

На правах **рукописи**



КРЕМЛЕВ Иван Александрович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ФИДЕРОВ
КОНТАКТНОЙ СЕТИ ПРИ РАЗЗЕМЛЕНИИ ОПОР
НА УЧАСТКАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ
ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Специальность 05.22.07 - «Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ОМСК 2005

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Омский государственный университет путей сообщения" (ОмГУПС (ОМИИТ)).

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
МАСЛОВ Геннадий Петрович.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор
ЗАЖИРКО Виктор Никитич;

кандидат технических наук, доцент
ОЩЕПКОВ Владимир Александрович.

Ведущая организация:
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Новосибирский государственный технический университет".

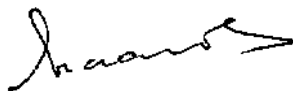
Защита диссертации состоится 24 февраля 2005 года в 9 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 218.007.01 при Омском государственном университете путей сообщения (ОмГУПС) по адресу: 644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, ауд.112.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан «24» января 2005 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять в адрес диссертационного совета Д 218.007.01.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук,
профессор



Г. П. Маслов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Доля железнодорожного транспорта в структуре электропотребления России в 2003 г. составила 5,8 % (против 4,5 % в 2002 г.), в том числе для электротяги - 4,8 % (против 3,6% в 2002 г.). Рост интенсивности работы электрифицированных участков железных дорог Российской Федерации обостряет проблему повышения надежности функционирования оборудования тяговых сетей.

В последние годы повреждаемость элементов системы тягового электропитания не снижается, а некоторых элементов даже возрастает, например, опор контактной сети. Основными причинами этого являются коррозия, выгорание арматуры и т.п. Проверками, проведенными Департаментом электрификации и электроснабжения, установлено, что по различным причинам в пределах некоторых дистанций электроснабжения было разземлено до нескольких сотен опор контактной сети. Замыкание контактной сети на разземленную опору влечет за собой протекание длительного тока через конструкцию, так как применяемая в настоящее время на тяговых Подстанциях и постах секционирования защита зачастую не в состоянии отключить его из-за того, что в ряде случаев значение тока существенно ниже максимального рабочего, по которому осуществляется отстройка защиты. Это приводит к выгоранию арматуры, разрушению бетона, и, как следствие, потере опорой несущей способности. Наблюдались случаи падения опор, в том числе и при движении поездов. Требования по обеспечению безопасности движения поездов подчеркиваются в "Стратегической программе развития компании ОАО «Российские железные дороги»", проект которой принят 11 июня 2004 г.

Цель работы - повышение надежности функционирования тяговых сетей переменного тока за счет совершенствования технологии защиты фидеров контактной сети путем разработки устройства, обеспечивающего отключение токов замыкания на разземленные опоры.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- 1) анализ известных принципов защиты от замыканий на разземленные опоры, оценка их достоинств и недостатков для определения направления исследований;
- 2) выявление основных факторов, оказывающих влияние на работу защиты от замыканий на разземленные опоры.
- 3) разработка метода, позволяющего определить основные параметры идентификации нормальных рабочих и аварийных режимов;
- 4) разработка новых принципов и алгоритмов, позволяющих реализовать технические решения по защите, обеспечивающей надежное отключение аварийных токов тяговой сети при замыкании через большое переходное сопротивление;

5) проведение экспериментальных исследований рабочих и аварийных режимов тяговых сетей, проверка технической эффективности реализованных принципов и определение экономической эффективности от внедрения предложенной защиты на участках переменного тока.

Методика исследования. Поставленные в работе задачи решались путем теоретических и экспериментальных исследований. Для гармонического анализа тока использовался аппарат рядов Фурье. Расчеты выполнены с использованием ЭВМ на базе пакетов MathCAD 2000 и MatLab 6.5. Моделирование нагрузки тяговой сети для определения гармонического состава тока фидеров осуществлялось с использованием элементов теории вероятностей. Значения аварийных токов при различных видах замыкания в тяговой сети определены решением систем линейных алгебраических уравнений. При составлении схемы замещения обратной цепи протекания аварийного тока использовались основные положения теории линий с распределенными параметрами. Данные, полученные экспериментальным путем, обрабатывались с использованием приемов математической статистики. Результаты расчетов согласуются с данными, полученными в результате экспериментальных исследований, а расхождение между ними не превышает 10-15 %.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1) исследованы основные факторы, оказывающие влияние на гармонический состав тока фидера подстанции и поста секционирования и получены выражения, позволяющие определить границы изменения коэффициента искажения синусоидальности кривой тока фидера при любом количестве электровозов в зоне питания;

2) предложен и реализован новый алгоритм работы защиты от замыканий на разземленные опоры, позволяющий исключить ложную работу в нагруженном режиме и повысить чувствительность к минимальным аварийным токам;

3) разработана методика расчета уставок защит от замыканий на разземленные опоры в условиях остаточной нагрузки.

