

Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Дальневосточный государственный университет путей сообщения»

Кафедра «Автоматика, телемеханика и связь»

А. Г. Кириленко

**ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ
И ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ДРОССЕЛЬ-ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Методические указания
по выполнению лабораторной работы

Хабаровск
Издательство ДВГУПС
2016

УДК 656.25(075.8)
ББК 0275я73
К 431

Рецензент – доцент кафедры «Автоматика и телемеханика»
Н.А. Пельменева

Кириленко, А.Г.

К 431 Изучение конструкций и измерение электрических параметров дроссель-трансформаторов : метод. указания по выполнению лабораторной работы / А.Г. Кириленко. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2016. – 27 с. : ил.

Методические указания соответствуют ФГОС ВО по направлению 23.05.05 «Системы обеспечения движения поездов» (специализация «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте», программа специалитет).

Рассматриваются назначение, конструкции, методы измерения электрических параметров дроссель-трансформаторов железнодорожной автоматики и телемеханики.

Приводится порядок и методика выполнения лабораторной работы.

Определён объём знаний студента и форма отчётности о результатах самостоятельного исследования.

Методические указания предназначены для студентов 3-го курса (очная форма обучения) и 4-го курса (заочная форма обучения), изучающих дисциплину «Напольное технологическое оборудование систем автоматики и телемеханики».

УДК 656.25(075.8)
ББК 0275я73

© ДВГУПС, 2016

ВВЕДЕНИЕ

Главной задачей, стоящей перед компанией ОАО «Российские железные дороги», является повышение эффективности ее работы. Решение этой стратегической задачи возможно только при оснащении железных дорог современными и надежными техническими средствами. При этом особая роль принадлежит системам железнодорожной автоматики и телемеханики, которые, составляя всего 5% общей стоимости основных фондов, обеспечивают безопасность движения поездов, определяют пропускные способности железнодорожных линий.

Таким образом, для целей скорейшего достижения поставленных перед отраслью задач необходимо особое внимание уделять совершенствованию технических средств железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) и фундаментальной подготовке специалистов для обслуживания этих систем.

В настоящее время значительную часть аппаратуры СЖАТ выпускают следующие электротехнические и электромеханические заводы: Санкт-Петербургский ЭТЗ; Лосиноостровский ЭТЗ; Камышловский ЭТЗ; Армавирский ЭМЗ; Гатчинский ЭТЗ; Елецкий ЭМЗ; Волгоградский ЛМЗ; Санкт-Петербургский завод ЭТО, которые объединены в открытое акционерное общество «Объединенные электротехнические заводы» (ОАО «ЭЛТЕЗА»).

Номенклатура изделий, выпускаемых ОАО «ЭЛТЕЗА», превышает 5000 наименований. Перечислим основные из них:

- стрелочные электроприводы;
- шлагбаумы и устройства заграждения переездов;
- светофоры линзовые и светодиодные;
- транспортабельные модули для размещения аппаратуры автоматики и телемеханики;
- дроссель-трансформаторы;
- микропроцессорная аппаратура и электронная аппаратура;
- релейная аппаратура тональных рельсовых цепей;
- диспетчерские пульты.

В системах железнодорожной автоматики и телемеханики допускается применять приборы, прошедшие сертификацию и утвержденные нормативными документами ОАО «РЖД». Применение приборов, не утвержденных нормативными документами, запрещено.

Методические указания подготовлены с целью ознакомления студентов с конструкциями, эксплуатационно-техническими параметрами, широко применяемыми в системах СЖАТ, напольными приборами рельсовых цепей и обратной тяговой сети – дроссель-трансформаторами и методикой определения их электрических характеристик.

1. ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДРОССЕЛЬ-ТРАНСФОРМАТОРОВ, ИХ НАЗНАЧЕНИЕ, КОНСТРУКЦИИ

Известно, что в основу устройств железнодорожной автоматики и телемеханики положено использование рельсовых цепей (РЦ) в качестве основных датчиков контроля состояния участков пути, в которых рельсы являются проводниками тока между аппаратурой питающего и релейного концов. При этом использование рельсов как обратного проводника в системе тягового электроснабжения для пропуска тягового тока от тяговой подстанции (ТП) к электроподвижному составу (ЭПС) требует осуществления целого комплекса технологических, организационных и технических мероприятий. Прежде всего, необходимо стремиться к полной электромагнитной совместимости устройств тягового электроснабжения, устройств автоматики, телемеханики и связи, к нормальному функционированию средств, обеспечивающих электробезопасность. Практика показывает, что дальнейшее улучшение совместной работы систем автоматики и телемеханики и тягового электроснабжения напрямую зависит от повышения качества функционирования всех элементов: дроссель-трансформаторов, дроссельных перемычек и электротяговых соединителей, а также отсасывающих линий, заземляющих устройств, изолирующих стыков и т.д.

1.1. Канализация тягового тока на участках железных дорог с рельсовыми цепями

Для обеспечения непрерывного протекания постоянного или переменного тягового тока на участках железных дорог, оборудованных рельсовыми цепями, применяются двухниточные и однониточные рельсовые цепи, которые осуществляют пропуск тягового тока соответственно по двум или одной рельсовой нити пути. Способ пропуска тягового тока в обход изолирующих стыков приведен на рис. 1, где аппаратура питающего и релейного конца рельсовой цепи приведена в упрощенном виде (без аппаратуры защиты рельсовых цепей и других элементов). Более подробно описание электрических схем и назначение аппаратных средства рельсовых цепей, с учётом мест применения, изложено в учебном пособии «Электрические рельсовые цепи» [1]. Рассматриваемый нами раздел посвящен только процессам протекания обратного тягового тока по рельсовым нитям и в местах установки изолирующих стыков.

