



Повышение эффективности защиты участков с постами секционирования на разъединителях



Камиль СУБХАНВЕРДИЕВ
Kamil S. SUBKHANVERDIEV

Константин КУЛАГИН
Konstantin V. KULAGIN



Алексей АГАЛЬЦОВ
Alexey A. AGALTSOV

Субханвердиев Камилъ Субханвердиевич – доцент кафедры электроэнергетики транспорта Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.

Кулагин Константин Валерьевич – студент РУТ (МИИТ), Москва, Россия.

Агальцов Алексей Александрович – студент РУТ (МИИТ), Москва, Россия.

Enhanced Efficiency of Protection of Railway Power Network Sections by Sectioning Posts with Disconnectors
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 71)

В статье рассмотрены особенности схемы защиты участков контактной сети с разъединителями на посту секционирования (ПС) и показаны её преимущества и недостатки. Предложено решение, позволяющее улучшить исследуемую схему и повысить надёжность работы системы тягового электроснабжения. Представлены схема питания двухпутного участка контактной сети с разъединителями и выключателем на ПС, графики селективности защит выключателей смежных тяговых подстанций и выключателя ПС, а также их временные характеристики. Оценена последовательность действий, связанных с подачей напряжения на отключённый участок сети при предлагаемой схеме защиты.

Ключевые слова: контактная сеть, пост секционирования на разъединителях, тяговое электроснабжение, короткое замыкание, неселективная система защиты, система защиты с поперечными связями, выдержка времени.

На отдельных участках железных дорог переменного тока применяется узловая схема питания двухпутного участка контактной сети с разъединителями на посту секционирования (ПС) [1]. Организация защиты при этой схеме имеет свои особенности (рис. 1). Так, для защиты от токов короткого замыкания (КЗ) в тяговой сети, когда ПС без выключателей, приемлема лишь неселективная система защиты (НСЗ) [2].

Дистанционные НСЗ выполняются во всех ступенях с нулевой выдержкой времени [2–4]. Это позволяет сократить число пережогов контактных проводов, поскольку отключение КЗ на всей межподстанционной зоне происходит наиболее быстро, то есть без выдержки времени (см. рис. 1б). Время отключения повреждения (рис. 1в):

$$t_{\text{отк}} = t_{\text{З(II, III)}} + t_{\text{QA(B)n}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{З(II, III)}}$ – время срабатывания соответствующей ступени защиты НСЗ; $t_{\text{QA(B)n}}$ – время отключения выключателя QA(B)n на ТП. При использовании современных

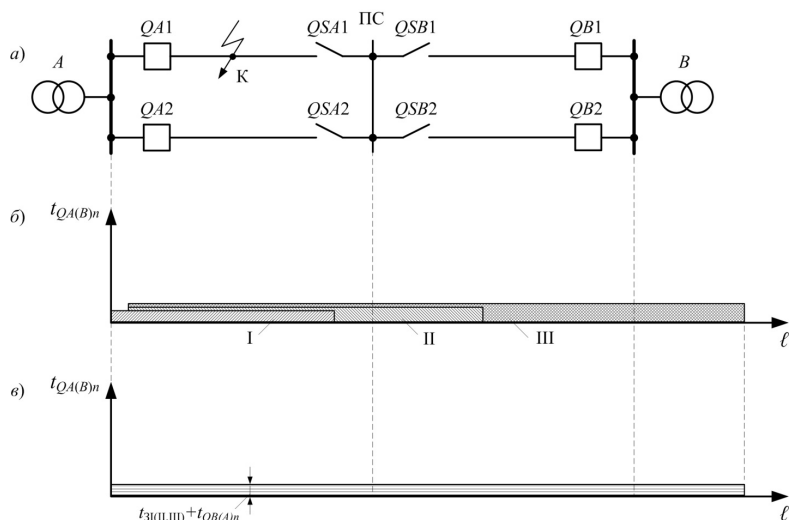


Рис. 1. Схема питания двухпутного участка контактной сети с разъединителями на ПС (а), графики селективности защит выключателей смежных ТП (б) и их временная характеристика (в).

выключателей и микропроцессорных защит это время составляет 0,07 с.