Достоверность научных положений и выводов обоснована теоретически и подтверждена результатами экспериментальных исследований, выполненных на действующих электрифицированных участках Восточно-Сибирской и Дальневосточной железных дорог.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

1) разработанный и запатентованный принцип защиты от замыканий на разземленные опоры реализован в блоках микропроцессорной защиты БМРЗ-27,5-ФКС(ОФ-КС)-05,06(01,02), принятых к серийному производству и внедрению на участках Восточно-Сибирской и Дальневосточной железных дорог;

2) предложенная методика расчета уставок реализованной защиты позволяет отстроиться от ложных срабатываний в нормальном рабочем режиме и учесть остаточную нагрузку на защищаемой зоне в режиме замыкания на опору.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на международном научно-техническом симпозиуме «Eltrans-

2001» (Санкт-Петербург, 2001 г.); научно-практической конференции, посвященной 100-летию завершения строительства Транссиба (Омск, 2001 г.); первой российской конференции по заземляющим устройствам (Новосибирск, 2002 г.); научно-практической конференции «Исследования и разработки ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте» (Самара, 2002 г.); региональной научно-практической конференции «Новейшие достижения науки и техники на железнодорожном транспорте» (Челябинск, 2004 г.); V международной научно-технической конференции «Динамика систем, механизмов и машин» (Омск, 2004 г.); в дорожной электротехнической лаборатории Восточно-Сибирской железной дороги (2004 г.); заседаниях научно-технического семинара кафедры «Электроснабжение железнодорожного транспорта» ОмГУПС (Омск, 2001 - 2005 гг.); научно-техническом семинаре кафедр ОмГУПС (Омск, 2005 г.).

Публикации. Основное содержание работы опубликовано в восьми печатных работах, которые включают в себя семь статей, один тезис доклада, из которых две статьи с международным участием, две - с всероссийским. Получены одно свидетельство и два патента на полезную модель.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, библиографического списка и пяти приложений. Общий объем - 179 страниц, в том числе 64 рисунка, 5 таблиц, и состоит из 105 наименований и пяти приложений на 22 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отражена актуальность проблемы защиты фидеров контактной сети от замыканий на разземленные опоры.

Первый раздел посвящен анализу эксплуатируемых в настоящее время, а также известных способов защиты фидеров контактной сети переменного тока, реагирующих на различные аварийные режимы в тяговой сети, и, в частности, на режимы замыкания, сопровождающиеся токами, соизмеримыми с нагрузкой.

Отмечено, что большой вклад в исследование в разработку защит от малых токов замыкания внесли отечественные ученые Б. Е. Дынькин, Ю. И. Жарков, К. Г. Марквардт, Р. Р. Мамошин, В. Я. Овласюк, В. Н. Пупынин, Е. П. Фигурнов и др.

Показано, что эксплуатируемые в настоящее время защиты фидеров контактной сети переменного тока, обеспечивая надежное отключение при «глухих» коротких замыканиях, как правило, отказывают при замыканиях через существенное переходное сопротивление. Известные способы защиты фидеров от малых токов короткого замыкания не обеспечивают достаточной надежности при наличии остаточной нагрузки на защищаемой зоне и могут ложно работать в нормальных нагрузочных режимах.

Установлено, что наиболее приемлемым способом защиты от замыканий на разземленные опоры, позволяющий с достаточной чувствительностью выявлять подобные аварийные режимы, является способ реализации дистанционной

защиты с угловой характеристикой срабатывания (УХС), продленной вдоль оси активных сопротивлений. При этом определено, что для уменьшения отказов подобных видов защиты в условиях остаточной нагрузки необходимо придать оптимальную форму угловой характеристике срабатывания дистанционной защиты и расширить ее в область нагрузки. Это вызывает необходимость введения дополнительного признака, позволяющего исключить ложную работу защиты в нормальном рабочем режиме. В качестве такого признака решено использовать содержание высших гармонических составляющих в токе защищаемого фидера, так как в кривой аварийного тока содержание гармоник несколько ниже, чем в токе нагрузки.

Кроме того, отмечено, что совершенствование принципа защиты приводит к необходимости разработки метода расчета ее уставок, позволяющего учесть влияние возможной остаточной нагрузки на показатели аварийного режима.

Второй раздел посвящен анализу факторов, оказывающих влияние на гармонический состав тока фидера и определению границ изменения содержания высших гармоник в токе в нормальном режиме.

Определено, что процентное содержание суммы высших гармоник в сетевом токе электровозов с управляемыми преобразователями с изменением потребляемого тока меняется в более узком диапазоне в отличие от содержания только одной третьей гармоники, которая ранее использовалась в релейной защите в качестве дополнительного признака распознавания нагрузочного режима. Поэтому в качестве признака, позволяющего отличать нагрузочные режимы от аварийных, целесообразно использовать коэффициент искажения синусоидальности кривой тока

$$K_1 = \frac{\sqrt{\sum I_n^2}}{I_1} 100\%, \quad (1)$$

где I_n - действующее значение n -й гармоники тока ($n = 3, 5, 7, 9$); I_1 - действующее значение первой гармоники тока.

