

Бесперебойное электропитание для современных систем сигнализации, централизации и блокировки метрополитена

С. В. КУЗНЕЦОВ, технический директор — заместитель генерального директора ООО «Лайтон»,

И. В. ФРАНТОВ, директор производственного департамента ОАО «Роснано-Информ»,

Д. Н. БОЛОТСКИЙ, руководитель отдела развития бизнеса ООО «Бомбардье Транспортейшн (Сигнал)», Москва



Проектирование системы электропитания стационарной части комплекса аппаратуры систем сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) связано с решением целого

ряда вопросов — таких как выбор наилучшего варианта схемы системы бесперебойного электропитания (СБЭП), устранение недостатков, связанных с работой источников бесперебойного питания, реализация оптимальной схемы электропитания для системы микропроцессорной централизации и других.

В действующем СНИПе 32-02-2003 «Метрополитены» не совсем корректно, на наш взгляд, использован термин «источник бесперебойного питания» (ИБП) (например, в п. 5.10.3.8). Под данным термином сегодня обычно понимается моноблочный источник бесперебойного питания, а не система, обеспечивающая электропитание, например потребителей особой группы 1-й категории, в том числе современных систем сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ). С современных позиций в этом смысле более правильно использовать термин «система бесперебойного электропитания (СБЭП)». Тем не менее в указанном СНИПе абсолютно правильно изложена суть основных функциональных задач, которые возлагаются на систему бесперебойного электропитания. К ним относятся:

- реализация функций включения/отключения от внешних источников;
- реализация функций автоматического ввода резерва (АВР);
- реализация функции распределения электроэнергии между потребителями;
- реализация функций защиты потребителей от внешних и внутренних повреждений.

Цель данной статьи — осветить конкретные вопросы, возникающие при проектировании системы электропи-

тания стационарной части комплекса аппаратуры систем СЦБ (другие ее названия: АТДП — автоматика и телемеханика управления движением поездов; АСУД — автоматизированные системы обеспечения безопасности и автоматизированного управления движением поездов). СБЭП в данном случае мы рассматриваем как составную часть современного интегрированного комплекса систем автоматики, сигнализации, связи и безопасности (АССБ).

Типы схемы соединения обмоток трансформаторов

Внешнее электропитание СБЭП системы СЦБ осуществляется, как правило, от двух специальных сухих трансформаторов АТДП 6(10)/0,4 кВ мощностью 25–40 кВА с совмещенной тягово-понижительной подстанции. При этом схема соединения обмоток трансформаторов со стороны 0,4 кВ в современных системах, в соответствии со СНИПом 32-02-2003 «Метрополитены» (п. 5.10.5), должна быть «с глухозаземленной нейтралью».

Мы готовы полемизировать с авторами некоторых статей (например, [1]) и утверждать, что в возвращении к схемам с изолированной нейтралью нет необходимости. Безусловно, отечественные метрополитены, имеющие длинную историю, сталкиваются с вопросом (а иногда и с требованием) касательно использования схем с изолированной

нейтралью. Ключевой аргумент их сторонников состоит в том, что глухозаземленная нейтраль вызывает прерывание производственного процесса, т. е. в рассматриваемом случае — отключения системы СЦБ при повреждении, например ИБП. Но это возможно только в отказоустойчивых системах типа одиночного ИБП, а не в современной системе.

В пользу применения сети с глухозаземленной нейтралью можно привести ряд доводов (помимо обеспечения защиты от поражения электротоком). В частности, использование в системе серийно изготавливаемых ИБП предпочтительнее, чем изготавливаемых только «под заказ», которые обеспечивают на выходе «треугольник» с междофазным напряжением 220 В, а также систем с развитыми, но фактически уникальными звеньями постоянного тока и набором выпрямителей и преобразователей DC/AC, DC/DC.

Трехфазные сети с глухозаземленной нейтралью используются для электропитания аппаратных средств как в известных современных отечественных системах СЦБ (комплексная система «Движение» разработки НИИ точной механики), так и в импортных (производства компаний Siemens, Alstom, Ansaldo, Bombardier Transport и др.). Происходит это не по прихоти разработчиков, а потому, что, во-первых, такие сети являются самыми распространенными и доступными, во-вторых, в комплексе подобной аппаратуры в любом случае строится своя внутренняя система электропитания со всеми необходимыми для конкретной системы номиналами напряжений и видами токов.

