не превысила 2,2 %.

Выводы

Выполнен анализ проблем, возникающих в панелях электропитания поста ЭЦ старого образца. Одной из причин ненадежной работы систем электроснабжения устройств СЦБ является отсутствие контроля неполнофазных режимов в цепях электроснабжения.

Неправильное функционирование устройств СЦБ может происходить вследствие влияния тягового тока на рельсовые цепи в нормальных и аварийных режимах работы системы электроснабжения и в результате кратковременного перерыва или понижения величины питающего напряжения. Причинами нарушения нормального режима работы ВЛ СЦБ являются: обрыв проводов при падении деревьев или наброса проводов других линий (КЗ); интенсивная коррозия; замыкание проводов при большой стреле провеса, поломке изоляторов или обрыва вязки проводов.

Рассмотрены вопросы обеспечения пожаробезопасности. Пожароопасные ситуации могут возникать из-за нагрева монтажа и разъёмных соединений вследствие плохого контакта. Основными причинами возгораний на постах ЭЦ являются попадание тягового тока на устройства СЦБ и связи и отсутствие селективности защит в низковольтных цепях.

Одним из путей устранения перечисленных выше недостатков является разработка рекомендаций по внедрению современных средств релейной защиты. Для защиты линий ВЛ СЦБ предложено применять двухступенчатую трехфазную трехрелейную максимальную токовую защиту с блокировкой по минимальному напряжению с АПВ.

Научная новизна заключается в усовершенствовании формул расчета сопротивления КЗ максимальной токовой защиты с блокировкой по минимальному напряжению за счет учета емкостного и индуктивного влияния тяговой сети переменного тока 25 кВ на линиях ВЛ СЦБ, что позволило более точно определить значения токов уставок минимального и максимального КЗ и минимального напряжения. Относительная погрешность расчетов в сравнении с уставками, применяющимися на действующем участке, не превысила для токов – 2 %, для напряжения – 2,2 %, что соответствует инженерной точности.

Библиографический список

1. Коган, В. Г. Аппаратура электропитания железнодорожной автоматики. [Текст] / В. Г. Коган, М. М. Молдавский. – М: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 438 с.
2. Электропитание устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи [Текст] / Под ред. Вл. В. Сапожников – М.: Маршрут, 2005. – 453 с.
3. Михайлов, А. Ф. Электропитающие устройства и линейные сооружения автоматики, телемеханики и связи железнодорожного транспорта [Текст] / А. Ф. Михайлов, Л. А. Частоедов. – М.: Транспорт, 1987. – 383 с.
4. Модернизированные панели питания ЭЦ для крупных станций [Текст] / Ганеев Э. А. и др. // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – №11. – С. 19-22.
5. Зингер, М. Б. Питающие панели будут работать надежнее [Текст] / М. Б. Зингер // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 10. – С. 18-20.
6. Сороко, В. И. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики [Текст]: Справочник: в 2 кн. Кн. 2. – 3 изд. / В. И. Сороко, Е. Н. Розенберг – М.: НПФ «Планета», – 2000. – 1008 с.
7. Ганеев, Э. А. Источники питания нового поколения для устройств ЖАТ / Э. А. Ганеев, А. Ю. Грайфер, С. П. Сергеев // Автоматика, связь, информатика. 2011. – № 8. – С. 9-10
8. Питающие пункты устройств автоматики и телемеханики. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://scbist.com/stati-po-scb/2857-statya-pitayuschie-punkty-ustroystv-avtomatiki-i-telemehaniki.html>.
9. Пат. № 67168 Україна. Мікропроцесорна централізація стрілок та сигналів “СТАРТ”: Пат. 67168 Україна, В61L21/00 [Текст]/ Бодня Є. В. – № u 201107107. Заявлено 06.06.2011; Опубл. 10.02.2012, Бюл. № 3.– 9 с.
10. Кононов, В. А. Основы проектирования электрической централизации промежуточных станций [Текст] / В. А. Кононов, А. А. Лыков, А. Б. Никитин. – М.: УМК МПС России, 2003. – 316 с.
11. Современные устройства электропитания микропроцессорных и релейных систем железнодорожной автоматики. Назначение и область применения СПУ [Электронный ресурс] / ОАО «РАДИОАВИОНИКА». – Режим доступа: http://static.scbist.com/scb/uploaded/1113_18_1398165728.pdf.
12. Игнатов, Г. Б. Основные направления повышения надежности электроснабжения устройств СЦБ [Текст]/ Г. Б. Игнатов, Е. Э. Закиев, А. В. Наумов // Вестник ВНИИЖТ. – 2005. – № 1. – С. 9-13.
13. Поплаухин, Э. Н. Пособие по ознакомлению с основными принципами работы и системами электроснабжения устройств СЦБ [Электронный ресурс]/ Э. Н. Поплаухин, Н. В. Ожиганов. – Дорожная электротехническая лаборатория. СКЖД, 2001. – Режим доступа: <http://rostovrailway.narod.ru/posobie.htm>
14. Набойченко, И. О. Посты ЭЦ не должны гореть [Текст]/ Набойченко И. О. // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – № 11. – С. 23-26.
15. Правила улаштування електроустановок [Текст]: вид. 3-тє, перероб. і доп. – Мінпаливенерго України, 2010. – 736 с.
16. Правила технічної експлуатації залізниць України [Текст]: Наказ № 258 від 25.07.2006, зареєстр. в Мін-ві Юстиції України від 25.10.2006 р. від № 1143/13017 ./ Мінпаливенерго України. – К., 2006.
17. ЦШ-0042: Пристроїв сигналізації, централізації та блокування. Технологія

