

УДК 621.332:621.315

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДИСТАНЦИОННЫХ ЗАЩИТ ФИДЕРОВ КОНТАКТНОЙ СЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА УЧАСТКАХ С РАЗЗЕМЛЕННЫМИ ОПОРАМИ

¹Кремлев И.А., ¹Кондратьев Ю.В., ²Квашук В.А., ¹Кузнецов А.А., ¹Терехин И.А.

¹ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»,

Омск, e-mail: ivkreml@mail.ru;

²Новосибирская дистанция электроснабжения Западно-Сибирской дирекции
инфраструктуры, Новосибирск

До недавнего времени для обеспечения надежного функционирования защит фидеров контактной сети переменного тока все металлические детали опор, нормально не находящиеся под напряжением, должны были иметь обязательное надежное соединение с тяговым рельсом. Однако опыт Западно-Сибирской железной дороги показал, что при соответствующей подготовке межподстанционной зоны и правильной настройке релейных защит возможна эксплуатация тяговой сети без заземления опор на рельсы при сохранении требуемой чувствительности защит к токам аварийных режимов. При этом предъявляются особые требования к сопротивлению растекания опор контактной сети. В статье предложена формула для определения требуемого сопротивления перехода «группа опор – земля», исходя из требований обеспечения чувствительности основных защит, даны рекомендации по его снижению.

Ключевые слова: контактная сеть, релейная защита, разземленные опоры, короткое замыкание, сопротивление перехода

ENSURING SENSITIVITY OF REMOTE PROTECTION OF FEEDERS OF THE CONTACT ALTERNATING CURRENT MAIN ON THE PLOT WITH NOT GROUNDED SUPPORTS

¹Kremlev I.A., ¹Kondratev Y.V., ²Kvaschuk V.A., ¹Kuznetsov A.A., ¹Terekhin I.A.

¹FGBOU VPO «Omsk State Transport University», Omsk, e-mail: ivkreml@mail.ru;

²Novosibirsk distance electricity West-Siberian Infrastructure Directorate, Novosibirsk

Until recently, to ensure reliable operation of the feeder protection contact AC supports all metal parts, normally energized, had to have a reliable connection with mandatory rail traction. However, the experience of the West – Siberian Railway has shown that, with appropriate training between substation zone and properly configured relay protection can be operated without traction network support earth on track while maintaining the required sensitivity to currents emergency protection regimes. At the same time there are special requirements to resist spreading catenary poles. The paper proposes a formula to determine the required resistance of the junction «group supports – land» based on the sensitivity of the main requirements to provide protection, recommendations for reducing it.

Keywords: contact network, relay protection, not grounded support, short-circuit, the resistance transition.

Защита фидеров контактной сети переменного тока реализована с помощью многоступенчатых защит, использующих в качестве основных признаков величины тока, напряжения и сопротивления [1]. Эти защиты достаточно чувствительны и селективны к коротким замыканиям, при которых аварийные токи превышают нормальные рабочие токи тяговой сети. В соответствии с действующими нормативными документами для обеспечения их чувствительности в настоящее время все металлические детали опор, нормально не находящиеся под напряжением, должны иметь надежное соединение с тяговым рельсом. Однако в тяговой сети возможны случаи, когда по тем или иным причинам (путевые работы, выгорание искровых промежутков, погодные условия, обрывы тросов группового заземления и т.п.) это преднамеренное соединение может быть нарушено. В этом случае идет речь о разземлении опоры. Если про-

исходит замыкание на разземленную опору, в качестве заземлителя выступает тело опоры, сопротивление которого в общем случае значительно. Это может привести к существенному уменьшению аварийного тока и, как следствие, отказу релейных защит, что недопустимо. Объясняется это тем, что традиционные методики расчета уставок релейных защит не учитывают возможного диапазона изменения переходного сопротивления в месте повреждения в подобных случаях [2, 3].

Опыт Западно-Сибирской железной дороги показал, что в ряде случаев, при обеспечении определенных условий, можно повысить чувствительность эксплуатируемых дистанционных защит при преднамеренном разземлении опор контактной сети и добиться их устойчивого функционирования при соблюдении требований электробезопасности [4, 5]. При этом предъявляются особые требования к сопротивлению расте-

канию опор контактной сети, так как значение контролируемого тока, а следовательно, и входного сопротивления фидера, помимо сопротивления элементов тяговой сети в наибольшей степени определяется переходным сопротивлением в месте повреждения. Его значение в общем случае определяется множеством случайных факторов. Поэтому на стадии подготовки участков тяговой сети для эксплуатации без заземления опор на рельсы целесообразно проведение ряда мероприятий для того, чтобы их учесть.

В соответствии с нормативными документами сопротивление опор контактной сети в цепи заземления на рельс должно быть не менее 100 Ом. На практике в подавляющем большинстве случаев это условие не выполняется. Так, исследования, проведенные на участках переменного тока Западно-Сибирской железной дороги, показали, что с вероятностью 0,95 сопротивление растеканию фундаментов железобетонных опор даже в нормальном рабочем режиме работы тяговой сети не превышает 30 Ом, а большинство опор имеет сопротивление в фундаментной части не более 15 Ом [4].

