

УДК 621.3.025 + 06

Б. Е. Дынькин

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ РЕЛЕЙНЫМИ ЗАЩИТАМИ ТЯГОВЫХ СЕТЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Аннотация. Приведены результаты анализа работы защит и предложены пути их совершенствования с целью повышения селективности и точности измерений за счет введения измерений со стороны всех источников питания

Ключевые слова: тяговая сеть, короткое замыкание, релейная защита, селективность, надежность функционирования

Для цитирования: Дынькин, Б. Е. Повышение точности измерений параметров коротких замыканий релейными защитами тяговых сетей переменного тока / Б. Е. Дынькин // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 2. – Р. 154–158.

Очевидно, что надежность системы тягового электроснабжения зависит как от надежности собственно СТЭ, так и от действия РЗ.

Целью данной работы является рассмотрение принципов совершенствования РЗ, обеспечивающих точное определение места КЗ, расстояния до места КЗ, определение места расположения ЭПС, на котором произошло КЗ с учетом трех аспектов работы ТС, влияющих на исследуемый вопрос.

Первый аспект работы РЗ определяется тем, что характер изменения, измеряемого защитами сопротивления, является нелинейным, в то время как в расчетах уставок РЗ и при настройке устройств определения мест повреждения (ОМП) применяется линейная зависимость. Это также к снижению точности измерения параметров КЗ [1].

Второй аспект заключается в наличии переходного сопротивления в точке КЗ, через которое протекают токи от всех источников, питающих межподстанционную зону. Учитывая, что в общем случае напряжения двух тяговых подстанций (ТПС), питающих зону, отличаются по фазе, это переходное сопротивление воспринимается защитами как комплексное, а величина его превышает в несколько раз аналогичное сопротивление при одностороннем питании [1, 2].

Третий аспект работы РЗ, который требует совершенствования защит, заключается в том, что наблюдаются случаи отключения защит одной из тяговых подстанций (ТПС). Защиты смежной ТПС или поста секционирования (ПС) ведут себя по-разному, срабатывают или не срабатывают. После подачи напряжения в КС через некоторое время опять следует отключение контактной сети. На ТПС в этих режимах фиксируют токи в несколько кА, что по величине соответствует режиму короткого замыкания (КЗ). Визуально, при осмотре КС, никаких повреждений не обнаруживается. Таким образом не ясно, где именно, в КС или на ЭПС произошло устойчивое или неустойчивое повреждение.

В [2] было показано, что в ряде случаев при коротких замыканиях (КЗ) в тяговой сети (ТС) или на электроподвижном составе (ЭПС) отличить эти повреждения друг от друга применяемыми средствами релейной защиты (РЗ) практически невозможно, что затрудняет поиск повреждения и существенно увеличивает время восстановления отказавшего элемента.

Рассмотрим эти режимы для схемы питания ЭПС от КС переменного тока (рис. 1) для с двухпутного участка длиной 50 км. С постом секционирования (ПС) в середине зоны.

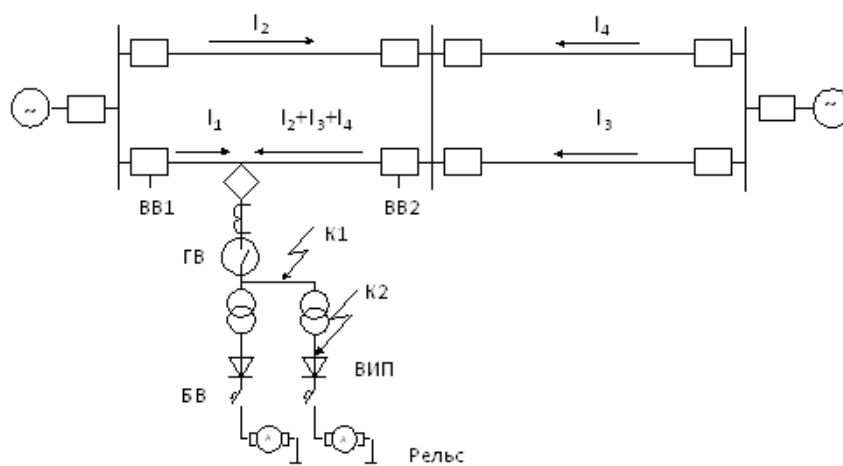


Рис. 1. Схема размещения РЗ в тяговой сети и на ЭПС

Очевидно, что при КЗ на участке ТПС – ПС в тяговой сети или на ЭПС отключится весь поврежденный участок, причем место повреждения не будет четко определено, так как оно расположено «где-то» на поврежденном участке.