Однако КЗ в любой точке защищаемой зоны «подстанция—пост» на узловой схеме питания (например, в точке К на рис. 1а) при НСЗ сопровождается одновременным отключением всех выключателей ($QA1$, $QA2$ и $QB1$, $QB2$) смежных тяговых подстанций (ТП). В результате отключается напряжение как на повреждённом участке, так и на неповреждённых, то есть обесточиваются оба пути.

Покажем последовательность операций по восстановлению напряжения в контактной сети после того, как произошло КЗ [2].

После отключения всех выключателей смежных тяговых подстанций «разбирается» ПС, то есть происходит отключение разъединителей $QSA1$, $QSA2$ и $QSB1$, $QSB2$ в бестоковую паузу (рис. 1). Далее выполняется «слепое» АПВ на смежных ТП и включаются отключившиеся выключатели. Затем выключатель $QA1$ повреждённого участка снова отключается от своей защиты, тогда как выключатели $QA2$, $QB1$ и $QB2$ неповреждённых участков остаются в работе. После этого по встречному напряжению включаются разъединители $QSA2$, $QSB1$ и $QSB2$ неповреждённых участков, а разъединитель $QSA1$ остаётся отключённым. В результате восстанавливается напряжение на неповреждённых участках межподстанционной зоны.

Таким образом, преимуществом рассматриваемой схемы защиты участков контактной сети с разъединителями на ПС является снижение до минимума вероятности пережога контактных проводов.

В то же время недостатком такой схемы защиты будет обесточивание обоих путей всей межподстанционной зоны, обусловленное особенностью работы НСЗ, что может привести к нарушению графика движения поездов и в случае остановки поезда, следующего на подъем — к соответствующим негативным последствиям [5]. Кроме того, срабатывание большого числа коммутационной аппаратуры как при отключении повреждения, так и в процессе восстановления напряжения в контактной сети увеличивает их износ [8, 9]. Все это снижает надёжность электроснабжения тяги поездов и повышает эксплуатационные расходы.

Существенно повысить надёжность системы тягового электроснабжения в подобном случае можно путём совершенствования схемы защиты участков контактной сети с разъединителями на ПС за счёт включения в рассечку шины ПС выключателя QAB (рис. 2а), поперечно соединяющего секции контактной сети [10, с. 45].

Включение одного выключателя QAB на ПС позволит организовать защиту от КЗ в тяговой сети с использованием логической взаимной связи между выключателями параллельных линий ТП, а именно применить