Непрерывное протекание обратного тягового тока по рельсовым нитям обеспечивается дроссель-трансформаторами (ДТ), которые уста-

навливаются с двух сторон от изолирующих стыков. Кроме того, они служат трансформаторами не только для подачи в рельсовую линию переменного сигнального тока (I_c) от источника питания (ИП) на питающем конце и приема сигнального тока с рельсов путевым приёмником (П) на релейном конце, но и для согласования низкоомного входного сопротивления рельсовой линии с высокоомными входными сопротивлениями аппаратуры питающего и релейного концов.

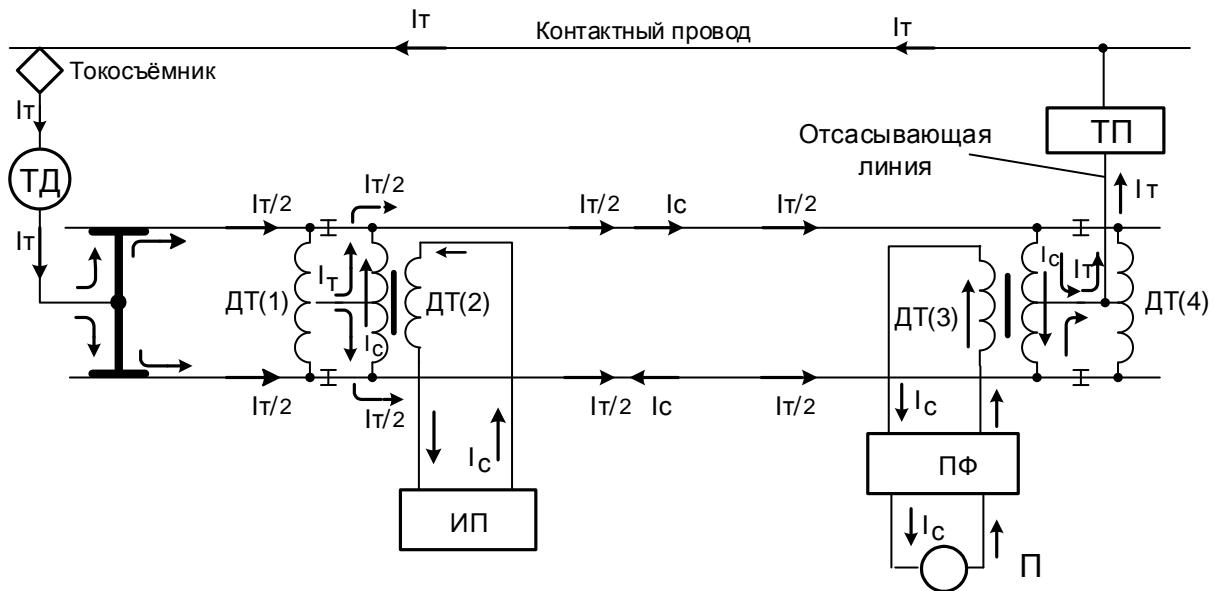


Рис. 1. Схема пропуска тягового тока в двухниточных рельсовых цепях

Путевые дроссель-трансформаторы имеют две обмотки: основную обмотку с большой площадью сечения проводов, подключаемую к рельсовым нитям, и дополнительную, с большим количеством витков малого сечения – для подключения аппаратуры питающего конца или аппаратуры релейного конца рельсовой цепи. Средние точки основных обмоток смежных ДТ соединяются междроссельными перемычками. Конструктивно ДТ изготавливают одиночными и сдвоенными (два ДТ помещены в один корпус). Схема соединения основных обмоток в сдвоенном дроссель-трансформаторе приведена на рис. 2.

Рассмотрим процесс протекания обратного тягового тока на участке железной дороги с двухниточными рельсовыми цепями (рис. 1). Общий тяговый ток I_T от тяговой подстанции (ТП) через контактный провод (КП) и токосъёмник поступает на тяговый двигатель (ТД) электровоза, а далее через колесные пары – в рельсовые нити. Полутоки $I_T/2$ протекают в обход изолирующих стыков через основные полуобмотки ДТ(1), ДТ(2) и междроссельную перемычку.

Тяговые полутоки $I_T/2$ в каждой рельсовой нити протекают в одном направлении. У следующего дросель-трансформатора – ДТ(3) они, проходя через обе половины основной обмотки, стекаются к средней точке, затем по междросельной перемычке суммарный ток I_T попадает к средней точке ДТ(4). Далее ток I_T разветвляется по обеим половинам основной обмотки ДТ(4) и снова в виде полутоков $I_T/2$ протекает по рельсовым нитям до следующих изолирующих стыков в соседние РЦ к следующим электропоездам.