- обслуговування [Текст]: Наказ № 347-ЦЗ від 26.04.2006/ Міністерство транспорту. – К., 2006.
18. Інструкція з технічного обслуговування і ремонту пристроїв електропостачання систем сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) ЦЕ-0033 [Текст]: Затв. Наказ Укрзалізниці від 09.02.2012. №048-Ц на заміну ЦЕ-0002. –К., 2012. – 53 с.
19. ЦШ-0060: Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування [Текст]: Наказ № 090-ЦЗ від 07.10.2009 / Міністерство транспорту. – К., 2009.
20. Блок включення фидера модернізованний БВФ-М [Електронний ресурс] / ТУ 32 ЦШ 162.29-2011 (черт. 22389-00-00) Режим доступа: – http://geksar.ru/attachments/148_BVF-M.pdf
21. Рогачева, И. Л. Эксплуатация и надежность систем электрической централизации нового поколения [Текст] / Рогачева И. Л. – М.: Маршрут, 2006. – 220 с.
22. Environmental Product Declaration EBILock 950 – Interlocking System/ [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bombardier.com/content/dam/Websites/bombardiercom/supporting-documents/Sustainability/Reports/BT/Bombardier-Transportation-EPD-EBI-Lock-950-Interlocking-System-en.pdf>
23. Герм, Л. А. Устройства и линии электрооборудования автоблокировки [Текст] / Л. А. Герман, М. И. Векслер, И. А. Шелом. – М.: Транспорт, 1987 – 192 с.
24. Реле напряжения, перекося и последовательности фаз РНПП-301 [Электронный ресурс]: рук-во по экспл. Паспорт: ООО «НОВАТЕК-Электро». – Режим доступа: http://novatek-electro.com/docs/doc_rnpp-301.pdf

Ключові слова: панелі електроживлення, пост електричної централізації, релейний захист, небезпечний та заважаючий впливи, пристрої захисту.

Ключевые слова: панели электропитания, пост электрической централизации, релейная защита, опасное и мешающее влияния, устройства защиты.

Keywords: electrosupply panels, post of electric centralization, relay protection, dangerous and disturbing influences, protection devices.

Рецензенти:

д.т.н., проф. А. Б. Бойник,
д.т.н., проф. А. М. Муха.

Надійшла до редколегії 17.04.2015
Прийнята до друку 15.05.2015