Функции и структура СБЭП

СБЭП, в соответствии с учетом действующей нормативно-технической документации, предназначена для:

- бесперебойного обеспечения потребителей систем СЦБ метрополитена

электропитанием 1-й категории особой группы без перерывов питания на время действия АВР при наличии напряжения на рабочем и (или) резервном вводе;

- гарантированного обеспечения потребителей систем СЦБ метрополитена электропитанием в течение периода не менее 1 часа при полном отсутствии напряжения по рабочему и резервному вводу;

- защиты потребителей СЦБ от перенапряжений, провалов напряжения со стороны внешних источников, неправильного чередования фаз по входу, коротких замыканий во внешних сетях, внутри СБЭП и у отдельных потребителей;

- диагностики функционального состояния оборудования системы и наличия напряжения на рабочем и резервном вводе с протоколированием событий;

- обеспечения выдачи диагностических сообщений и протокола событий на АРМ удаленного мониторинга СБЭП, единого для линии метрополитена (в наиболее современных комплексах для метрополитена, построенных с использованием отказоустойчивой магистральной информационной сети передачи данных на оптоволокне).

Продemonстрируем реализацию современной СБЭП в проектах новых метрополитенов в Казани и Алма-Ате.

В состав группы оборудования СБЭП с входным и выходным междуфазным напряжением 380 В входят:

- щиты отключения с отдельными отсеками для рабочего и резервного вводов;
- главные щиты со схемой АВР и групповыми автоматическими выключателями;
- распределительные щиты (РЩ) нагрузки с групповыми и индивидуальными автоматическими выключателями нагрузки;
- по два источника бесперебойного питания со встроенными аккумуляторными батареями (АКБ);
- дополнительные блоки аккумуляторных батарей для ИБП (при необходимости увеличения времени автономии более 1 часа).

Варианты схемы СБЭП

Типовая общая однолинейная схема СБЭП, использованная в проектах, приведена на рис. 1. Как видно на схеме, в СБЭП используются два параллельно работающих ИБП.

Некоторые проектные организации в ряде своих проектов предлагают схему СБЭП не с параллельно работающими

