



Частично-неселективная система защит контактной сети



Камиль СУБХАНВЕРДИЕВ

Camille S. SUBKHANVERDIEV

Предлагается частично-неселективная система защит, обеспечивающая, как и неселективная система, отключение короткого замыкания в любой точке межподстанционной зоны без выдержки времени, но при незначительном количестве неселективных отключений выключателей тяговых подстанций. Приводится алгоритм определения зон неселективных отключений. Обосновывается надежность системы и возможность ее использования в качестве типовой.

Ключевые слова: железная дорога, контактная сеть, межподстанционная зона, система защит, короткое замыкание, селективность, выдержка времени.

Субханвердиев Камиль Субханвердиевич — аспирант кафедры «Электроэнергетика транспорта» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.

Эффективная работа устройств тягового электроснабжения невозможна без надежной системы защиты от токов короткого замыкания (КЗ). Под такой системой понимается комплекс всех защит, обслуживающих выключатели межподстанционной зоны контактной сети по всем ее параллельным путям.

Надежность системы защит контактной сети переменного тока предполагает сведение к минимуму повреждений контактной сети, это достигается только за счет мгновенного, т. е. без выдержки времени, отключения КЗ в любой точке сети межподстанционной зоны.

В действительности минимальное время отключения поврежденного участка с КЗ возможно как при использовании неселективной [1], так и предлагаемой частично-неселективной систем защит.

1.

При неселективной системе (рис. 1б, в) зона ее действия охватывает всю межподстанционную зону $L > (L_1 + L_2)$ с временем $\Delta t_3^1 = \Delta t_{\text{в}}$, где $\Delta t_{\text{в}}$ — время работы выключателя от момента поступления сигнала на отключение от защиты до полного отключения тока КЗ. При этом отключение

осуществляется без выдержки времени ($\Delta t = 0$).

Однако при такой системе защит КЗ в любой точке межподстанционной зоны приводит к отключению всех выключателей тяговых подстанций, питающих эту межподстанционную зону, а также и выключателя поста секционирования, ближайшего к месту короткого замыкания (применительно к рис. 1а выключателей В1, В2, В7, В8 и В5). При неселективной системе защит в этой ситуации будет наблюдаться временное обесточивание всей межподстанционной зоны, что может привести к нежелательным нарушениям графика движения поездов по всем путям.

Предлагаемая же частично-неселективная система защит (ЧНСЗ), как и стандартная селективная [1], остается двухзонной, однако длина ее первой зоны без выдержки времени выполняется на 15% большей, чем расстояние от ТП до ПС, т. е. длиной $1,15 L$ (см. рис. 1г, 1д, где показаны временные характеристики срабатывания защит выключателей В2 и В4).

Собственно, зоны в $0,15 L$ вблизи ПС и ТП представляют собой настраиваемые зоны неселективности, при КЗ в которых будут наблюдаться неселективные отключения выключателей тяговых подстанций ТП1 и ТП2, питающих эту межподстанционную зону (см. рис. 1г) или поста секционирования ПС (см. рис. 1д).

Так как первые зоны системы защит ЧНСЗ выполняются большими, чем расстояния между ТП и ПС, отключения КЗ в любой точке зоны станут происходить без выдержки времени ($\Delta t = 0$), т. е. с минимальным временем, равным $\Delta t_3^1 = \Delta t_B$.

Сокращение же зоны неселективных отключений при ЧНСЗ (по сравнению с неселективной системой) уменьшает количество отключений выключателей тяговых подстанций.

Более того, реальные зоны неселективных отключений вследствие взаимодействия токов короткого замыкания контактных сетей параллельных путей межподстанционной зоны оказываются существенно меньшими $0,15 L$. Они именуются истинными зонами неселективности.

2.

Определение истинных зон неселективного отключения выключателей и является главной задачей предлагаемого варианта.

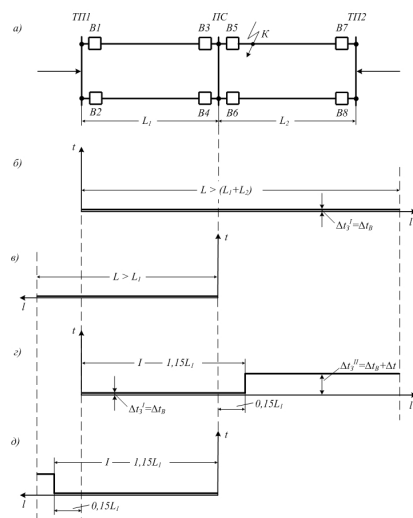


Рис. 1. Схема двухпутной межподстанционной зоны с тяговыми подстанциями ТП1 и ТП2 и постом секционирования ПС (а) и временные характеристики срабатывания защит выключателей В2 и В4 при неселективной (б, в) и частично-неселективной (г, д) системах защит.