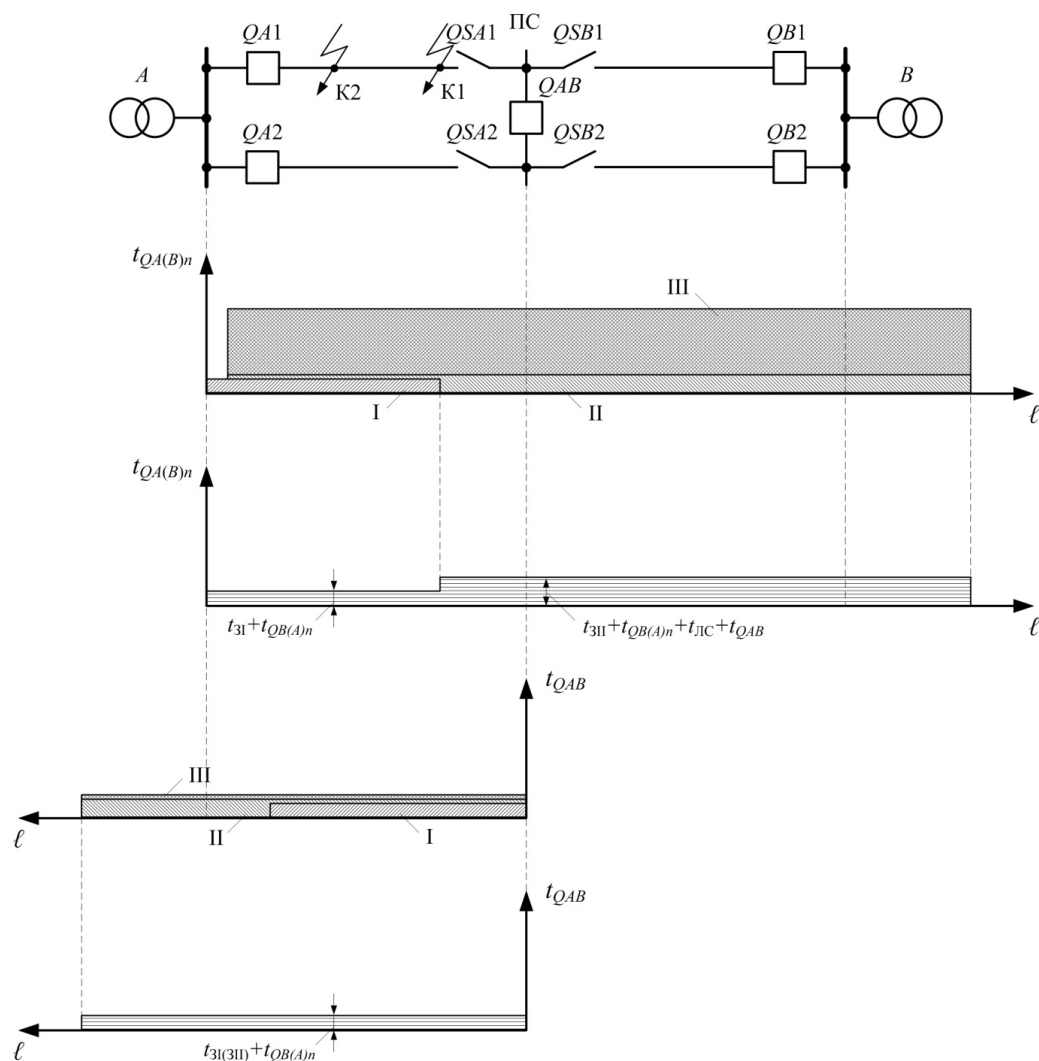


Рис. 2. Схема питания двухпутного участка контактной сети с разъединителями и выключателем на ПС (а), графики селективности защит выключателей смежных ТП (б) и выключателя ПС (г) и их временные характеристики (в, д).

на подстанциях рассматриваемого участка контактной сети систему защиты с поперечными связями (СЗПС) [2, 6] при работе неселективной защиты выключателя ПС. В результате при КЗ будет обесточиваться лишь один путь на всём протяжении между смежными ТП, содержащий повреждённый участок. При этом гарантируется быстрое отключение КЗ [7].

Реализация СЗПС на ТП применительно к предлагаемой схеме защиты участков контактной сети с разъединителями на ПС и одним выключателем может быть выполнена следующим образом (см. рис. 2). Зона действия I первой ступени дистанционных защит не доходит до шин ПС, то есть остаётся

без изменений. Вторая ступень защит СЗПС выполняется с увеличенной зоной действия II, захватывающей шины смежной ТП, и повторяет тем самым третью ступень. При всем том вторая ступень оборудуется логической связью [2]. Это даёт возможность отстроиться от ложного действия защит выключателей ТП соседних путей.

Структурная схема дистанционных защит выключателей ТП параллельных путей с поперечной взаимной связью во второй ступени, представленной логическими элементами «И-НЕ», показана на рис. 3. Выдержка времени первой и второй ступеней защит СЗПС выбирается нулевой (рис. 2б). Третья ступень защит с зоной