В общем случае разземленная железобетонная опора контактной сети может быть представлена в виде двух последовательно соединенных сопротивлений:

- сопротивления надземной части, называемого сопротивлением верхнего пояса R_6 ;
- сопротивления растеканию тока с фундаментной части опоры в землю, называемого сопротивлением нижнего пояса R_p .

Как правило, основным в цепи заземления обычных железобетонных опор является сопротивление R_6 , которое может составлять единицы и десятки кОм, в то время как сопротивление R_p – единицы и редко сотни Ом. Таким образом, если нет сообщения арматуры с деталями, заземленными на рельс, сопротивление растеканию тока равно сумме R_6 и R_p , а при возникновении сообщения скачкообразно изменяется до R_p .

На линиях переменного тока электрокоррозионное воздействие тока на арматуру незначительно, на этих дорогах эксплуатируется значительное число опор, в которых используется заземляющий проводник, проложенный внутри опоры. В этом случае, если все навесные металлические детали присоединены к выводу, имеющемуся в верхней части опоры, и если заземляющий проводник не подключен к рельсовой цепи, то сопротивлением верхнего пояса R_6 можно пренебречь. Известно, что при появлении высокого напряжения в верхней части опоры без внутреннего заземлителя

слой бетона между закладными деталями и арматурой пробивается, и она ведет себя аналогично опоре с расположением заземляющего спуска в ее теле. В этом случае сопротивление цепи заземления ограничивается переходным сопротивлением «фундамент – земля», сопротивлением грунта и переходным сопротивлением «рельс – земля». Таким образом, если при разземлении опор осуществить преднамеренное соединение закладных деталей с арматурой (или внутренним спуском заземления), то сопротивление опоры будет существенно снижено. Объединение таких опор тросом группового заземления позволит добиться снижения сопротивления растеканию до значений, при которых будет обеспечиваться надежная работ защит фидеров. Таким образом, определение допустимого значения переходного сопротивления в месте замыкания на разземленные опоры должно определяться исходя из требований обеспечения чувствительности основной защиты в конце защищаемой зоны.

В качестве основной защиты фидеров контактной сети переменного тока выступает вторая ступень дистанционной защиты (при трехступенчатом исполнении). В соответствии с [1] расчетной схемой для определения уставки является схема, приведенная на рисунке. Обязательным условием надежного функционирования основной защиты является чувствительность к коротким замыканиям в конце зоны «подстанция – пост секционирования». При этом расчетной точкой короткого замыкания для комплекта защиты, установленного на выключателе QA1 подстанции А, является точка К.

Уставка срабатывания второй ступени дистанционной защиты определяется по выражению

$$Z_{у.д32} \geq k_ч Z_к, \quad (1)$$

где $Z_к$ – входное сопротивление, измеряемое защитами выключателя QA1 при коротком замыкании в точке К; $k_ч$ – коэффициент чувствительности, принимаемый для второй ступени трехступенчатой защиты равным 1,25.

Проверка выбранной уставки осуществляется по выражению

$$Z_{у.д32} \leq \frac{Z_{н.мин}}{k_з k_в}, \quad (2)$$

где $Z_{н.мин}$ – минимальное сопротивление нагрузки, Ом; $k_в$ – коэффициент возврата,

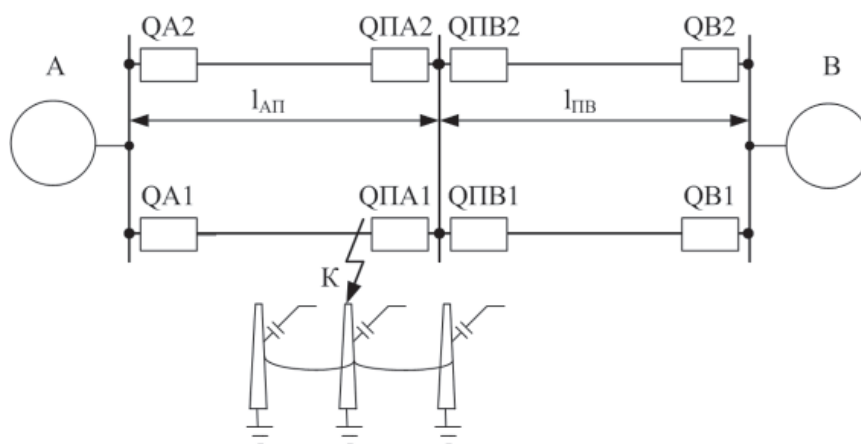
принимаемый равным $1,1 \dots 1,15$; k_3 – коэффициент запаса, принимаемый равным $1,1 \dots 1,3$.