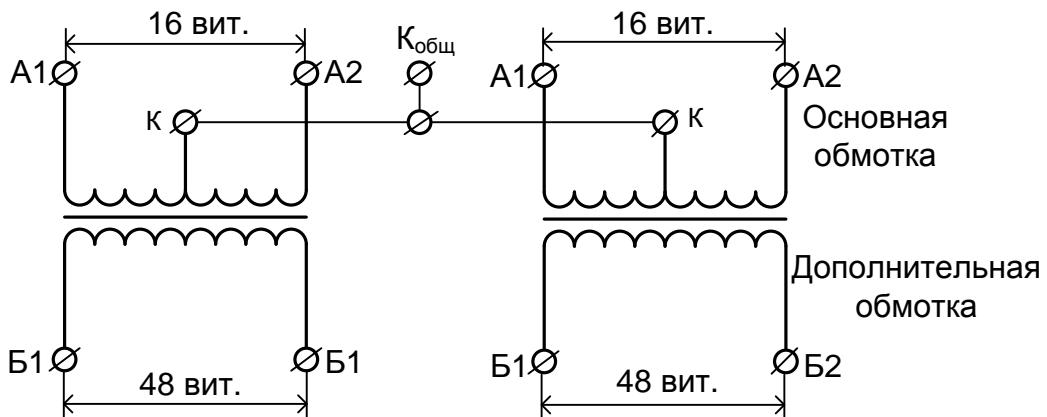


Рис. 2. Схема соединения сдвоенных дросель-трансформаторов

Подобным образом все дросель-трансформаторы, установленные у изолирующих стыков на станциях и перегонах, пропускают обратный тяговый ток в обход изолирующих стыков и создают непрерывную электрическую цепь для прохождения тягового тока на всём протяжении участка между тяговыми подстанциями. При электротяге переменного тока расстояние между тяговыми подстанциями может достигать 60 км.

Если тяговые полутоки, протекающие по полуобмоткам ДТ, равны между собой и имеют противоположные направления, то они создают в сердечнике магнитные потоки $\left(\Phi_1 = \frac{dI_1}{dt}; \Phi_2 = \frac{dI_2}{dt} \right)$ противоположных направлений, при этом общий поток будет равен нулю. Следовательно, эдс $\left(e = w \frac{d\Phi}{dt} \right)$, наводимая в дополнительной обмотке дросель-трансформатора, которая служит для подключения аппаратуры питающих и релейных концов, трансформироваться не будет, поэтому тяговый ток в этом случае не оказывает влияния на эту аппаратуру.

При строгом соблюдении норм технического содержания напольного оборудования РЦ (прежде всего, исправность стыковых соединителей и заземлений контактных опор на рельсовую нить) тяговые полутоки обеих

рельсовых нитей практически равны между собой. Однако в случае нарушения этих норм возникает асимметрия тяговых полутоков, что создает подмагничивание сердечников ДТ (при электротяге постоянного тока) или наведение эдс в дополнительных обмотках (при электротяге переменного тока), а это оказывает существенное нежелательное влияние на работу аппаратуры питающего и релейного концов РЦ и АЛСН. Согласно нормативным документам [4], асимметрия тягового тока (разность тяговых токов в рельсовых нитях) не должна превышать 15 А (4 % от общего тягового тока) при использовании дроссель-трансформаторов ДТ-1-150.

Асимметрия тягового тока возникает вследствие неодинакового продольного электрического сопротивления рельсовых нитей или неравенства переходных сопротивлений рельсовых нитей относительно земли. Неравенство электрических сопротивлений рельсовых нитей вызывает-ся повреждениями, чаще всего – обрывом стыковых соединителей. Сопротивление изоляции рельсовых нитей относительно земли зависит от метеорологических условий, конструкции верхнего строения пути и его засорённости. На сопротивление изоляции одной из рельсовых нитей также оказывает существенное влияние присоединение к ней заземлений опор контактной сети и нарушение изоляции с трубопроводами сети пневмообдувки стрелок. Разница сопротивлений изоляции рельсовых нитей относительно земли достигает наибольшего значения в зимнее время. При этом вследствие высокого сопротивления промёрзшего грунта проводимость между одним рельсом и землей, а также между двумя рельсами почти равна нулю, а проводимость изоляции другого рельса относительно земли определяется проводимостью опор контактной сети и может быть значительной.

Сигнальный ток I_C от источника питания ИП протекает только в пределах изолированных участков пути, ограниченных изолирующими стыками. Так, ток I_C источника питания ИП протекает по дополнительной обмотке ДТ2 и трансформируется в основную обмотку. Далее сигнальный ток протекает по рельсовым нитям в сторону релейного конца и через основную обмотку ДТ3 трансформируется в его вторичную обмотку, проходя через фильтр Ф и путевое реле П, которое становится под ток, замыкает фронтовой контакт и выдает информацию о свободном состоянии контролируемого участка пути. При вступлении подвижной единицы на контролируемый участок пути или повреждении рельсовых нитей путевое реле отпустит свой якорь и тыловыми контактами выдаст информацию о его занятости. Фильтр Ф пропускает только ток сигнальной частоты, тем самым защищая путевое реле от влияния тяговых токов асимметрии.