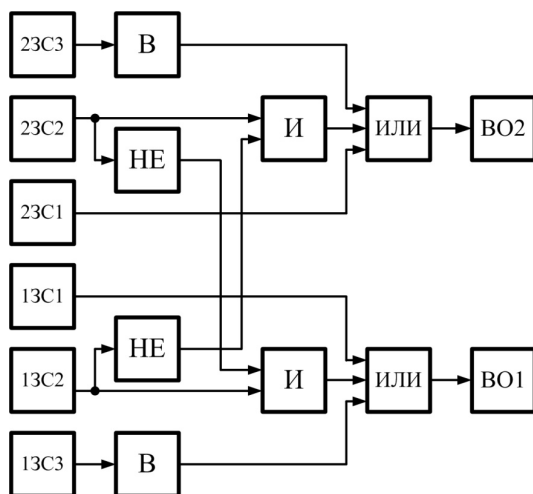


Рис. 3. Структурная схема защит СЗПС выключателей параллельных линий ТП: 1(2) СЗ1...1(2) СЗ3–1, 2 и 3 ступени дистанционных защит СЗПС выключателей QA1(2) и QB 1(2); В – выдержка времени; НЕ-И, ИЛИ – логические операции; BO1(2) – выходной орган, воздействующий на отключение выключателя QA(B)1(2).

действия III, перекрывающей все расстояние до смежной подстанции, выбирается с выдержкой времени.

Неселективную защиту выключателя *QAB* на ПС следует выполнять ненаправленной с зонами действия I, II, III ступеней (рис. 2г, д) для срабатывания при повреждениях на любом участке между смежными ТП.

Уточним работу предложенной схемы защиты участков контактной сети и её особенности.

КЗ в любой точке межподстанционной зоны находится всегда в зоне действия вторых ступеней защит СЗПС выключателей *QA1*, *QA2* и *QB1*, *QB2* смежных ТП и в зоне действия ненаправленной неселективной защиты выключателя *QAB* ПС. Однако при повреждении, например, в точке К1 вблизи шин ПС (рис. 2а) в первый момент времени отключится только выключатель *QAB*. Отключение выключателей *QA1* и *QB1* повреждённого пути происходит при отсутствии блокирующего сигнала от вторых ступеней защит выключателей параллельной линии (*QA2* и *QB2* соответственно), то есть защит выключателей ТП, связанных с первыми логической операцией «И-НЕ» (рис. 3). Впрочем, после отключения выключателя *QAB* на ПС изменяется токораспределение в тяговой сети (прекращается подпитка КЗ через неповреждённый путь), и блокирующий сигнал снимается. После этого происходит отключение выключателей *QA1* и *QB1* повреждённой питающей линии.

Таким образом, КЗ сопровождается ложным отключением только одного выключателя ТП (*QB1* при КЗ в точке К1(2) на рис. 2а), а именно: выключателя участка контактной сети повреждённого пути. Это значит, что при предлагаемой схеме защиты отключение напряжения осуществляется на сравнительно небольшом участке сети, охватывающем один из путей узловой схемы питания.

Кроме того, при КЗ вблизи шин ПС (К1 на рис. 2а) повреждение со стороны смежных подстанций отключается каскадно, т.е. после отключения выключателя на ПС. В случае, когда КЗ фиксируется в зоне действия первой ступени защит СЗПС выключателей ТП, например, в точке К2, наиболее быстро происходит отключение соответствующего выключателя *QA1* повреждённого участка контактной сети и выключателя *QAB* на ПС, и уже после срабатывания последнего каскадно отключается выключатель *QB1* неповреждённого участка с другой стороны повреждённого пути.

Из приведённого примера следует, что отключение повреждения в исследуемой схеме защиты участков контактной сети всегда происходит каскадно с наиболее удалённой от КЗ стороны повреждённого пути, тогда как с противоположной стороны пути каскадное отключение производится исключительно при КЗ вблизи ПС.

Время каскадного отключения повреждения составляет (рис. 2в):





$$t_{\text{отк}} = t_{\text{зп}} + t_{QA(B)n} + t_{\text{лэ}} + t_{QAB}, \quad (2)$$

где $t_{\text{зп}}$ — время срабатывания второй ступени защиты СЗПС;

$t_{QA(B)n}$ — время отключения выключателя $QA(B)n$ на ТП;

$t_{\text{лэ}}$ — время работы логических элементов;

t_{QAB} — время отключения выключателя QAB на ПС.

Время отключения КЗ со стороны неповрежденного пути выключателем ПС (рис. 2д) и в случае срабатывания первой ступени защиты СЗПС со стороны ТП равно (рис. 2в):

$$t_{\text{отк}} = t_{\text{зп}} + t_{QA(B)n}, \quad (3)$$

где $t_{\text{зп}}$ — время срабатывания первой ступени защиты СЗПС;

$t_{QA(B)n}$ — время отключения выключателя $QA(B)n$ на ТП.