Решение ее применительно к защите выключателя В2 при заданной уставке срабатывания Z_{C3} предполагает установление действительных величин токов на участках узловой схемы питания, а также напряжений и сопротивлений, замеряемых защитой при КЗ в межподстанционной зоне (рис. 2а).

На рис. 2а приняты следующие обозначения:

ТП1 и ТП2 — шины тяговых подстанций рассматриваемой межподстанционной зоны;

U_1 и U_2 — расчетные напряжения систем, питающих подстанции ТП1 и ТП2;

ПС — шины поста секционирования;

Z_1 и Z_2 — сопротивления системы и трансформаторов подстанций ТП1 и ТП2;

Z_3 — дополнительное эквивалентное сопротивление в месте короткого замыкания (сопротивление растеканию тока КЗ, происходящего вблизи подстанции, плюс сопротивление трансформатора электроваза, если КЗ на подвижном составе), при расчетах условно принимаемое равным нулю из-за малого значения;

L_1 и L_2 — расстояния до поста секционирования от подстанций ТП1 и ТП2;

L_K — расстояния до места КЗ от указанной точки;

В1, В2, В3, В4, В5, В6, В7 и В8 — выключатели подстанций и поста секционирования.



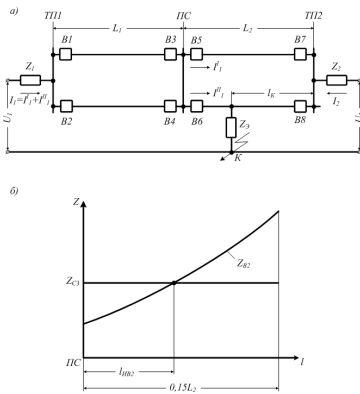


Рис. 2. Схема расчетной межподстанционной зоны контактной сети (а) и графо-аналитическое построения для определения истинной зоны неселективности для защиты выключателя В2 (б).

Таблица 1

Расстояние до места КЗ ($L_2 - l_K$), км	Сопротивление Z_{B2} , Ом	Сопротивление Z_{B7} , Ом
3	15,27	15,39
2	14,07	14
1	12,85	12,67
0	11,6	11,4

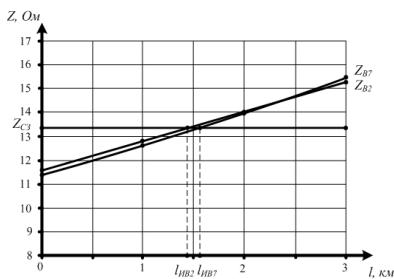


Рис. 3. Зависимости сопротивлений, замеряемых защитами выключателей В2 и В7, от расстояния. Определение истинной зоны неселективности.

ния, поведение защит которых исследуется;

I_1 и I_2 – токи короткого замыкания подстанций ТП1 и ТП2;

I_1' и I_1'' – составляющие тока короткого замыкания подстанции ТП1 по первому и второму пути.

Токораспределение в тяговой сети двухпутного участка железной дороги можно определить методом, предложенным проф. В. Н. Пупыниным [2].

Значения сопротивлений, замеряемых защитой выключателя В2 в концах заранее выбранных участков, рассчитываются путем соотнесения напряжения на шинах подстанции ТП1 к току ее фидера:

$$Z_{B2} = \frac{U - (I_1' + I_1'') \cdot Z_1}{I_{11}}, \quad (1)$$

где U – расчетное напряжение системы, питающей подстанцию;

$(I_1' + I_1'')$ – составляющие тока КЗ

подстанции по первому и второму пути;

Z_1 – приведенное сопротивление питающей энергосистемы и трансформаторов тяговой подстанции;

I_{11} – ток КЗ по одному пути от подстанции до поста секционирования.

Приведенное сопротивление может быть определено как сумма приведенных к напряжению системы сопротивлений и трансформатора:

$$Z_1 = \frac{U_{cp}^2}{S_K^{(3)}} + \frac{U_{cp}^2 \cdot u_K \%}{100 S_{T.ном}}, \quad (2)$$

где U_{cp} – среднее значение напряжения на шинах питающего напряжения в кВ;

$S_K^{(3)}$ – мощность короткого замыкания на шинах ТП в МВА;

$u_K \%$ – относительное номинальное сопротивление двух обмоток трехобмоточного понижающего трансформатора, участвующего в опыте КЗ, в процентах;

$S_{T.ном}$ – номинальная мощность трансформатора в кВА.