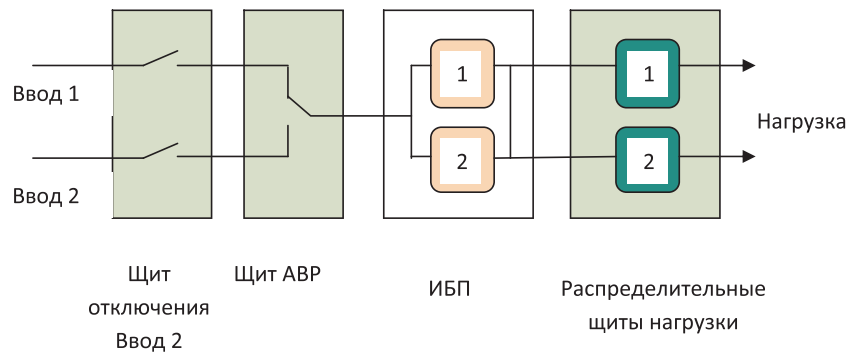


Рис. 1. Типовая общая однолинейная схема СБЭП

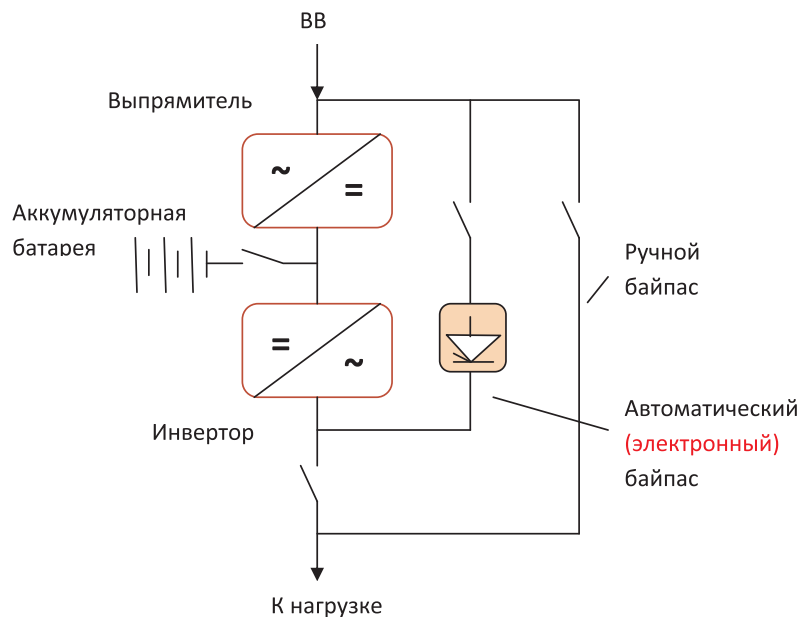


Рис. 2. Однолинейная схема ИБП

ми, а с рабочим и резервным ИБП, в которой при повреждении рабочего ИБП осуществляется автоматический переход на резервный с использованием байпаса (рис. 2).

Для реализации перехода на резервный ИБП, например при внутреннем повреждении рабочего, необходима серия оперативных переключений в основных и вспомогательных цепях системы — как правило, отключение основной цепи, включение байпаса, отключение байпаса после проверки работоспособности резервного ИБП, включение основной цепи резервного ИБП.

Реализация такого алгоритма характеризуется рядом недостатков. Во-первых, работа через автоматический или ручной байпас означает, что, вне зависимости от интервала времени работы через байпас, электропитание СЦБ осуществляется от фактически неконтролируемого внешнего источника с уровнем напряжения от нуля до любого возможного, с отсутствием фильтрации всех гармоник и помех. Таким образом, выход рабочего ИБП из строя может

произойти в момент резкого снижения напряжения на входе (или при возникновении перенапряжения), когда АВР еще не сработает (обычно время перехода на резервный ввод составляет около 1 с.). Во-вторых, оперативные переключения в выходных цепях разных ИБП не могут быть синхронизированы, поэтому работе аппаратуры СЦБ будут, безусловно, препятствовать перерывы электропитания, пусть и кратковременные.

Сертификация аппаратуры СЦБ по безопасности проводится, как правило, при электропитании от источников 1-й категории особой группы без перерывов питания, поэтому работоспособность и безопасность функционирования СЦБ при использовании схем с рабочим и резервным ИБП нужно доказывать. Что касается практики, то, например, на систему «Движение», оснащенную высоковольтным источником питания с большими зарядными емкостями, кратковременные перерывы, возможно, не окажут влияния, но во избежание опасных отказов более правильно в методическом отношении ис-