1.2. Дроссель-трансформаторы для участков с электрической тягой переменного тока

Рассмотрим конструкцию одиночного дроссель-трансформатора типа ДТ-1-150, который состоит из сердечника 4 (без воздушного зазора), собранного из листовой электротехнической стали, и обмоток: основной 3, изготавливаемой из медной шины, и дополнительной 5, выполненной в виде плоской катушки без каркаса. Сердечник с обмотками помещён в корпус 1 (стальной или чугунный), который закрывается крышкой 2. Для подключения аппаратуры питающего или релейного концов рельсовой цепи через дополнительную обмотку на корпусе ДТ имеется кабельная муфта 6 дополненная предохранительной трубой для защиты подводимого кабеля.

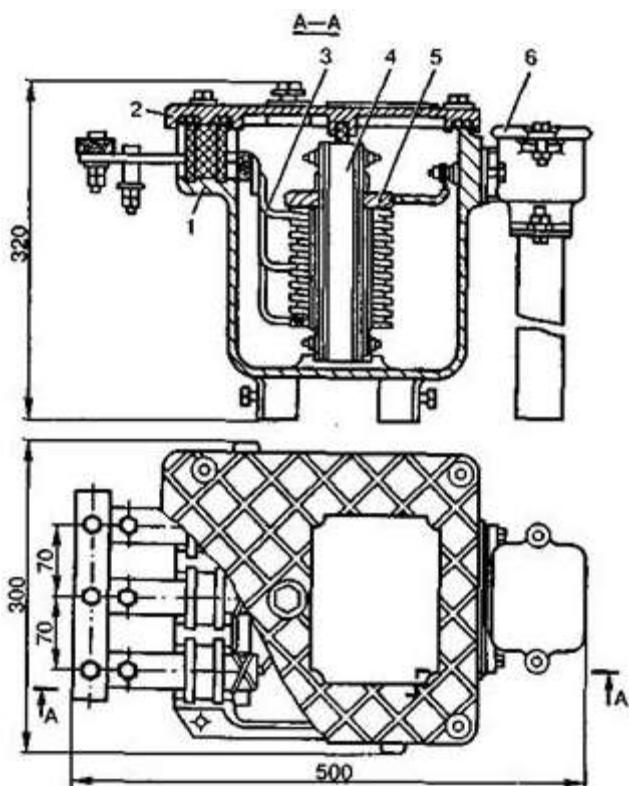


Рис. 3. Одиночный дроссель-трансформатор типа ДТ-1-150

на крышке. На боковой стенке дроссель-трансформатора имеются два отверстия, закрытые винтовыми пробками. Верхнее отверстие служит для контроля верхнего уровня заливки масла, нижнее для слива масла. Завод поставляет дроссель-трансформаторы, не залитые маслом.

На участках с электрической тягой переменного тока частотой 50 Гц применяют дроссель-трансформаторы типов ДТ-1-150, ДТ-1-300 (одиночной установки) и 2ДТ-1-150, 2ДТ-1-300 (сдвоенной установки). Дроссель-трансформаторы сдвоенной установки 2ДТ-1-150 и 2ДТ-1-300 имеют внутри общего кожуха два отдельных магнитопровода с основными и дополнительными обмотками. Средние точки основных обмоток соединены внутри междроссельной перемычкой и имеют общий вывод для

подключения заземляемых на рельсовые нити устройств, а также для подключения отсасывающих линий к тяговым подстанциям.

Магнитопроводы дросель-трансформаторов, применяемых на участках с электрической тягой переменного тока, не имеют воздушного зазора, поэтому их сопротивления при наличии разницы (асимметрии) в тяговых токах, протекающих в полуобмотках дросель-трансформаторов, изменяются в широких пределах. В целях обеспечения нормальной работы рельсовых цепей необходимо, чтобы входное сопротивление дросель-трансформатора вместе с подключаемой аппаратурой со стороны рельсов было стабильно.

Рассмотрим дросель-трансформаторы типа ДТ-1-150 и 2ДТ-1-150, электрические схемы которых приведены на рис. 4 и 5 соответственно.

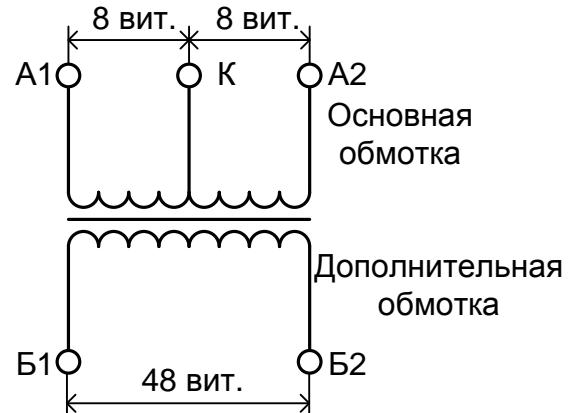


Рис. 4. Электрическая схема дросель-трансформатора одиночной установки типа ДТ-1-150