В качестве уставки срабатывания Z_{C3} принимается уставка одного пути двухпутного участка при параллельном соединении проводов подвесок или равных токах в подвесках обоих путей:

$$Z_{C3} = 1,15 L_1 z_{22}, \quad (3)$$

где L_1 – расстояния до поста секционирования от подстанции ТП1;

z_{22} – удельное сопротивление одного пути двухпутного участка при параллельном соединении проводов подвесок или равных токах в подвесках обоих путей в Ом/км.

Установив сопротивления в отдельных точках рассматриваемой схемы и уставку срабатывания, найдем значение истинной зоны неселективности с помощью графо-аналитического метода.

На рис. 2б приведена зависимость найденных сопротивлений от расстояния до точки КЗ.

Полученные сопротивления, замеряемые защитой на выключателе В2 подстанции ТП1 в зависимости от удаленности места КЗ за ПС, изменяются в соответствии с линией Z_{B2} . Прямая линия показывает величину заданной уставки срабатывания Z_{C3} (рис. 26).

Таким образом, пересечение линии Z_{B2} с прямой Z_{C3} определяет истинную зону неселективного отключения выключателя ТП (l_{IB2}).

Определение истинной зоны неселективного отключения выключателей ПС при КЗ на станционном фидере или линии ДПР производится аналогично.

3.

Рассмотрим пример определения истинных зон неселективного отключения выключателей.

При расчете принимались следующие параметры расчетного экспериментального участка: расстояние от ТП до ПС $L_1 = L_2 = 20$ км, подвеска ПБСМ1–70 + МФ-100, понижающие трансформаторы на ТП ТДТНЭ-40000/110, мощность КЗ на шинах ТП $S_K^{(3)} = 2000$ МВА.

Расчет производился применительно к защита выключателей В2 и В7 (см. рис. 2а), присутствие которых представляется необходимым для построения наглядной картины при выявлении истинной зоны неселективности.

Удаляя точку короткого замыкания от ПС в настраиваемой зоне неселективности ($0,15 L$), найдем токи на выбранных участках схемы и сопротивления, замеряемые защитами в концах этих участков. Далее делается расчет участка до точки КЗ, отстоящей от ПС на 3 км ($L_2 - l_K$).

Токи, протекающие на выбранном участке:

$$I_1^I = -1,23 \text{ кА}, I_1^{II} = 3,92 \text{ кА}, I_2 = 3,38 \text{ кА}.$$

Результаты были получены по методу, предложенному в [2].

Найдем значения сопротивлений, замеряемые защитами выключателей В2 и В7 в конце выбранного участка.

Приведенное сопротивление питающей энергосистемы и трансформаторов тяговой подстанции:

$$Z_1 = Z_2 = \frac{26,3^2}{2000} + \frac{26,3^2 \cdot 10,5}{100 \cdot 40} = 2,17 \text{ Ом}.$$

Тогда значения сопротивлений согласно выражению (1):

$$Z_{B2} = \frac{26,3 - (-1,23 + 3,92) \cdot 2,17}{1,35} = 15,27 \text{ Ом};$$

$$Z_{B7} = \frac{26,3 - 3,38 \cdot 2,17}{1,23} = 15,39 \text{ Ом}.$$

Аналогичным образом определяем сопротивления, замеряемые реле В2 и В7 в концах других заранее выбранных участков. Данные расчетов приведены в таблице 1.

По выражению (3) определим уставку срабатывания при постоянной сети $z_{22} = 0,58$ Ом/км, принимаемой для подвески ПБСМ-70 + МФ-100:

$$Z_{C3} = 1,15 \cdot 20 \cdot 0,58 = 13,34 \text{ Ом}.$$

На основании полученных результатов строим зависимости (рис. 3).

Истинная зона неселективного отключения выключателей В2 и В7 – l_{IB2} , l_{IB7} в результате составила (0,06–0,08) L.

Следовательно, небольшая длина зоны неселективной работы защит значительно уменьшает количество неселективных отключений выключателей, а значит, увеличивается надежность электроснабжения.

ВЫВОДЫ

Частично-неселективная система защит является надежной системой, обеспечивающей минимальную повреждаемость контактной сети и минимальное количество неселективных отключений выключателей при коротких замыканиях в межподстанционной зоне, что способствует и повышению надежности работы всей системы тягового электроснабжения.

Представляется целесообразным применение ЧНСЗ в качестве типовой для межподстанционных сетей переменного тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководящие указания по релейной защите систем тягового электроснабжения. – М.: Трансиздат, 2005. – 216 с.
2. Пупынин В. Н. Определение зон действия защит фидеров 27,5 кВ подстанций и постов секционирования железных дорог переменного тока при узловой схеме питания // Труды МИИТ. Вып. 199. – М.: Транспорт, 1965. – С. 184–195.
3. Фигурнов Е. П. Релейная защита: Учебник. – М.: Желдориздат, 2002. – 720 с.