Отмечено, что содержание гармоник в токе фидера существенно отличается от их содержания в токе электровоза. Это обусловлено следующими факторами: количеством и местоположением одновременно работающих в зоне питания электровозов; значением потребляемого каждым электровозом тока; зонами и углами регулирования отдельных электровозов; схемой питания контактной сети и т.п. Кроме того, система тягового электроснабжения в целом характеризуется факторами, оказывающими существенное влияние на формирование гармонического состава тока тяговой сети, к которым, в первую очередь, необходимо отнести волновые процессы, а также наличие уравнительных токов при двухсторонних схемах питания контактной сети. Это приводит к тому, что в общем случае зависимость границ изменения гармоник в токе фидера подстанции и поста секционирования от его значения математически описать сложно. Поэтому единственным способом получения представления о гармоническом составе тока тяговой сети является составление модели, имитирующей

работу различного числа электровозов с учетом изменения комплексных значений гармонических составляющих в токе каждого из них, позволяющее определить наиболее общие закономерности в изменении содержания высших гармоник тока фидера.

Проведенное моделирование позволило определить наиболее вероятные границы изменения коэффициента искажения синусоидальности кривой тока фидера. Установлено, что минимальное значение коэффициента искажения тока фидера подстанции можно определить по следующему выражению:

$$K_{\text{Imax}} = 25 \left(1 - e^{-3 \frac{I_{\phi}}{I_{\phi\text{max}}}} \right), \quad (2)$$

где I_{ϕ} - действующее значение тока фидера, для которого рассчитывается коэффициент; $I_{\phi\text{max}}$ - максимальное действующее значение тока фидера.

Минимальный коэффициент искажения тока фидера поста секционирования может быть найден в соответствии с выражением:

$$K_{\text{Imin}} = 25 \left(1 - e^{-4 \frac{I_{\phi}}{I_{\phi\text{max}}}} \right). \quad (3)$$

Максимальное значение коэффициента искажения тока фидера подстанции можно определить по формуле:

$$K_{\text{Imax}} = b_0 I_{\phi}^{-0,278}, \quad (4)$$

где b_0 - коэффициент, зависящий от максимальной нагрузки, с изменением максимального тока фидера от 400 до 1000 А он меняется от 150 до 230.

Максимальный коэффициент искажения тока фидера поста секционирования

$$K_{\text{Imax}} = 400 I_{\phi}^{-0,44}. \quad (5)$$

В общем случае коэффициент искажения синусоидальности кривой тока защищаемого фидера с учетом влияния уравнительного тока можно вычислить так:

$$K_{\text{Imin(max)}}^y = k_y K_{\text{Imin(max)}}, \quad (6)$$

где

$$k_y = \frac{|I_{1\phi}|}{|I_{1\phi} + I_{1ур}|}; \quad (7)$$

где $I_{1\phi}$ и $I_{1ур}$ - комплексные значения основных гармоник тягового и уравнительного токов фидера, соответственно.

Третий раздел посвящен исследованию сопротивления растеканию тока железобетонных опор контактной сети и основных параметров аварийных режимов при замыкании на разземленные опоры.

Для определения максимального сопротивления растеканию тока фундаментной части опоры в режиме замыкания проведен расчет для одного арматурного стержня, не имеющего гальванической связи с арматурной сеткой, представленного в виде железобетонного электрода. При этом сопротивление определялось так:

$$R_{\rho} = \frac{\rho_{\beta}}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d} - \frac{\rho_{\beta}}{2\pi l} \ln \frac{4l}{D_{\beta}} + \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{4l}{D_{\beta}}, \quad (8)$$

где ρ_{β} - удельное сопротивление бетона, Ом*м; l - глубина заложения фундаментной части опоры в землю, м; d - диаметр арматурного стержня, м; D_{β} - диаметр железобетонного электрода, образованного стержнем и защитным слоем бетона, м; ρ - удельное сопротивление земли, Ом.м.

Результаты расчета для различных значений удельных сопротивлений ρ и ρ_{β} приведены на рис. 1.

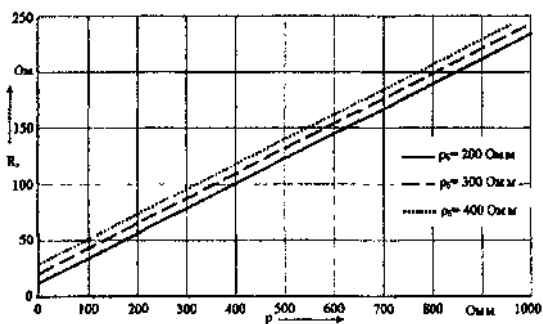


Рис. 1. Сопротивление растеканию тока железобетонного электрода

Из расчетов следует, что сопротивление опоры может изменяться в широких пределах (от десятков до сотен Ом) и в основном определяется удельным сопротивлением грунта. При расчетах аварийных режимов, как правило, принимают удельное сопротивление грунта равным 100 Ом*м. Поэтому с учетом данных, полученных экспериментально, результатами расчетов и рекомендацией известных авторов, занимавшихся данным вопросом, сопротивление растеканию тока опоры в момент замыкания можно принять равным 50 Ом.