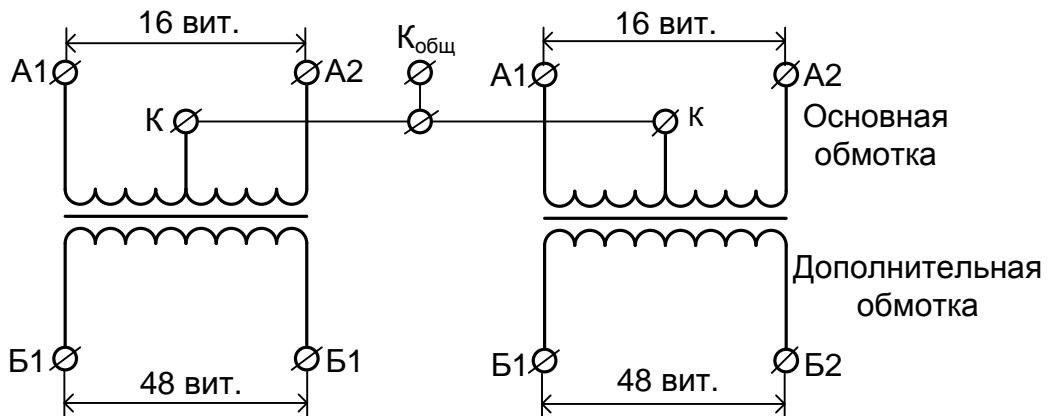


Рис. 5. Электрическая схема дросель-трансформатора сдвоенной установки типа 2ДТ-1-150

В обозначении типа дросель-трансформатора первая цифра после букв обозначает сопротивление основной обмотки переменному току на частоте 50 Гц. Вторые цифры обозначают номинальные тяговые токи, допускаемые для протекания по каждой секции (полуобмотке) основной обмотки.

Основная обмотка состоит из двух секций по 8 витков в каждой, соединенных между собой. Сечение медной шины основной обмотки $4,1 \times 8$ мм, расчетное сечение – $31,92$ мм².

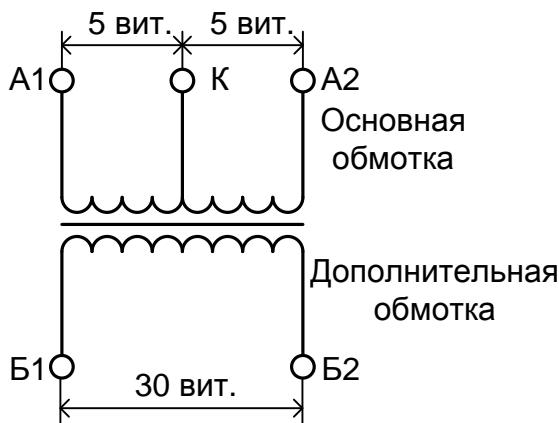


Рис. 6. Схема соединения обмоток дросель-трансформатора типа ДТ-1-300

Дополнительная обмотка содержит 48 витков и выполняется из провода марки ПЭЛБО диаметром 1,95 мм в виде плоской катушки без каркаса. Дополнительная обмотка обматывается одним слоем киперной ленты с последующей пропиткой лаком МЛ-92.

Далее рассмотрим дросель-трансформаторы типа ДТ-1-300 и 2ДТ-1-300, электрические схемы которых приведены на рис. 6 и 7 соответственно. Они имеют такую же конструкцию, как и ДТ-1-150 и 2ДТ-1-150, но разница в том, что они больше по размерам и массе.

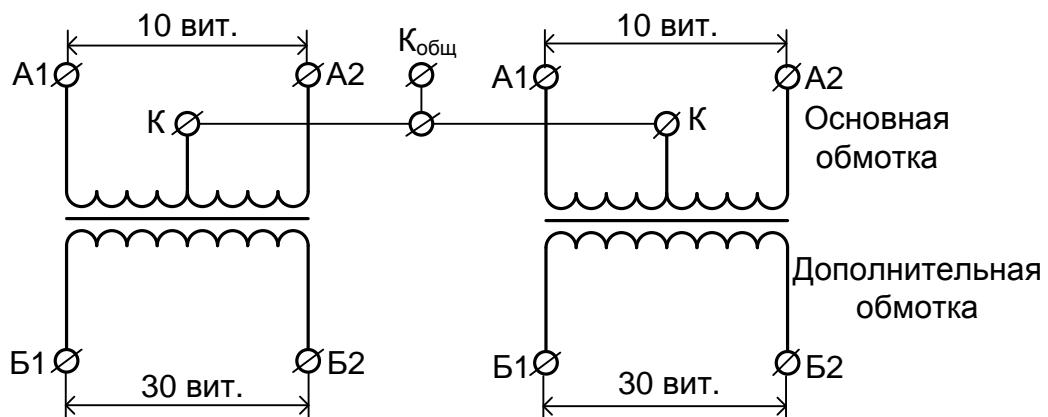


Рис. 7. Схема соединения обмоток дросель-трансформатора типа 2ДТ-1-300

Дросель-трансформатор ДТ-1-300 и сдвоенный дросель-трансформатор 2ДТ-1-300 устанавливают на горных участках и в местах присоединения отсасывающих линий тяговых подстанций. Кроме того, они устанавливаются на участках обращения тяжеловесных поездов, оборудованных автоблокировкой и электрической централизацией, с частотой сигнального тока в рельсовых цепях 25 или 75 Гц, где могут протекать большие тяговые токи.

Дросель-трансформатор типа 2ДТ-1-300 состоит из двух дросель-трансформаторов типа ДТ-1-300, заключенных в один корпус (рис. 7).

Каждый из двух дроссель-трансформаторов имеет свой сердечник, основную обмотку, состоящую из двух секций, соединенных между собой, и дополнительную обмотку. Дополнительная обмотка у обоих дроссель-трансформаторов выполняется из провода марки ПЭБО диаметром 1,9 мм.

