

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

УДК 656.2.022.846

АНАЛИЗ РАБОТЫ АППАРАТУРЫ ФИДЕРНОЙ ЗАЩИТЫ И НАСТРОЙКИ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

ВАН ЯНИ

Гуанчжоуский железнодорожный профессионально-технический колледж,
Китайская Народная Республика

В Китае при нормальном функционировании контактной сети высокоскоростной железной дороги, включая следование пассажирских поездов по специальному маршруту со скоростью 250 км/ч и выше, обычно применяется метод подачи тока в режиме общего параллельного соединения автотрансформаторов (АТ) прямым или комбинированным энергоснабжением. При этом в процессе эксплуатации могут возникать отказы в работе, что приводит к снижению уровня защиты фидеров и, как следствие, снижению безопасности энергоснабжения. В связи с этим для защиты фидеров необходимо производить расчеты по нормам настройки, что требует разработки соответствующего методического обеспечения.

Рассмотрим критерии настройки защиты фидеров контактной сети тяговой подстанции для обеспечения безопасного движения пассажирских поездов по высокоскоростной железной дороге Шицзячжуан – Ухань направления Шицзячжуан – Чжэнчжоу, где в фидерах тяговой подстанции установлены устройства, обеспечивающие защиту от сопротивления, токовой отсечки, сверхтока, приращения электротока, а также устройство автоматического повторного включения (таблица 1).

Таблица 1 – Функциональные режимы энергоснабжения направления Шицзячжуан – Чжэнчжоу

Режим функционирования	Краткая характеристика	Ограничение времени в частях тяговой сети, с	
		I	II
Нормальный	Двухстороннее параллельное соединение с одинаковым напряжением тока в контактной сети с разделением в середине плеча питания, где находится подстанция АТ	0,1	0,4
	Применение электрической шины		
За рамками определенного района	Обеспечение бесперебойного электроснабжения линии за счет питания от соседней подстанции	–	–
Прямой	Выключение всех автотрансформаторов плеча энергоснабжения	0,1	0,4
	Параллельное соединение верхней и нижней стороны подстанции в подрайоне		
	Разъединение верхней и нижней стороны подстанции АТ		

В режиме прямого энергоснабжения за рамками определенного района для защиты от сопротивления установлены две части, первая из которых сочетается с защитой сопротивления подстанции в подрайоне, а вторая защищает всё плечо энергоснабжения за рамками определенного района (когда в режиме прямого энергоснабжения имеется двустороннее плечо). Защита от перегрузки по току обеспечивается нижним его напряжением – 80 В (вторичное значение) и ограничением по времени – 0,7 с.

Рассмотрим также критерии настройки аппаратуры фидерной защиты и тяговой подстанции для обеспечения высокоскоростного движения пассажирских поездов по участку дороги Шицзячжуан – Ухань направления Чжэнчжоу – Ухань. Аналогично вышесказанному в фидерах тяговой подстанции установлены устройства защиты от сопротивления, токовой отсечки, сверхтока, приращения электротока и устройство автоматического повторного включения (таблица 2).

Таблица 2 – Функциональные режимы энергоснабжения направления Чжэнчжоу – Ухань

Режим функционирования	Краткая характеристика	Ограничение времени в частях тяговой сети, с	
		I	II
Нормальный	Обеспечение защиты от сопротивления всей линии первой частью тяговой сети	0,1	–
За рамками определенного района	Применение двух частей для защиты от сопротивления: первая сочетается с защитой сопротивления подстанции в подрайоне, а вторая защищает всё плечо энергоснабжения за рамками определенного района (когда в режиме прямого энергоснабжения двустороннее плечо энергоснабжения)	0,1	0,35
Прямой	Выключение всех автотрансформаторов плеча энергоснабжения	0,1	0,4
	Параллельное соединение верхней и нижней стороны подстанции в подрайоне		
	Разъединение верхней и нижней стороны подстанции АТ		

При режиме нормального энергоснабжения (в рамках определенного района) постоянное значение настройки фидеров одинаково. В режиме энергоснабжения за рамками определенного района защита от перегрузки по току обеспечивается нижним напряжением тока 73 В (вторичное значение) и ограничением по времени – 0,7 с.

Согласно вышеуказанным критериям настройки защита фидеров влияет на распределение постоянного значения с учетом режимов ее функционирования (таблица 3).