Причем, очевидно, что автоматически отличить все эти виды повреждений друг от друга в связи с отсутствием цифровых коммуникаций между РЗ разных объектов энергетической инфраструктуры [3], существующие защиты КС не смогут [4].

В начальный момент КЗ, когда включены все выключатели ТС, сопротивление в точке КЗ увеличивается за счет подпитки точки КЗ.

Рассмотрим, что именно измеряют РЗ ТС.

Схема КЗ через переходное сопротивление приведена на рис.2.33а.

Для схемы на рис. 2, а ток в месте КЗ равен $\dot{I}_1 + \dot{I}_2$.

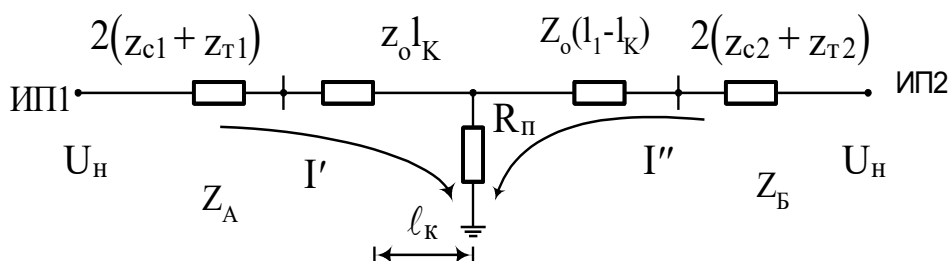


Рис. 2. Влияние подпитки точки КЗ на входные сопротивления защит

Рассмотрим характер влияния сопротивления в месте КЗ (в общем случае – переходного сопротивления R_{Π}) на входные параметры КС, измеряемые защитой фидера КС подстанции и поста секционирования. Расчетная схема приведена на рис.1, а упрощенная для частного случая – на рис. 2.

Примем, что напряжения источников I и II равны и $E_1 = E_n = U_n$. Тогда из схемы на рис.2 получим

$$\dot{U}_H = \dot{I}'(Z_A + Z_{K1}) + (\dot{I}' + \dot{I}'')R_{\Pi}; \quad (1)$$

$$\dot{U}_H = \dot{I}''(Z_B + Z_{K2}) + (\dot{I}' + \dot{I}'')R_{\Pi}; \quad (2)$$

Приравняв (1) и (2) и перейдя к коэффициентам токораспределения, получим для токов $\dot{I}'$ и $\dot{I}''$ соответственно

$$C' = \frac{Z_B + Z_{K2}}{Z_A + Z_B + Z_{K1} + Z_{K2}}; \quad C'' = \frac{Z_A + Z_{K1}}{Z_A + Z_B + Z_{K1} + Z_{K2}}, \quad (3)$$

где $Z_A=2(Z_{C1}+Z_{T1})$, $Z_B=2(Z_{C2}+Z_{T2})$.

Учитывая, что токи между тяговыми подстанциями распределяются независимо от количества и места расположения постов секционирования [5] получим соответственно для левой и правой ТПС

$$\dot{C}' = \frac{2(Z_{C1} + Z_{T2}) + 0,5Z_{22}(l_{\Phi} - l_K)}{2(Z_{C1} + Z_{T1} + Z_{C2} + Z_{T2}) + 0,5Z_{22}l_{\Phi}}; \quad \dot{C}'' = \frac{2(Z_{C1} + Z_{T1}) + 0,5Z_{22}l_K}{2(Z_{K1} + Z_{T1} + Z_{K2} + Z_{T2}) + 0,5Z_{22}l_{\Phi}}$$

Для фидеров ТС тяговой подстанции 1 и поста секционирования 2 (рисунок 3) коэффициенты токораспределения C_1 и C_2 (в дальнейшем имеем в виду, что эти величины в общем случае – комплексные) соответственно для токов I_1 и I_2 будут определяться по формулам:

- при КЗ около ТПС при $l_K=0$ имеем $C_1=C'+0,5C''$ и $C_2=0,5C''$;
- при КЗ около ПС при $l_K=l_1$ имеем $C_1=0,5C'$ и $C_2=0,5C'+C''$.