Коэффициент трансформации у дроссель-трансформаторов равен трём. Дроссель-трансформаторы рассчитаны на пропускание номинального значения переменного тока силой 300 А через каждую секцию (полуобмотку) основной обмотки. Средний вывод обмотки $K_{общ}$ рассчитан на пропуск тока силой 600 А. Теперь на смену дроссель-трансформаторам с масляным охлаждением отечественной промышленностью выпускаются приборы с воздушным охлаждением.

Дроссель-трансформаторы типа ДТ-1МГ-150, 2ДТ-1МГ-150, ДТ-1МГ-300, 2ДТ-1МГ-300, ДТ-1МГ-150, ДТ-1МГ-300, 2ДТ-1МГ-150 и 2ДТ-1МГ-300 предназначены для установки на участках железных дорог, оборудованных автоблокировкой с частотой сигнального тока в рельсовых цепях 25 и 75 Гц и электротягой на переменном токе с частотой 50 Гц при рельсовых цепях тональной частоты.

Дроссель-трансформаторы рассчитаны на пропуск номинального значения переменного тока силой 150 А для ДТ-1МГ-150, 2ДТ-1МГ-150 и силой 300 А – для ДТ-1МГ-300, 2ДТ-1МГ-300 через каждую секцию (полуобмотку) основной обмотки. Средний вывод рассчитан на ток силой 300 А для ДТ-1МГ-150, 2ДТ-1МГ-150 и силой 600 А для ДТ-1МГ-300, 2ДТ-1МГ-300.

В дроссель-трансформаторах типа ДТ-1МГ и 2ДТ-1МГ применено естественное охлаждение обмоток благодаря специальной укладке обмоточных проводов с воздушными зазорами. Это исключает необходимость использования трансформаторного масла, более того, такие приборы значительно снижают эксплуатационные расходы, поэтому их называют малообслуживаемыми.

Основная обмотка дроссель-трансформатора состоит из двух полуобмоток по 8 витков каждая. Дополнительная (сигнальная) обмотка имеет 48 витков. Коэффициент трансформации дроссель-трансформатора равен трём.

Проведенным анализом качества поставляемых дроссель-трансформаторов типа 2ДТ-1МГ-150 (2ДТ-1МГ-300) на ДвостЖД – филиале ОАО «РЖД» выявлено, что они после 3–5 лет эксплуатации стали давать отказы в своей работе, граничащие с серьезными нарушениями техники безопасности движения поездов, в частности такими, как перекрытие сигналов перед поездом.

Как показало расследование отказов, во всех случаях причина неисправности герметизированных дроссель-трансформаторов заключа-

лась в неисправности конструкции: в качестве изолирующего материала и наполнителя применялся обыкновенный песок, залитый сверху и снизу компаундной массой. При этом отсутствовала гидроизоляция отверстий дроссель-трансформатора, что привело к постепенному соприкосновению песчаной массы с влажным воздухом и попаданию влаги вовнутрь корпуса.

В 2008 г. по этой причине на Дальневосточной железной дороге зафиксировано на различных дистанциях 4 случая выхода из строя герметизированных дроссель-трансформаторов.



Рис. 8. Состояние обмоток дроссель-трансформатора при нарушенной герметизации корпуса

(рис. 9), где а – без верхней крышки, б – в собранном виде, в – в сдвоенной установке. «2ДТ-1МГ1» предназначены для установки на участках железных дорог с электрической тягой на переменном токе, оборудованных автоблокировкой и электрической централизацией с рельсовыми цепями всех видов: тональными рельсовыми цепями, фазочувствительными, кодовыми и т.д. В конструкции таких дроссель-трансформаторов применен электроизоляционный морозо- и термоустойчивый компаунд, позволяющий повысить влагозащищенность и устойчивость к механическим воздействиям. Кроме того, увеличена надёжность – гарантия на устройство 5 лет.

На базе ДТ-1-300 и 2ДТ-1-300 разработаны и изготовлены дроссель-трансформаторы в шпальном изготовлении – ДТШ-1-300 и 2ДТШ-1-300 (рис. 10), предназначенные для разделения и пропуска тягового тока в обход изолирующих стыков. Дроссели типа ДТШ могут применяться на участках, оборудованных автоблокировкой с частотой сигнального тока 25, 75, 420, 780 Гц и электротягой переменного тока частотой 50 Гц. При их использовании создается реактивное (индуктив-

Фотография внутреннего состояния одного из поврежденных дроссель-трансформаторов после вскрытия приведена на рис. 8.

После соответствующей доработки конструкции дроссель-трансформаторов типа ДТ-1МГ и 2ДТ-1МГ предприятия ОАО «ЭЛТЕЗА» стали выпускать их следующие модернизированные типы: ДТ-1МГ1-150, 2ДТ-1МГ1-150 и ДТ-1МГ1-300, 2ДТ-1МГ1-300.

В качестве примера ниже приведены фотографии одиночного дроссель-трансформатора типа ДТ-1МГ1-150.

Дроссель-трансформаторы ДТ-1МГ1

ное) сопротивление протеканию сигнального тока. Устойчивость изделия к воздействию механических нагрузок и климатических факторов соответствует требованиям для классификационной группы МС4.