Параметры аварийного режима при замыкании на опору рассчитывались с учетом следующих допущений:

- вследствие отсутствия связи разземленной опоры с тяговым рельсом, весь гальванический ток протекает по земле;
- переходное сопротивление «рельс-земля» имеет максимальное значение;
- сеть внешнего электроснабжения имеет максимальное сопротивление;
- процесс короткого замыкания считается установившимся за счет существенной активной составляющей сопротивления цепи протекания аварийного тока.

При расчете режимов замыкания в тяговой сети с различными схемами питания учитывалась возможность каскадного действия комплектов защит фи-

деров. На рис. 2 приведены области наиболее вероятного попадания вектора входного сопротивления подстанции и поста секционирования при узловой схеме питания в режиме замыкания на опору с различным сопротивлением. Анализ результатов расчета, показал следующее. При схеме консольного, кольцевого и двухстороннего питания входное сопротивление фидеров во всех случаях независимо от точки короткого замыкания и величины переходного сопротивления носит активно-индуктивный характер.

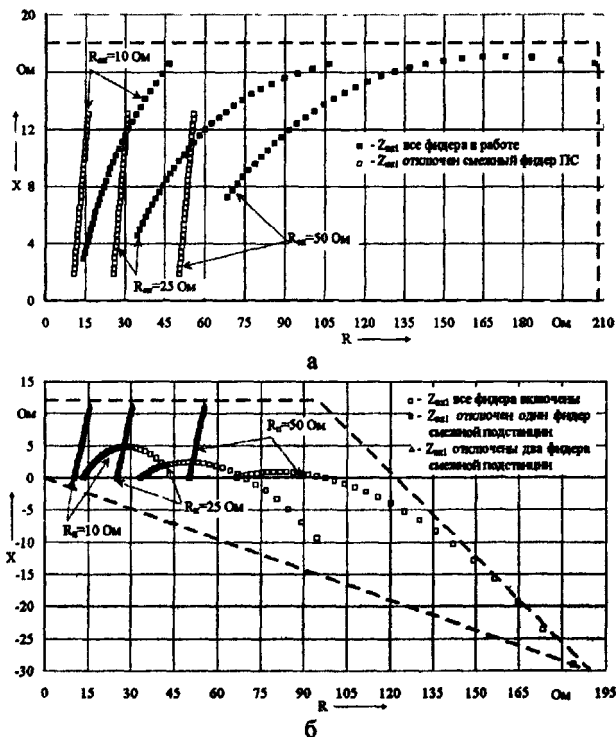


Рис. 2. Входное сопротивление фидеров при узловой схеме в режиме замыкания на разземленную опору: а - фидер подстанции; б - фидер поста секционирования

При узловой схеме питания входное сопротивление фидера подстанции, непосредственно питающего точку короткого замыкания, всегда имеет активно-индуктивный характер. В тоже время вектор входного сопротивления фидеров смежной подстанции при удаленном замыкании на опору с существенным сопротивлением может находиться в четвертом квадранте фазовой плоскости (активно-емкостное сопротивление), что объясняется существенной индуктив-

ной составляющей падения напряжения от питающей системы до шин подстанции и малой фазой тока, обусловленной значительным активным переходным сопротивлением. То же свойственно и для входного сопротивления фидера поста. Это необходимо учитывать при настройке дистанционной направленной защиты фидеров контактной сети.

Определено, что при замыкании на опору напряжение в месте замыкания, а следовательно, и в других точках сети снижается незначительно. Это вызывает необходимость пересмотра существующих методов расчета уставок релейной защиты, реагирующей на подобные режимы, которыми наличие возможной остаточной нагрузки не учитывается.

Принимая во внимание, что дополнительная защита фидеров контактной сети, каковой является защита от замыканий на разземленные опоры, как правило, не имеет резерва, можно считать, что при реализации селективной защиты межподстанционной зоны для защиты фидеров тяговой подстанции защищаемой является зона, равная половине расстояния от подстанции до поста, а при неселективной - все расстояние. Поэтому в соответствии с расчетами, в первом случае минимальный аварийный ток, на который должна реагировать защита, составляет 250 А, во втором - 150.

Четвертый раздел посвящен исследованию влияния остаточной нагрузки на работу защиты при замыкании на опору и совершенствованию методики расчета ее уставок.