Таблица 3 – Распределение постоянного значения защиты фидеров

Режим функционирования	Модель введения выключателя	Район постоянного значения			
		Подстанция	Подстанция АТ	Стороны источников питания подрайона	Стороны фидеров подрайона
Нормальный	В верхней и нижней сторонах отдельно	0	0	0	0
	Совместное использование в верхней и нижней сторонах	1	0	0	0
Энергоснабжение АТ за рамками определенного района	В верхней и нижней сторонах отдельно	2	0	0	1
	Совместное использование в верхней и нижней сторонах	3	0	0	1
Нормальное прямое энергоснабжение	В верхней и нижней сторонах отдельно	0	0	0	0
	Совместное использование в верхней и нижней сторонах	1	0	0	0
Прямое энергоснабжение за рамками определенного района	В верхней и нижней сторонах отдельно	4	0	0	1
	Совместное использование в верхней и нижней сторонах	5	0	0	1

Фидерная защита тяговой подстанции пассажирских поездов на высокоскоростной железной дороге Шицзячжуан – Ухань отдельно распределяет постоянное значение путем разного режима функционирования, что является ее преимуществом. По данной схеме осуществляется фидерная защита междугородних линий в Пекине и Тяньцзине при нормальном функционировании и энергоснабжении за рамками определенного района. Для обеспечения нормального функционирования в больших масштабах нужна защита третьей части сопротивления, так как наблюдается снижение скорости движения. Недостаток данной схемы заключается в том, что когда изменяется режим функционирования фидеров, регулирование электрической мощности изменяет район постоянного значения из-за телемеханического терминала.

Мониторинг эксплуатации высокоскоростной железной дороги на участке Шицзячжуан – Ухань в течение 1 года работы по организации движения пассажирских поездов показал 132 отказа контактной сети и 12 отказов функционирования фидерной защиты, что составляет 10 % от общего числа отключения по следующим причинам: неправильная настройка постоянного значения – 85 %, неполный комплект аппаратуры защиты – 10 % (фазовая защита высокоскоростной железной

дороги), другие – 5 %. Далее на примерах отказа функционирования защиты сопротивления фидеров проанализируем работу аппаратуры и настройки защитных фидеров. Так, с августа по ноябрь в 10 ч 32 мин в фидерах F 217 некоторой подстанции случилось относительное однофазное короткое замыкание (напряжение 3536 В, ток 8895 А, сопротивление 2,08 Ом, угол импеданса 72,2°). В фидерах защиты 217 были установлены защита от токовой отсечки, сопротивления первой части, приращения электротока, выход устройства защиты от перенапряжения отключился, и не удалось провести повторное отключение. В фидерах 218, которые снабжаются энергией при параллельном соединении от фидера 217 (соответственно напряжение 22115 В, ток 2100 А, сопротивление 58,16 Ом, угол импеданса 72,2°; напряжение 3536 В, ток 8895 А, сопротивление 2,08 Ом, угол импеданса 72,2°), на выходе из устройства защиты от приращения электротока имелось совпадение на защитной аппаратуре 218.

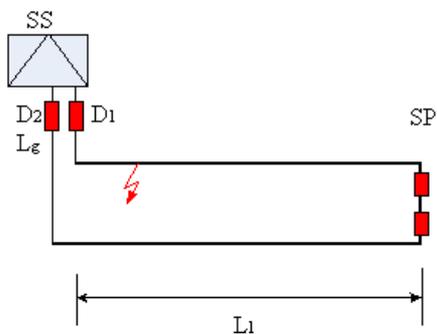


Рисунок 1 – Система тягового электроснабжения

Из вышесказанного мы знаем, что в режиме энергоснабжения общего параллельного соединения АТ, когда в фидерах F 217 случилось относительное однофазное короткое замыкание, защита от сопротивления и сверхтока не действовали. Анализируя параметры отказа, мы обнаружили, что постоянное значение слишком мало из-за сопротивления F 218 и неработающей защиты от сверхтока (таблица 4, рисунок 1).

Таблица 4 – Движение защиты фидеров

Фидер 218	Значение настройки	Значение отказа	Краткая характеристика
Первая часть сопротивления	$X_1 = 28,43; R_1 = 41,3;$ $\varphi_L = 72; t_1 = 0,1c$	$X_1 = 55,3; R_1 = 17,97;$ $\varphi_L = 72,2$	Снижение защиты при небольших значениях настройки и нахождении пункта отказа вне защитного района
Сверхток	$U_{zd} = 73В; I_{dz} = 1,94;$ $t = 0,1 c$	$U_{zd} = 80 В; I_{dz} = 1,4$	Напряжение и ток при однофазном коротком замыкании не достигли значения движения, и защита не действовала

Следует отметить, что рассматриваемые параметры и формулы настройки предложены Проектным институтом. Приведем формулы расчета настройки постоянного значения защиты сопротивления (таблица 5).