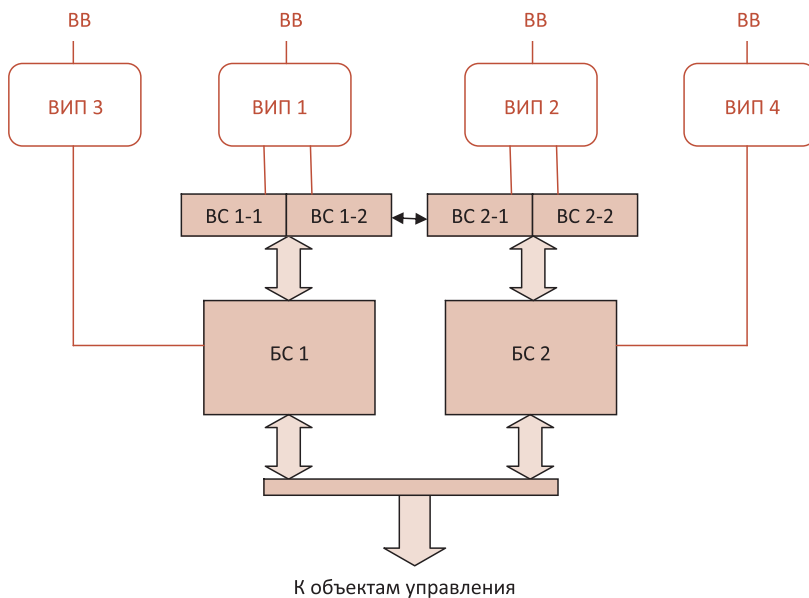


Рис. 3. Функциональная схема электропитания резервированных цифровой и силовой частей МПЦ с архитектурой «два из двух + два из двух в резерве»: **ВС 1-1, ВС 1-2** — основной безопасный контроллер (вычислительная система), реализованный по схеме «два из двух»; **ВС 2-1, ВС 2-2** — резервный безопасный контроллер (вычислительная система), реализованный по схеме «два из двух»; **БС 1** — основной блок (шкаф) коммутации силовых цепей стрелок или светофоров (в «безопасном» исполнении); **БС 2** — резервный блок (шкаф) коммутации силовых цепей стрелок или светофоров (в «безопасном» исполнении); **ВИП 1, ВИП 2** — вторичные блоки электропитания цифровых частей; **ВИП 3, ВИП 4** — вторичные блоки электропитания силовых частей; **ВВ** — вводы от РЩ СБЭП.

пользовать системы с параллельно работающими ИБП.

К недостаткам СБЭП с параллельно работающими ИБП можно отнести потенциальную возможность отключения обоих ИБП и прекращение электропитания аппаратуры СЦБ при коротком замыкании в общей части схемы между ИБП и распределительными щитами нагрузки. Но при этом необходимо принимать во внимание следующие моменты:

- в продуманных проектах электрощитовые с ИБП для систем СЦБ устанавливаются в смежных с аппаратными помещениями, где размещаются распределительные щиты; в этом случае физический размер общих цепей сводится к минимуму;
- в продуманных проектах вводные и выходные цепи ИБП каждой фазы выполняются с помощью отдельных проводов, а сами провода и кабели защищаются коробами;
- так как помещения ИБП (щитовые) СЦБ и помещения ИБП (щитовые) систем связи находятся, как правило, в одном блоке помещений, в аварийном режиме (в случае одновременного выхода из строя двух ИБП СЦБ) существует проектная возможность включения РЩ СЦБ через внешний ручной байпас от ГРЩ ИБП систем связи;
- помещения как щитовых, так и аппаратных с современными системами СЦБ со встроенными системами диагностики являются необслуживаемыми,

ремонт аппаратных средств производится «по состоянию», поэтому роль человеческого фактора сводится в данном случае почти к нулю.

Необходимо отметить, что потенциально слабые места имеются практически в любом варианте СБЭП. Так, в схеме, рекомендованной в [1], таким местом являются шины постоянного тока, короткое замыкание на которых (или на неотключаемой части отходящих линий) выводит из строя всю систему.

Описанный набор проектных, конструктивных и организационных решений обеспечивает система СЦБ высокую степень защиты от возникновения ситуаций с отключением обоих ИБП, хотя сами по себе такие ситуации являются штатными (в отличие от ситуаций с перерывами питания неясной длительности).

Заметим, что в идеале электропитание могло бы осуществляться от трех независимых источников, однако на практике в метрополитенах такого нет, а если будет, то СБЭП и непосредственно система СЦБ могут неоправданно усложниться и их стоимость повысится без существенного улучшения свойств.

Проблемы обеспечения бесперебойного электропитания для систем СЦБ не ограничиваются решением вопроса с организацией бесперебойного электропитания «по входу». В каждом конкретном случае реализации системы СЦБ должны учитываться индивидуаль-

ные особенности построения, в противном случае есть риск отключения электропитания при однократном повреждении, например одной фазы.

Схемы электропитания для системы микропроцессорной централизации

В современных микропроцессорных СЦБ используются обычно мажоритарные системы (системы «голосования»): «два из двух + два из двух в резерве», «два из трех», — а электропитание каждой части осуществляется от собственных встроенных вторичных источников питания (ВИП). Отключение любого из ВИП в отказоустойчивых системах не должно приводить к изменению свойств системы безопасности. Можно легко показать, что правильное распределение подключения ВИП к разным фазам трехфазной сети в сочетании с правильным разбиением электропитания нагрузок от разных распределительных щитов дает даже лучший эффект, чем электропитание от трех разных однофазных ИБП. Трехфазные ИБП и при штатной работе, и в экстренных случаях полноценно справляются с большим перекосом нагрузки по фазам (вплоть до нуля потребления по одной из фаз).