Установлено, что существующий способ реализации дистанционной защиты от замыканий на разземленные опоры с прямоугольной УХС, а также метод расчета ее уставок являются приемлемыми в случае отсутствия нагрузки, предшествовавшей режиму замыкания. Однако проведенный анализ влияния возможной остаточной нагрузки на параметры режима замыкания и, в частности, на вектор входного сопротивления показал, что как принцип защиты, так, соответственно, и метод определения уставок, требуют некоторой доработки. Был произведен расчет входного сопротивления фидера при наложении на ток замыкания нагрузочной составляющей в соответствии с выражением:

$$\underline{Z}_{вх} = \frac{U}{I_{кз} + I_{н}}, \quad (9)$$

где U - напряжение на шинах подстанции; $I_{кз}$ - комплексное значение тока короткого замыкания, $I_{н}$ - комплексное значение тока остаточной нагрузки.

Анализ результатов расчета комплексного значения входного сопротивления фидера с учетом воздействия на него составляющей тягового тока различной величины и фазы, приведенных на рис. 3, показал следующее.

Наличие остаточной нагрузки оказывает существенное влияние на индуктивную составляющую входного сопротивления фидера при замыкании на опору, вызывая ее значительное увеличение. Это приводит к выходу конца вектора

сопротивления в область нагрузки, что может вызвать отказ известной защиты. При этом максимальное влияние наблюдается при токах нагрузки до 400 А.

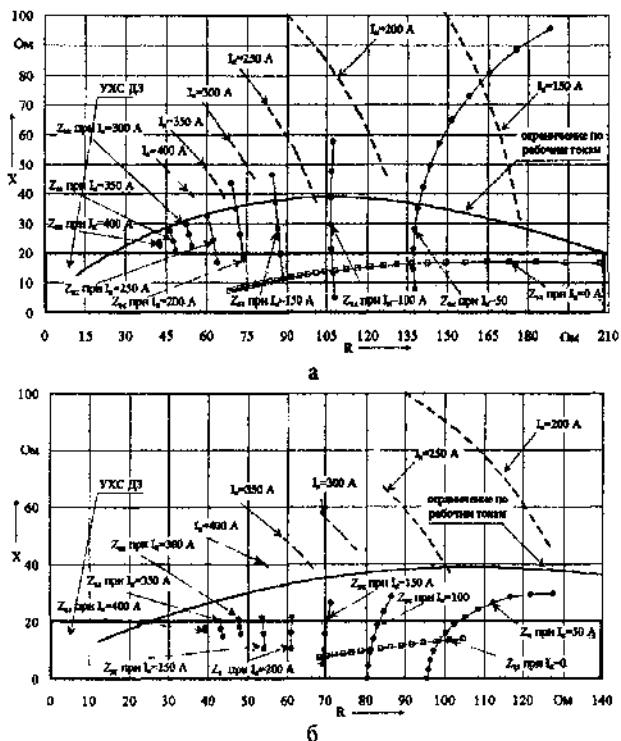


Рис 3. Входное сопротивление фидера тяговой подстанции при наложении на аварийный ток остаточной нагрузки: а- минимальный ток короткого замыкания 150 А; б - минимальный ток короткого замыкания 250А

С уменьшением длины защищаемой зоны в два раза (при наличии защиты на фидерах поста секционирования) влияние нагрузки заметно снижается, однако существенная часть точек конца вектора входного сопротивления остается выше известной характеристики срабатывания. Вместе с тем в области малой нагрузки и больших углов возрастает ее влияние на активную составляющую входного сопротивления, что приводит к ее возрастанию примерно на 25-30%.

Это вызывает необходимость расширения УХС дистанционной защиты в область нагрузки, что может вызывать ложные срабатывания защиты в нормальном рабочем режиме. Для снижения вероятности ложной работы необходимо

димо дополнительно осуществлять контроль за изменением коэффициента искажения синусоидальности кривой тока фидера, так как в режиме нагрузки его значение выше чем при замыкании, что позволит блокировать срабатывание дистанционной защиты в случае попадания в ее УХС тяговой нагрузки.

Кроме этого, вид УХС дистанционной защиты может отличаться от прямоугольной, и носить как горизонтальный, так и наклонный восходящий или нисходящий характер, что даст дополнительную возможность исключать ложные срабатывания в той или иной области фазовой плоскости сопротивления. При этом необходимо обеспечить возможность отображения характеристики в четвертый квадрант. Примеры некоторых характеристик приведены на рис. 4.

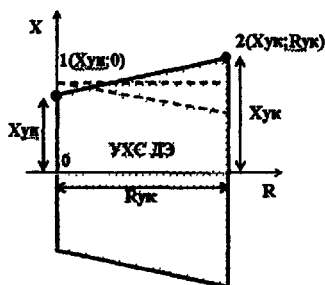


Рис. 4. Возможные виды УХС дистанционной защиты от замыканий через большое переходное сопротивление

Введение дополнительного признака вызвало необходимость усовершенствования методов расчета уставок защиты. В результате была предложена следующая методика определения уставок дистанционной защиты с торможением по высшим гармоникам тока фидера.