Таблица 5 – Расчет режимов энергоснабжения

Режим энергоснабжения	Формула расчета
Автотрансформатор обеспечивает защиту полной длины плеча энергоснабжения (не учитывается взаимное полное сопротивление)	$Xa_{zd} = 2K_k \frac{(XaL_1 + X_gL_g)n_l}{n_y},$ <p>Xa – удельная реактивность контактной сети энергоснабжения АТ; L_1 – длина первой части плеча энергоснабжения; X_g – удельная реактивность подвода питания; L_g – длина подвода питания</p>
Прямое энергоснабжение по защите полной длины плеча энергоснабжения	$Xt_{zd} = K_k \frac{(XtL_1 + X_gL_g)n_l}{n_y},$ <p>Xt – удельная реактивность контактной сети энергоснабжения АТ</p>

Сравним значения настройки при режимах АТ и прямого энергоснабжения и выберем бóльшие значения. Из вышеуказанных процессов расчета следует, что когда сторона реактанса установлена при режиме энергоснабжения АТ, значение удельной реактивности контактной сети увеличивается в 2 раза полной длины плеча энергоснабжения без учета постоянного энергоснабжения в конечной подстанции подрайона. Далее сравниваются максимальное значение сопротивления при режимах АТ и прямого энергоснабжения, где не учитывается ситуация, когда верхняя сторона снабжает энергетикой нижнюю через подстанцию подрайона. Это приводит к снижению значения настройки

сопротивления и является доказательством короткого замыкания при испытании и движении пассажирских поездов на железной дороге Шицзячжуан – Ухань.

При режиме электроснабжения параллельного соединения автотрансформаторов (АТ) удельное сопротивление контактной сети составляет около 0,32 Ом, а при постоянной задержке повторное включение тормоза может привести к понижению напряжения АТ и выходу из параллельной работы. В этом случае надо обеспечить правильную работу защитного устройства по модели прямого электроснабжения (рисунок 2).

Рассмотрим варианты настройки защиты сопротивления подстанции при электроснабжении в зоне и вне ее (таблица 6).

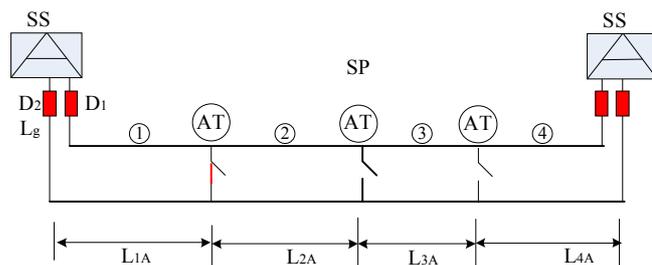


Рисунок 2 – Электроснабжение при параллельном соединении автотрансформаторов (АТ)

Таблица 6 – Настройка защиты сопротивления подстанции при электроснабжении

Область	Краткая характеристика	Значение сопротивления, Ом	Продолжительность, с
В зоне	Значение сопротивления фиксируется в зоне «0» и фидером F обрывается в первой части между постом секционирования и постом АТ, заземляется на стороне поста секционирования. При внезапном отключении, вызванном чрезвычайной зафиксированной величиной, нужно заново настроить значение сопротивления не менее пускового тока поезда 1200 А	Не более 20	0,35
Вне зоны	На фидере F происходит однофазное короткое замыкание (КЗ), и в случае отказа имеется превышение в 2 раза соотношения сопротивления с АТ до пункта КЗ и защиты фидера ПС	Двойное значение от АТ до пункта короткого замыкания	–
		Значения от подстанции до АТ	

При прямом электроснабжении ПС вне зоны на проводе F (контактный провод и несущий трос) происходит однофазное КЗ. В случае отказа отключения выключателем поста секционирования соотношение сопротивления с АТ до пункта КЗ и защиты фидера ПС будет превышать вдвое. Поэтому при настройке защиты сопротивления нужно установить общее значение сопротивления, которое состоит из двойного значения с F до пункта КЗ и значения с ПС до поста секционирования. Помимо этого, необходимо отдельно настроить значения защиты от сверхтоков на верхней и нижней сторонах, хотя параллельно соединяются верхняя и нижняя стороны подстанции в посте секционирования и выступают в качестве уравнивателя, что позволяет уменьшить сопротивление.

При отсутствии АТ между ПС и постом секционирования можно настроить защищенную фидером ПС часть реактанса (умножить значение удельной реактивности привода F на длину нижней стороны плеча промежуточного энергоснабжения). В контактной сети пассажирских поездов на железной дороге Шицзячжуан – Ухань применяется сочленённая расщеплённая фаза, которая имеет только 2 воздушных зазора шириной 500 мм и короткую длину дуги. Во избежание межфазного КЗ в полукольцевой сети через АТ от первоначального межфазного КЗ и отказа работы всех защитных устройств передний фидер ПС используется как третья часть сопротивления. Помимо этого могут применяться и другие варианты защиты. Например, межфазное КЗ в полукольцевой сети происходит по АТ, тогда через 0,1 с передний фидер отключается и далее через 0,1 с соседний фидер также отключается. Это делается для того, чтобы ток межфазного КЗ отключился и в полукольцевой сети по двум АТ защитные устройства продолжали работать. Тем не менее после отключения переднего фидера напряжение передней контактной сети во время КЗ незначительно снижается, ток контактной сети при работе высокоскоростного поезда еще велик. Поэтому ток двух передних фидеров может пройти через расщепленную фазу и дойти до выключателя фидера, что приводит к многократному отключению или перегоранию расщепленной фазы из-за длительного течения тока по фидерам отстающих фаз.