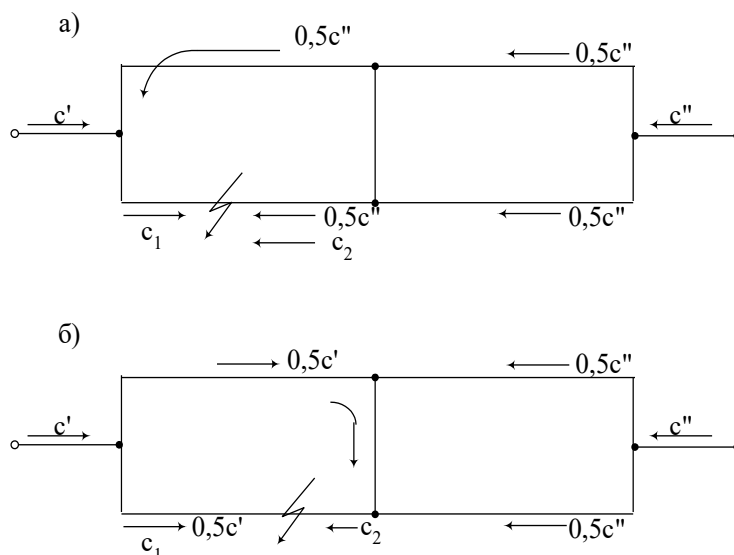


Рис. 3. К определению коэффициентов токораспределения

На рис. 4 приведены результаты расчетов коэффициентов токораспределения в ТС со значениями коэффициентов токораспределения для ТПС C' , C'' и фидеров на ТПС и ПС C_1 , C_2 .

С учетом коэффициентов токораспределения входные сопротивления, измеряемые защитами, равны соответственно

$$\text{для подстанции} \quad Z_{BX1} = Z_{KC1} + \frac{R_{\text{ОП}}}{\dot{C}_1}, \quad \text{для поста} \quad Z_{BX2} = Z_{KC2} + \frac{R_{\text{ОП}}}{\dot{C}_2}.$$

Из рисунка 4 видно, что экспериментальные данные хорошо сходятся с расчетными ($C_1=0,45$, а $C_2=0,55$). Для рассматриваемого же опыта КЗ [1] $R_{\Pi}/C_1=22/0,47 = 46,8$ Ом; $R_{\Pi}/C_1=22/0,53 = 41,5$ Ом. Таким образом, область КЗ по активному сопротивлению увеличивается для защиты фидеров ТПС в $1/C_1$ раз, а для защиты фидеров ПС – в $1/C_2$ раз и даже при небольшом сопротивлении опоры (дуги) в месте КЗ может выйти за пределы угловой характеристики срабатывания РЗ.

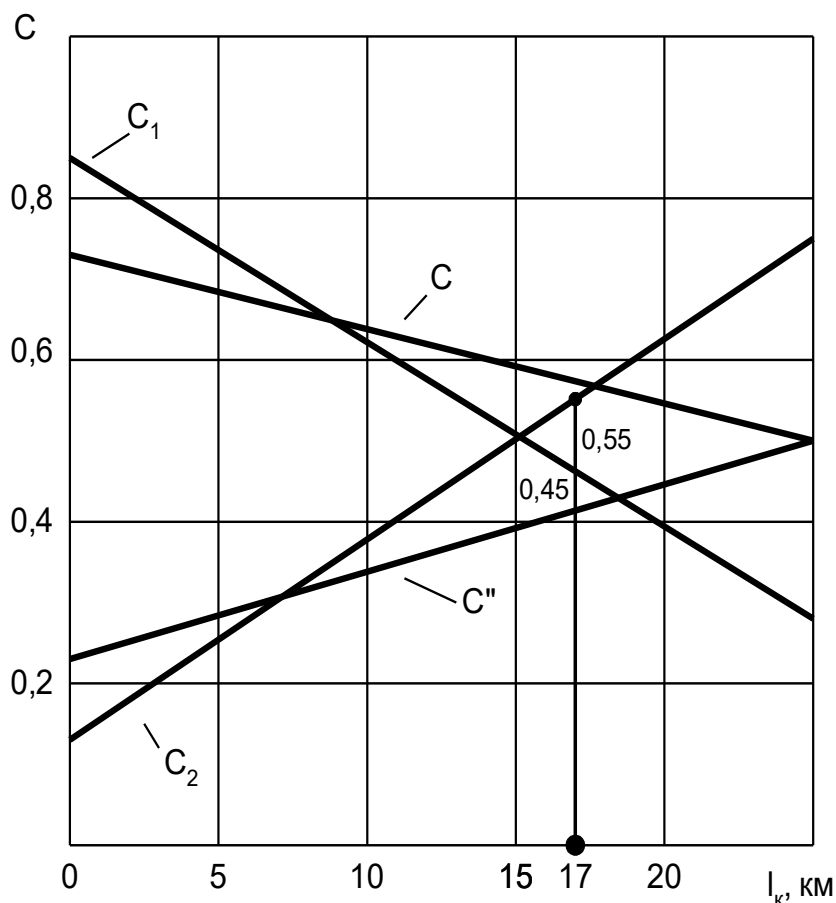


Рис. 4. Характер изменения коэффициентов токораспределения в ТС

Таблица
Пример расчета коэффициентов токораспределения для зоны с одним постом
в середине зоны