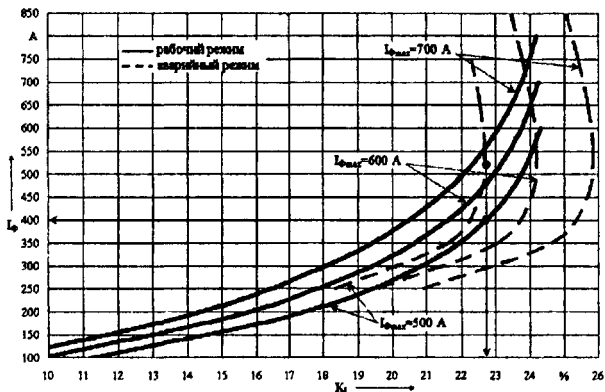
В соответствии с кривыми, изображенными на рис. 5,а или б, определяет уставка по высшим гармоникам тока для блокирования срабатывания дистанционной защиты и соответствующее ей значение минимального рабочего тока нагрузки $I_{\text{мин}}$, при котором будет достигаться торможение в нагрузочном режиме, по формуле

$$K_{\text{ICЗ}} = \frac{k_y K_1}{k_0}, \quad (10)$$

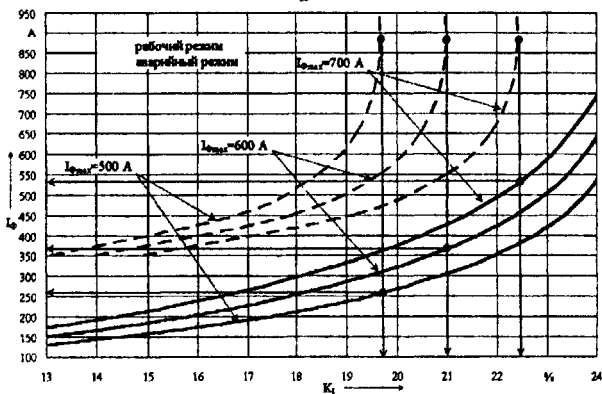
где K_1 - максимальное значение коэффициента искажения синусоидальности тока фидера в режиме замыкания при наличии остаточной нагрузки; k_0 - коэффициент отстройки (1,1 - 1,2); k_y - коэффициент, учитывающий влияние составляющей уравнительного тока, определяемый в соответствии с выражением (7).

Определяется максимальная фаза φ_{\max} , соответствующая току I_{\min} , после чего рассчитывается начало области срабатывания дистанционной защиты по оси реактивных сопротивлений по формуле:

$$X_{\text{ун}} = \frac{U_{\min} \sin \varphi_{\max}}{k_0 I_{\min}}, \quad (\text{И})$$



а



б

Рис. 5. Максимальное значение коэффициента искажения синусоидальности кривой тока фидера подстанции в режиме замыкания на опору: а- при неселективной защите межподстанционной зоны; б - при селективной защите межподстанционной зоны

где $U_{\min} = 25000$ В для защиты фидеров подстанции и 21000 В - для защиты фидеров поста секционирования; k_o - коэффициент отстройки, равный 1 Д.

Уставку по оси активных сопротивлений $R_{ук}$ можно определить в соответствии с известным методом Б.Е. Дынькина по формуле:

$$R_{ук} = \frac{U_{\min}}{k_o I_{ур\max}}, \quad (12)$$

где $I_{ур\max}$ - максимальный уравнильный ток в зоне углов от -10 до +15°.

Значение конца области срабатывания дистанционной защиты по оси реактивных сопротивлений $X_{ук}$ на первом этапе принимается равным $X_{ун}$. Это позволит в режиме опытной эксплуатации выявить зоны ложной работы защиты применительно к конкретным условиям и в случае необходимости откорректировать данную уставку, тем самым, придав оптимальный вид УХС.

Пятый раздел посвящен разработке алгоритма работы защиты от замыканий на разземленные опоры и его проверке, а также метода определения уставок защиты, в условиях эксплуатации.

В результате проведенных исследований было найдено несколько решений по реализации защиты фидеров контактной сети переменного тока от замыканий через переходное сопротивление, на которые были получены свидетельство и патенты на полезную модель. В настоящее время наиболее оптимальным для реализации представился вариант дистанционной защиты с усовершенствованной характеристикой срабатывания (см. рис. 4) и торможением по высшим гармоническим составляющим, принципиальная схема которого приведена на рис. 6.