Продемонстрируем реализацию схемы электропитания для системы микропроцессорной централизации (МПЦ) «два из двух + два из двух в резерве» (примером такой системы является сертифицированная в России МПЦ EbiLock) и «два из трех» (ее примером является МПЦ в составе комплексной системы «Движение»). На рис. 3 в самом общем виде показана функциональная схема электропитания резервированных цифровой и силовой частей МПЦ с архитектурой «два из двух + два из двух в резерве».

В данном случае требуются четыре ввода к аппаратуре СЦБ от РЩ СБЭП, априори различной мощности. С учетом того, что отдельно каждая половина представленной симметричной схемы не обладает свойствами отказоустойчивости, может быть использована схема подключения ВИП 1 и ВИП 3 к одной фазе, а ВИП 2 и ВИП 4 — к другой фазе на распределительном щите СБЭП. Однако при таком подходе возникает проблема перекоса по фазам: фаза, на которую нагружен основной комплект, загружена, а фаза, к которой подключен резервный комплект, не загружена совсем, как и третья фаза. Поэтому оптимальным вариантом яв-

ляется электропитание от двух распределительных щитов СБЭП (рис. 1) и запитывание половин не только от разных фаз, но и от разных распределительных щитов (например, ВИП 1 — на первой фазе РЩ 1, ВИП 2 — на первой фазе РЩ 2, ВИП 3 — на второй фазе РЩ 2, ВИП 4 — на третьей фазе РЩ 1. В этом случае по крайней мере две фазы СБЭП из трех будут загружены независимо от режима. Тем не менее несимметричность нагрузок сохраняется. Без дополнительных комментариев ясно, что наличие трех независимых источников или трех РЩ существенно усложнит схему электропитания МПЦ такой архитектуры.

На рис. 4 в общем виде представлена функциональная схема электропитания резервированных цифровой и силовой частей МПЦ с архитектурой «два из трех», описанной в [2].

В этом случае требуются пять вводов электропитания к аппаратуре СЦБ от СБЭП, также априори различной мощности. Очевидно, что здесь должна быть использована схема подключения ВИП 1, ВИП 2, ВИП 3 к разным фазам, а ВИП 4 и ВИП 5 — к любым разным фазам на РЩ СБЭП. С учетом того, что аппаратура СЦБ может иметь несколько достаточно автономных стоек (со своим набором ВИП), в каждой из которых присутствуют и цифровая, и силовая части, оптимальным вариантом является формирование двух распределительных щитов СБЭП и запитывание составных частей не только от разных фаз, но и от разных распределительных щитов — с возможно более равным распределением нагрузки по фазам. Легко показать, что и в данном случае наличие трех внешних независимых источников в составе СБЭП при отсутствии «троирования» в силовой части не даст никаких преимуществ перед приведенной схемой. А если при создании МЦМ «снизу доверху» сохранить принцип «троирования», существенно уменьшится гибкость всей системы (возможность парирования серии различных отказов электропитания при сохранении «безопасного» функционирования всей системы).

Организационные условия

Необходимо отметить два важных технических момента смежного характера, касающихся СБЭП метрополитена. Во-первых, необходимым мероприятием является мониторинг СБЭП. Опыт показывает, что незафиксированные отключения АВР из-за неудовлетворительных показателей качества электро-