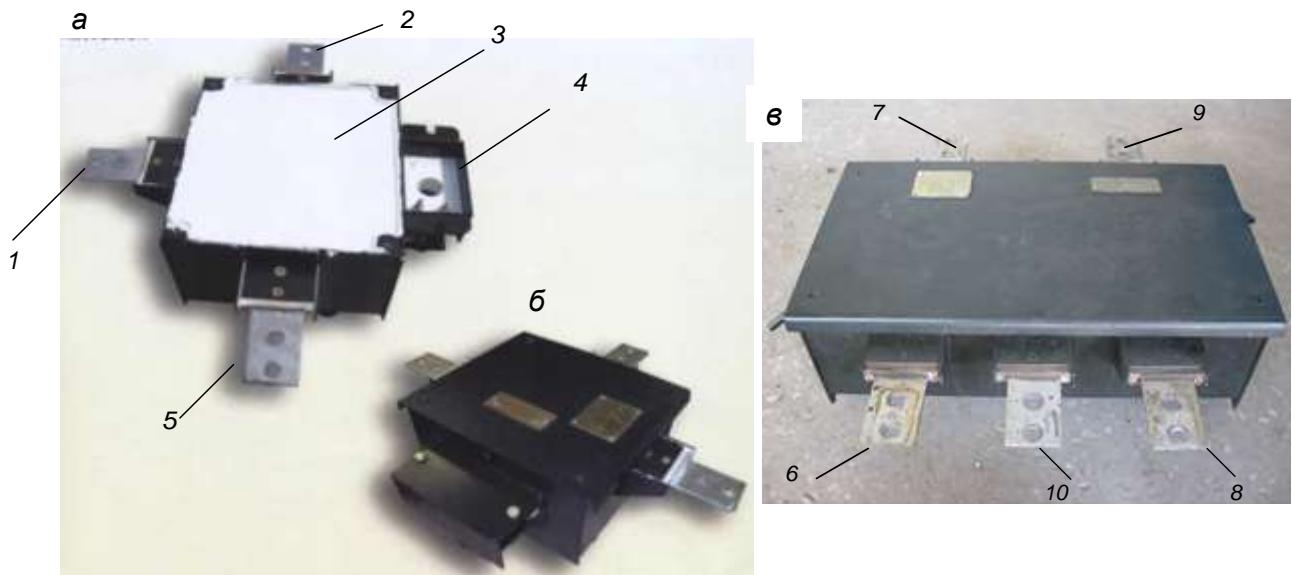


Рис. 9. Внешний вид дроссель-трансформаторов типа ДТ-1МГ1 одиночной установки: а – без верхней крышки, б – в собранном виде; в – 2ДТ-1МГ-300 сдвоенной установки: 1 – средний вывод основной обмотки; 2, 5 – крайние выводы основной обмотки дроссель-трансформатора; 3 – герметизирующий компаунд; 4 – кабельная муфта для подключения выводов дополнительной обмотки; 6, 7 – крайние выводы первого ДТ; 8, 9 – крайние выводы второго ДТ; 10 – средний вывод (общий) двух основных обмоток ДТ сдвоенной установки

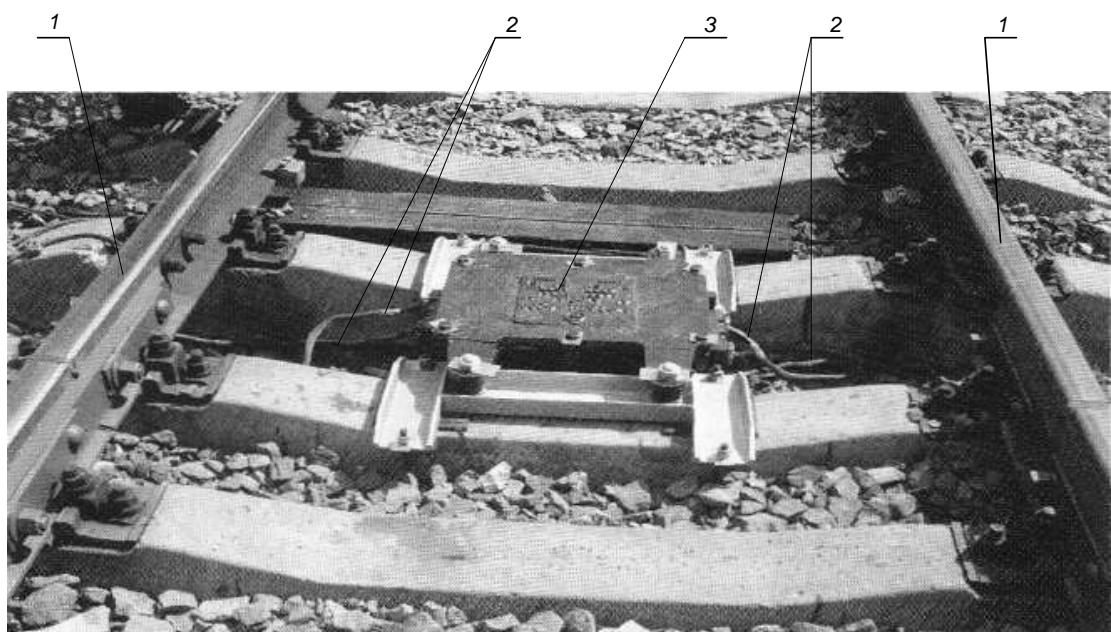


Рис. 10. Дроссель-трансформатор в шпальном изготовлении: 1 – рельсы; 2 – дроссельные перемычки; 3 – дроссель-трансформатор

Основное преимущество таких дросселей в том, что они, во-первых, устанавливаются внутри колеи в межшпальном пространстве, благодаря чему ремонт пути можно выполнять без их демонтажа, а, во-вторых, особенности конструкции дросселя исключают асимметрию тягового тока.