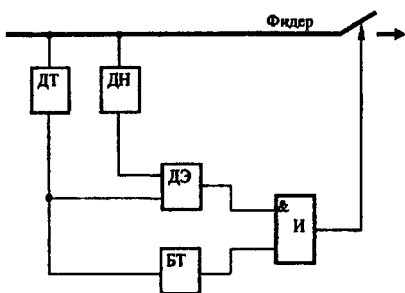


Рис. 6. Принципиальная схема защиты фидеров контактной сети переменного тока от токов короткого замыкания через большое переходное сопротивление

Совместно с НТЦ «Мехатроника» в 2003 - 2004 г. разработана и реализована новая серия блоков микропроцессорной защиты типа БМРЗ-27,5-ФКС(ОФ-КС)-05,06(01,02), в которые предложенный принцип вошел в виде четвертой ступени дистанционной защиты ДЗ4.

В 2004 г. сотрудниками ОмГУПСа была осуществлена проверка опытных блоков типа БМРЗ-27,5-ФКС-06 в различных эксплуатационных режимах на действующих участках Восточно-Сибирской и Дальневосточной железных дорог,

которая подтвердила способность данной защиты идентифицировать режимы замыкания на разземленные опоры в условиях остаточной нагрузки и исключать ложные отключения фидеров в нормальном нагрузочном режиме.

Входное сопротивление защищаемых фидеров, зафиксированное БМРЗ в режимах нагрузки и некоторых опытов замыкания на опоры на Восточно-Сибирской железной дороге, а также гармонический состав тока приведены на рис. 7 и 8. На рис. 8 нанесены границы изменения коэффициента искажения синусоидальности тока, полученные расчетным путем в соответствии с разработанной методикой.

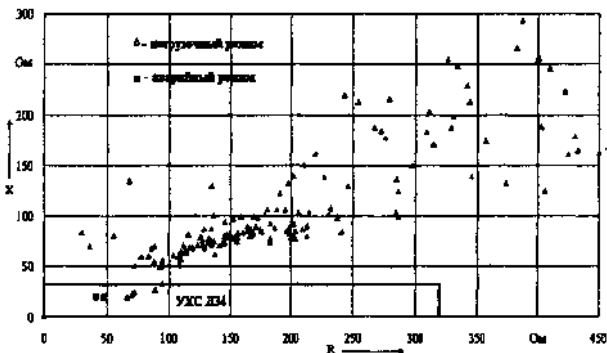


Рис. 7. Входное сопротивление фидера подстанции, зафиксированное БМРЗ в режиме нагрузки и замыкания на разземленные опоры

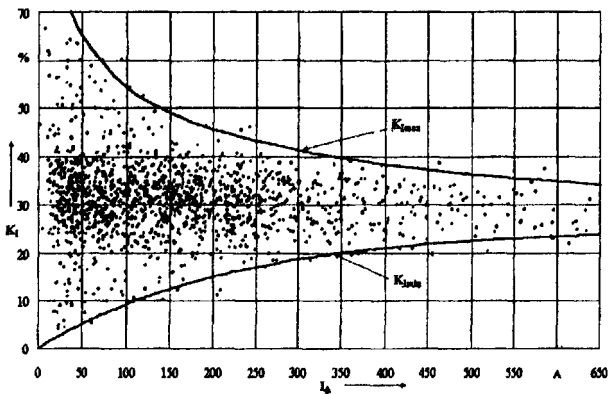


Рис. 8. Содержание гармоник в токе фидера подстанции, зафиксированное ИВК «Омск-М» в режиме нагрузки

Анализ результатов экспериментальных данных в совокупности с результатами теоретических исследований подтвердил адекватность полученных в работе зависимостей и выводов, а также метода определения уставок новой защиты. Блоки защиты БМРЗ, прошедшие испытания на Восточно-Сибирской железной дороге, введены в эксплуатацию и принято решение об установке

блоков данной серии на межподстанционной зоне Окусикан - Ангаракан для защиты от замыканий на тело Северомуйского тоннеля. Партия блоков поступила на Дальневосточную железную дорогу для введения в опытную эксплуатацию.

Экономический эффект от внедрения защит достигается за счет исключения повреждений и срывов графика движения поездов и составляет 766 тыс. р. на одну межподстанционную зону.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Проведен анализ существующих способов защиты фидеров контактной сети переменного тока от различных видов короткого замыкания, в результате чего установлено, что они не обеспечивают надежного функционирования в режиме замыкания через большое переходное сопротивление, что объясняется принципами их реализации и методами расчета уставок защиты.

2. На основе имитационного моделирования получены выражения для определения границ изменения коэффициента искажения синусоидальности тока фидера тяговой подстанции и поста секционирования и установлено, что гармонический состав тока фидера в основном определяется его текущим и максимальным значениями.

3. Определено максимальное сопротивление растеканию тока фундамента железобетонной опоры контактной сети, что подтвердило целесообразность принятия его равным 50 Ом при расчете минимальных аварийных токов.

4. Установлено, что при замыкании на разземленную опору минимальный ток, к которому должна быть чувствительна защита, составляет при неселективной реализации защиты межподстанционной зоны 150 А, при селективной - 250.