l_k , км	0	25	Примечание
C'	0,766	0,500	Коэффициенты токораспределения между ТПС
C''	0,234	0,500	
C_1	0,883	0,250	Коэффициенты токораспределения между ТПС и ПС
C_2	0,117	0,750	

Заключение.

Линейное изменение коэффициентов токораспределения позволяет использовать их для ряда расчетов, решающих поставленные в статье цели.

1. При использовании применяемых на сети дорог переменного тока релейных защит дополнительно к ним организация двухсторонних замеров как на межподстанционной зоне, так и на участках ТПС – ПС, позволяет увеличить точность определения расстояния до точки КЗ.

2. При каскадной работе защит, когда измерения постоянно в течение времени меняются, первоначальный замер и оценка в автоматическом режиме коэффициентов токораспределения позволяет корректировать работу ступеней защит и, тем самым, повысить селективность их работы.

3. При КЗ на электроподвижном составе расчет положения точки КЗ не только решит задачу по п.2, но и позволит определить место повреждения, а именно – конкретно электровоз, на котором произошло повреждение крышевого оборудования или трансформатора.

4. Учитывая широкую цифровизацию всех процессов обеспечения бесперебойной работы инфраструктуры железных дорог целесообразно разработать аппаратуру измерения в соответствии с предлагаемым решением.

Библиографический список

1. **Дынькин, Б. Е.** Защита контактной сети переменного тока при разземлении опор / Б. Е. Дынькин. // Изд-во ДВГУПС. – Хабаровск. - 2002. - 163 с.
2. **Дынькин, Б. Е.** Совершенствование системы релейной защиты тяговой сети переменного тока с учетом работы защит электроподвижного состава / Б. Е. Дынькин // Энергетика транспорта. Актуальные проблемы и задачи : Сборник научных трудов VII Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 01–02 марта 2023 года. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2023. – С. 62-66. – EDN FHNDUL.
3. **Попова, Н. А.** Перспективные цифровые коммуникации в системах обеспечения движения поездов / Н. А. Попова, П. А. Бодров, М. К. Попов // Транспорт: наука, образование, производство : сборник научных трудов, Ростов-на-Дону, 20–22 апреля 2020 года. Том 2. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2020. – С. 163-167. – ISBN 978-907295-13-1. – EDN YDCLXS.
4. Руководящие указания по релейной защите систем тягового электроснабжения: утверждено: декабрь 2004 г. / ОАО "РЖД", Департамент электрификации и электроснабжения. – Москва : ТРАНСИЗДАТ, 2005. – 216 с. – ISBN 5-900345-32-7. – EDN WLQBRH.
5. **Марквардт, К. Г.** Электроснабжение электрифицированных железных дорог / К. Г. Марквардт. – М.: Транспорт. 1982. – 582 с.

В. Е. Dynkin

THE ACCURACY OF MEASUREMENTS OF SHORT-CIRCUIT PARAMETERS BY RELAY PROTECTIONS OF ALTERNATING CURRENT TRACTION NETWORKS

Abstract. The results of the analysis of the protection operation are presented and the ways of their improvement are proposed in order to increase the selectivity and accuracy of measurements due to the introduction of measurements from all power sources

Keywords: traction network, short circuit, relay protection, selectivity, reliability of operation

For citation: Dynkin, B. E. The accuracy of measurements of short-circuit parameters by relay protections of alternating current traction networks / B. E. Dynkin // Trudy Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2024. – No. 2. – P. 154–158

Сведения об авторах

Дынькин Борис Евгеньевич
«Южно-Российский государственный
политехнический университет (НПИ) им.
М.И. Платова»,
Кафедра «Электрические станции и
электроэнергетические системы»
профессор,
e-mail: dynkin1949@yandex.ru

Information about the authors

Dynkin Boris Evgenevich
Platov South-Russian State Polytechnic
University
The chair of "Power Plants and Electric
Power Systems"
Professor
e-mail: dynkin1949@yandex.ru