Обозначим ток подстанции A как I_A . В соответствии с [3] его можно определить по формуле

$$I_A = \frac{U}{Z_{пА} + z_{mn}l_{АП} + (R_{п} + z_{тгз}l_{тгз}) \left(1 + \frac{Z_{пА} + z_{mn}l_{АП}}{Z_{пВ} + z_{mn}l_{ПВ}} \right)}, \quad (3)$$

где U – расчетное напряжение на шинах подстанции, кВ; $Z_{пА}$, $Z_{пВ}$ – сопротивления подстанций A и B соответственно, Ом; z_{mn} – удельное (погонное) сопротивление тяговой сети, Ом/км; $z_{тгз}$ – погонное сопротивление троса группового заземления, Ом/км; $l_{АП}$, $l_{ПВ}$ – расстояния соответствен-

но между подстанцией A и постом секционирования, постом секционирования и подстанцией B ; $l_{тгз}$ – максимальная длина троса группового заземления, км; $R_{п}$ – переходное сопротивление в месте короткого замыкания (сопротивление группы разземленных опор).



Расчетная схема для определения уставок основной защиты фидеров контактной сети

При коротком замыкании в точке K и количестве путей n ток выключателя $QA1$ будет равен I_A/n . Тогда входное со-

противление, измеряемое защитами выключателя $QA1$, будет определяться выражением

$$Z_K = n \frac{U}{I_A} = \left(Z_{пА} + z_{mn}l_{АП} + (R_{п} + z_{тгз}l_{тгз}) \left(1 + \frac{Z_{пА} + z_{mn}l_{АП}}{Z_{пВ} + z_{mn}l_{ПВ}} \right) \right). \quad (4)$$

Совместное рассмотрение выражений (1), (2) и (4) позволяет получить формулу для определения требуемого сопротивления перехода «группа опор – земля», т.е.:

$$R_{п} \leq \frac{\frac{Z_{п, \min}}{k_3 k_q n} - Z_{пА} - z_{mn}l_{АП}}{1 + \frac{Z_{пА} + z_{mn}l_{АП}}{Z_{пВ} + z_{mn}l_{ПВ}}} - z_{тгз}l_{тгз}. \quad (5)$$

Если сопротивление растеканию какой-либо группы межподстанционной зоны не удовлетворяет значению, полученному по данному выражению, необходимо проведение мероприятий по снижению переходного сопротивления «группа опор – земля»,

вплоть до использования дополнительных индивидуальных контуров заземления.

На участках тяговой сети с разземленными опорами так же, как и на участках с традиционной системой заземления на рельс, возможны случаи замыкания через повышенное переходное сопротивление (падение провода на балластную призму, короткие замыкания на искусственные сооружения и т.п.). Поэтому очевидно, что в дополнение к основным и резервным защитам необходимо использование дополнительной защиты от замыканий через повышенное переходное сопротивление, в качестве которой может быть использована четвертая ступень дистанционной защиты в виде четырехугольника, продлен-

ного вдоль оси активных сопротивлений, с независимой регулировкой координат углов [4].

Список литературы

1. Руководящие указания по релейной защите систем тягового электроснабжения. Департамент электрификации и электроснабжения ОАО «Российские железные дороги». – М.: Трансиздат, 2005 г. – 216 с.
2. Кремлев И.А. Защита фидеров контактной сети переменного тока без заземления опор на рельсы. Энерго- и ресурсосбережение в структурных подразделениях Западно-Сибирской железной дороги: Материалы научно-практической конференции / Г.С. Магай, Р.Б. Скоков. Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2008.
3. Кремлев И.А. Обеспечение эксплуатации контактной сети переменного тока без заземления опор на рельсы. Электроснабжение железных дорог: межвуз. темат. сб. науч. тр. / И.А. Кремлев, Г.С. Магай, Р.Б. Скоков. Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2010.
4. Квашук В.А. Новая защита контактной сети: опыт Западно-сибирской дороги / В.А. Квашук, В.Ф. Степанов, И.А. Кремлев // Локомотив. – 2010. – № 11. – С. 44–45.
5. Терехин И.А. К вопросу электробезопасности при разземлении опор контактной сети / И.А. Терехин, И.А. Кремлев // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 6.

References

1. Guidelines for relay protection systems of traction power supply. Department of electrification and power supply JSC «Russian Railways». М., Transizdat, 2005 216.

2. Kremlev I.A. Protection feeders contact AC power without the support earth on track. Energy and resource efficiency in the structural units of the West – Siberian Railway: Proceedings of the conference / G.S. Magay, R.B. Skokov. Omsk State Transport University. Omsk, 2008.

3. Kremlev I.A. Contact Operation of AC power without the support earth on track. Electricity railways : Hi. temat. Sat Nauchn. tr. / I.A. Kremlev, G.S. Magay, R.B. Skokov. Omsk State. Transport University. Omsk, 2010.

4. Kvaschuk V.A New protection catenary: the experience of the West Siberian road / V.A. Kvaschuk, V.F. Stepanov, I.A. Kremlev // Locomotive. 2010. no. 11. 44–45.

5. Terekhin I.A. To an electrical safety question at a not grounded supports of a contact network / Terekhin I.A., I.A. Kremlev // Successes contemporary science number 6. 2012.

Рецензенты:

Сидоров О.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Электроснабжение железнодорожного транспорта», ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения», г. Омск;

Черемисин В.Т., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Подвижной состав электрических железных дорог», ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения», г. Омск.

Работа поступила в редакцию 11.04.2014.