5. Предложены новый принцип и алгоритм работы дистанционной защиты фидеров контактной сети переменного тока от замыканий на разземленные опоры с усовершенствованной угловой характеристикой срабатывания и блокировкой от ложных срабатываний по высшим гармоникам в токе фидера, реализованные на базе серийно производимых микропроцессорных блоков релейной защиты, разработана усовершенствованная методика расчета уставок защиты, позволяющая учесть влияние остаточной нагрузки.

6. Выполнены экспериментальные исследования блоков защиты БМРЗ-27,5-ФКС-05(06) с реализованным в них принципом защиты от замыканий на разземленные опоры и осуществлена проверка предложенного метода определения уставок защиты в эксплуатационных условиях на действующих участках железных дорог, подтвердившие целесообразность дальнейшего производства и внедрения данного вида защиты, а также приемлемость метода расчета ее уставок.

7. Ожидаемый экономический эффект от внедрения реализованной защиты составляет 766 тыс.р. на одну межподстанционную зону.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Маслов Г.П. Влияние разземления опор на надежность работы релейной защиты фидеров контактной сети переменного тока / Г.П. Маслов, Г.С. Магай, И.А. Кремлев // Исследования и разработки ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте: Межвуз. сб. науч. тр. с междунар. уч. / Самарский ин-т инж. ж.-д. трансп. СамИИТ, 2002. Вып. 23. С. 83-35.

2. Маслов Г.П. К расчету сопротивления растеканию разземленных опор контактной сети / Г.П. Маслов, Г.С. Магай, И.А. Кремлев // Первая Российская конференция по заземляющим устройствам / Сибирская энергетическая академия. Новосибирск, 2002. С. 59-62.

3. Маслов Г.П. Ток и напряжение в тяговой сети переменного тока / Г.П. Маслов, Г.С. Магай, И.А. Кремлев // Тез. докл. междунар. науч.-техн. симпозиума / Санкт-Петербургский ун-т путей сообщения. «Eltrans2001». СПб, 2001. С. 70-71.

4. Кремлев И.А. Аварийные токи в контактной сети переменного тока / И.А. Кремлев // Совершенствование устройств подвижного состава, электро-снабжения, автоматики и связи железнодорожного транспорта: Сб. науч. ст. / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2004. Вып. 5. С. 48-53.

5. Маслов Г.П. Защита контактной сети переменного тока от малых токов короткого замыкания / Г.П. Маслов, Г.С. Магай, Е.Ю. Салита, И.А. Кремлев // Ресурсосберегающие технологии на предприятиях Западно-Сибирской железной дороги: Материалы науч.-практ. конф. / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2001. С. 158-162.

6. Кремлев И.А. Совершенствование методики выбора уставок релейной защиты фидеров контактной сети переменного тока / И.А. Кремлев // Современные тенденции в развитии и конструировании коллекторных и других электромеханических преобразователей энергии: Мат. всерос. науч.-техн. конф. / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2003. С. 331-335.

7. Кремлев И.А. Технология защиты фидеров контактной сети переменного тока от малых токов короткого замыкания / И.А. Кремлев // Новейшие достижения науки и техники на железнодорожном транспорте: Сб. докл. рег. науч.-практ. конф. / ОАО «РЖД» филиал Ю.-Уральская ж.-д. Челябинск, 2004. С. 35-37.

8. Свид. RU20205 U1 Россия, 7H02H3/00, B60M1/00. Защита фидеров контактной сети переменного тока от токов короткого замыкания / Г.С. Магай, Е.Ю. Салита, И.А. Кремлев (Россия). - 2001109906/20; Заявлено 11.04.2001; Опубл. 20.10.2001. Бюл. №29.

9. Пат. RU31880 U1 Россия, 7H02H3/00, B60M1/00. Защита фидеров контактной сети переменного тока от малых токов короткого замыкания / Г.С. Магай, В.А. Квашук, Н.М. Лапенко, И.А. Кремлев (Россия). - 2003107726/20; Заявлено 24.03.2003; Опубл. 27.08.2003. Бюл. № 24.

10. Кремлев И.А. Защита фидеров контактной сети переменного тока от замыканий на разземленные опоры / И.А. Кремлев // Динамика систем, механизмов и машин: Мат. V междунар. науч.-техн. конф. / Омский гос. техн. ун-т. ОмГТУ. Омск, 2004. С. 351-353.

11. Пат. RU40544 U1 Россия, 7Н02НЗ/00, В60М1/00. Защита фидеров контактной сети переменного тока от токов короткого замыкания через большое переходное сопротивление / Г.С. Магай, И.А. Кремлев (Россия). - 2004113537/22; Заявлено 05.05.2004; Опубл. 10.09.2004. Бюл. № 25.

Типография ОмГУПСа. 2005. Тираж 120 экз. Заказ 41.

644046, г. Омск, пр. Маркса, 35