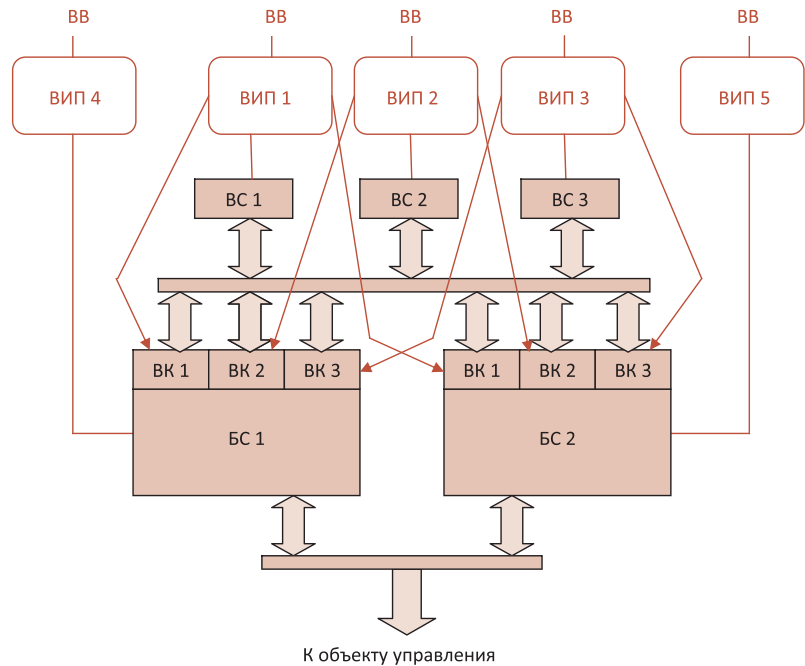


Рис. 4. Функциональная схема электропитания резервированных цифровой и силовой частей МПЦ с архитектурой «два из трех»: **ВС 1, ВС 2, ВС 3** — составные части безопасной вычислительной системы, реализованной по схеме «два из трех»; **БК 1, БК 2, БК 3** — составные части безопасного контроллера блоков силовой коммутации, реализованного по схеме «два из трех»; **БС 1** — основной блок коммутации силовых цепей стрелки или светофора (в «безопасном» исполнении); **БС 2** — резервный блок коммутации силовых цепей стрелки или светофора (в «безопасном» исполнении); **ВИП 1, ВИП 2, ВИП 3** — вторичные блоки электропитания цифровых частей; **ВИП 4, ВИП 5** — вторичные блоки электропитания силовых блоков; **ВВ** — вводы от СБЭП.

энергии (особенно в ночное время), переход СБЭП на автономную работу от аккумуляторов приводят к большим проблемам. Для оперативного информирования дежурного персонала недостаточно штатной звонковой сигнализации в необслуживаемом помещении. Нужно, как минимум, вывести тревожную сигнализацию в помещение дежурной по станции, а еще лучше — в центр мониторинга линии с постоянным персоналом. Это подразумевает наличие не только встроенной системы диагностики ИБП (для большинства современных моделей она существует), но и развитых отказоустойчивых сетей передачи данных от щитовых до ДПС.

Во-вторых, важно осуществлять кондиционирование помещений щитовых, в которых размещаются ИБП. Как известно по опыту, примерно в половине случаев бывает достаточно теплосъема с использованием обычной приточно-вытяжной вентиляции. Однако при расчетах не учитывается, что ключевую роль в вентиляции помещения играют тоннельные вентиляторы, которые по самым банальным причинам (экономия электроэнергии, профилактика, ремонт) могут быть выключены на несколько часов (наиболее часто это случается в ночное окно). А аккумуляторы ИБП весьма чувствительны к повышению температуры сверх определенных пределов: в этом случае резко

уменьшается их ресурс. Безусловно, если обеспечить кондиционирование по тем или иным причинам трудно, в качестве первого шага нужно, как минимум, создать систему мониторинга температуры в помещениях электрощитовых, включив, например, в состав системы мониторинга ИБП датчики температуры в помещениях.

Наконец, заострим внимание на еще одном немаловажном организационном вопросе, касающемся СБЭП. Современная СБЭП — это отнюдь не простая электрическая система, в ней много электронных компонентов, достаточное количество программных возможностей и т. п. Поэтому в штате метрополитена крайне необходимо иметь обученных и сертифицированных производителем ИБП специалистов, располагающих полным набором программ, инструмента и т. п. и способных обеспечить длительную безаварийную работу системы, качественное ее обслуживание и ремонт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шатохин В. А. Совершенствование устройств электропитания железнодорожной автоматики и телемеханики // Наука и транспорт. Метрополитены будущего. — 2010. — С. 64–66.
2. Галяев А. Г. Техническое оснащение Казанского метрополитена // Наука и транспорт. Метрополитены будущего. — 2010. — С. 22–25.