Во избежание отказов применяется следующий алгоритм по настройке защитного устройства. Четыре фидера ПС с защитой от сверхтоков служат главной защитой от межфазного КЗ.

Параметры настройки: ток 600 А, время действия 0,1 с. При межфазном КЗ 2 фидера прямого КЗ первая часть сопротивления или защита от чрезвычайного прироста одновременно отключается. Когда данное КЗ превращается в межфазное КЗ в кольцевой сети, устройства защиты от сверхтоков на остальных двух фидерах тоже будут отключены и ток будет полностью выключен. Однако величина срабатывания защиты от сверхтоков незначительна, что ведет к отказу в работе. В связи с этим на переднем фидере устраивают третью часть сопротивления в качестве специальной защиты, и настройка стороны *R* осуществляется по кольцевым КЗ двух АТ.

Параметры настройки стороны *X*: сопротивление 1 Ом, время действия 0,1 с. На фидерах отстающих фаз устраивают третью часть обратного сопротивления в качестве специальной защиты. Настройка стороны *R* осуществляется по кольцевым КЗ двух АТ.

Можно также рассмотреть другие параметры настройки стороны *X*, когда при межфазном КЗ два фидера одновременно будут отключены и ток будет полностью выключен. При этом КЗ является межфазным в кольцевой сети устройства защиты от сверхтоков и на остальных двух фидерах ток будет полностью выключен. Однако величина срабатывания защиты от сверхтоков значительна, что приводит к отказам в работе. В частности при обратной отправке реостатного торможения может случиться ошибочное отключение, снижение тормозного момента, что негативно отразится на транспортной безопасности. Поэтому предлагается устроить на переднем фидере третью или четвертую часть сопротивления в качестве специальной защиты.

Настройка стороны *R* осуществляется по прямому КЗ. Параметры настройки стороны *X*: сопротивление 1 Ом, время действия 0,06–0,1 с. При этом, когда срабатывают части любого переднего фидера, нужно включить реле сигналами третьей или четвертой частей (перестроить выход сигнала устройства защиты). Кроме того, одновременно нужно отключить все фидеры, полностью выключить ток КЗ и потом повторно включить отключенные четыре фидера. Далее на аппаратной основе существующего защитного устройства нужно обновить технику и программу, исследовать и разработать специальное устройство защиты от межфазного КЗ для ПС. Помимо этого, можно ввести в запасное защитное устройство главной ПС напряжение двух сборительных шин, ток четырех фидеров, установить двухфазную защиту от сопротивления, дифференциальную двухфазную защиту от сверхтоков, двухфазную защиту от прироста токов и т. д. При обнаружении межфазного КЗ защитное устройство будет отключаться выключателем стороны второго контура и полностью выключать ток КЗ, а потом повторно включатся отключенные фидеры.

Анализ фидерной защиты от межфазного короткого замыкания и расчет настройки тяговой подстанции высокоскоростного движения пассажирских поездов на участке железной дороги Шицзячжуан – Ухань показал, что на удельное сопротивление оказывает влияние взаимное полное сопротивление, поэтому метод расчета сложен. Обычно можно настроить и проверить устройство по удельным сопротивлениям провода $T = 0,32$ Ом и $F = 0,477$ Ом.

УДК 656.2.08

ROAD SAFETY CAPACITY BUILDING IN BELARUS THROUGH THE DEVELOPMENT OF ROAD SAFETY MASTER COURSES

L. PERSIA, E. META, D. SHINGO USAMI

Research Centre for Transport and Logistics, Sapienza University of Rome, Italy

The risk of road traffic fatalities varies significantly across high, medium and low-income countries and the disparity in road safety is increasing. Among the reasons for this, there is often a weak road safety agency capacity and a lack of political will. Road safety is a multidisciplinary topic and requires adequate trained professionals able to identify and implement efficient measures in the areas of engineering, enforcement, education and emergency medical services, taking into consideration social and economic aspects as well.

In many medium and low-income countries, the accident rate shows a growth trend and only few countries have developed a targeted education for road safety experts. By contrast, due also to years of road safety investment and capacity development actions by many European countries, supported by important actions on the part of the European Commission (EC), road safety conditions in Europe appear to be much better than in those countries.