Таким образом, подпитка КЗ со стороны неповрежденного пути и ближайшей к повреждению подстанции прекращается через 0,7 с, а с противоположной стороны поврежденного пути — через 0,14 с (с учётом времени каскадного действия).

Однако перегорев контактного провода в случае КЗ, сопровождаемого дугой, возможен при полном времени отключения, превышающем 0,16 с [7].

Следовательно, несмотря на то, что время отключения КЗ в схеме с разъединителями на ПС и одним выключателем с учётом времени каскадного действия в два раза больше, чем при схеме только с разъединителями на ПС (на время $t_{\text{лэ}}$ и t_{QAB}), отключение повреждения за указанное время будет обеспечивать надёжное функционирование системы тягового электроснабжения.

Что касается последовательности действий, связанных с подачей напряжения на отключённый участок сети применительно к исследуемой схеме защиты, то после отключения выключателей ПС и смежных ТП поврежденного пути (QAB и $QA1$, $QB1$) в бестоковую паузу отключаются разъединители $QSA1$ и $QSB1$ на ПС (рис. 2). Затем по АПВ на ТП включаются отключившиеся выключатели $QA1$ и $QB1$. После этого от своей защиты снова отключается выключа-

тель $QA1$ поврежденного участка пути. Выключатель $QA2$ неповрежденного участка остаётся во включённом состоянии. Далее зависимым АПВ от напряжения с ТП включаются выключатель QAB и разъединитель $QSB1$ на ПС. И таким образом восстанавливается напряжение на всех участках контактной сети, кроме поврежденного.

В итоге примерно вдвое сокращается число срабатываний коммутационной аппаратуры, что повышает её межремонтный ресурс.

Изложенное даёт основание заключить, что применение схемы защиты участков контактной сети с разъединителями на ПС и одним выключателем повышает надёжность функционирования системы тягового электроснабжения и снижает эксплуатационные расходы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герман Л. А., Якунин Д. В., Фадеев А. И. Посты секционирования контактной сети переменного тока на разъединителях // Локомотив.— 2013.— № 5.— С. 40—41.
2. Фигурнов Е. П. Релейная защита: Учебник. — М.: Желдориздат, 2002.— 720 с.
3. Руководящие указания по релейной защите систем тягового электроснабжения. — М.: Трансиздат, 2005.— 216 с.
4. Защита систем электроснабжения железной дороги от коротких замыканий и перегрузки. Ч. 4. Методика выбора уставок защит в системе тягового электроснабжения переменного тока: СТО РЖД 07.021.4—2015.
5. Герман Л. А., Герман В. Л. Автоматизация электроснабжения тяговой сети переменного тока: Монография. — М.: МИИТ, 2014.— 173 с.
6. Пупынин В. Н., Субханвердиев К. С. Быстродействующие системы защиты тяговой сети переменного тока // Электро.— 2017.— № 3.— С. 33—35.
7. Соколов С. Д. Перегорев контактного провода открытой электрической дугой // Вестник ВНИИЖТ.— 1962.— № 3.— С. 11—15.
8. Бесков Б. А., Геронимус Б. Е., Давыдов В. Н. Проектирование систем электроснабжения электрических железных дорог. — М.: Трансжелдориздат, 1963.— 471 с.
9. Сердинов С. М. Повышение надёжности устройств электроснабжения электрифицированных железных дорог. — М.: Транспорт, 1985.— 302 с.
10. Kiessling F., Puschmann R., Schmieder A., Schneider E. Contact Lines for Electric Railways: Planning, Design, Implementation, Maintenance. Publicis Publishing, Erlangen, Germany, 2018, 1104 p. [Электронный ресурс]: https://books.google.ru/books?id=inVGDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false. Доступ 04.08.2018.

Координаты авторов: **Субханвердиев К. С.** — comhom@mail.ru, **Кулагин К. В.** — el68@moscowreds.ru, **Агальцов А. А.** — gogol.1996@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 16.05.2018, принята к публикации 04.08.2018.