Эти устройства успешно прошли эксплуатационные испытания на станциях Брянск-Орловский и Воронеж-1 Московской и Юго-Восточной дорог, уже разрешен их серийный выпуск.

Нормативные значения асимметрии обратного тягового тока для различных типов дроссель-трансформаторов, применяемых на участках с электрической тягой постоянного и переменного тока, приведены в табл. 1.

Таблица 1
**Максимальная допускаемая величина асимметрии
обратного тягового тока в двухниточных рельсовых цепях**

Род тяги	Тип дроссель-трансформатора, трансформатора	Ток, обусловленный асимметрией обратного тягового тока, А, не более	Коэффициент асимметрии, не более, проц.
Электрическая тяга постоянного тока	ДТ-0,2 (0,6)-500	60,0	6
	ДТ-0,2 (0,6)-1000	120,0	
	ДТ-0,2 (0,4)-1500	180,0	
	ПОБС-2 (А, Г)	5,0	
Электрическая тяга переменного тока	ДТ-1-150	12,0	4
	ДТ-1-300	24,0	
	ДТ-0,6-500С	40,0	
	ПОБС-2 (А, Г)	5,0	

1.3. Дроссель-трансформаторы для участков с электрической тягой постоянного тока

На участках с электрической тягой постоянного тока применяют дроссель-трансформаторы следующих типов: ДТ-0,2-500, ДТ-0,2-1000, ДТ-0,6-500, ДТ-0,6-1000 и 2ДТ-0,2-500, 2ДТ-0,2-1000, 2ДТ-0,6-500, 2ДТ-0,6-1000.

Но уже применяются и новые типы малообслуживаемых дроссель-трансформаторов для участков с электротягой постоянного тока, разработанные ОАО «ЭЛТЕЗА», – это ДТЕ-0,2-500, ДТЕ-0,2-1000, ДТЕ-0,6-500 и ДТЕ-0,6-1000, которые имеют корпус из композитного стеклопластикового материала, не требующего периодического окрашивания. В новых конструкциях дроссель-трансформаторов типа ДТЕ вместо трансформаторного масла используется специальный качественный теплопроводящий компаунд, что исключает периодический контроль и существенно снижает эксплуатационные расходы.

На тех участках, где осуществляется движение тяжеловесных грузовых поездов и мотор-вагонных поездов повышенной мощности, а также на участках с горным профилем, рекомендуется применять дроссель-трансформаторы типа ДТ-0,6 1000, ДТ-0,2-1000, а также ДТ-0,4-1500, ДТ-0,2-1500.

Первые цифры в обозначении дроссель-трансформатора указывают его полное сопротивление переменному сигнальному току частотой 50 Гц (0,2, 0,4 или 0,6 Ом), вторые – номинальный тяговый ток, на который рассчитана основная обмотка (500, 1000 или 1500 А на каждый рельс).

В отличие от дроссель-трансформаторов, применяемых на участках с электротягой переменного тока, в дроссель-трансформаторах для участков с электрической тягой постоянного тока между сердечником и ярмом имеется воздушный зазор 1...2 мм, наличие которого обеспечивает стабильность сопротивления дроссель-трансформатора переменному сигнальному току, даже при подмагничивании его значительными тяговыми токами асимметрии (см. табл. 1).

1.4. Установка дроссель-трансформаторов на станциях и перегонах

Крайние выводы основных обмоток с рельсами и средние выводы между собой или рельсом соединяют перемычками из гибких медных (стальных или сталемедных) проводов в соответствии с требованиями нормативных документов [8]. В дроссель-трансформаторах сдвоенной установки типа 2ДТ-1-150 и 2ДТ-1-300 соединение средних точек основных обмоток выполнено внутри корпуса и выводится на общую наружную клемму (рис. 11).

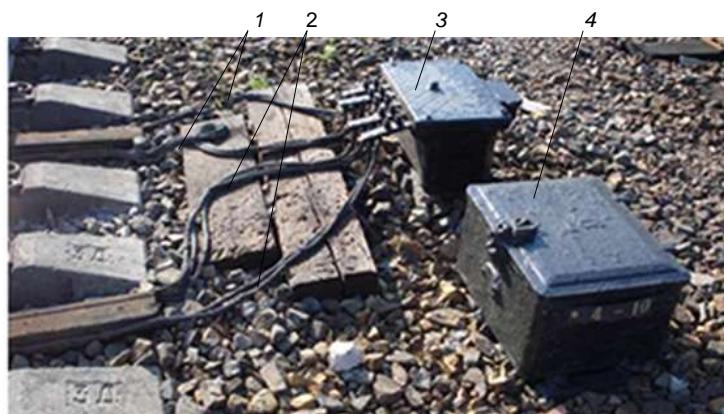


Рис. 11. Подключение путевых дроссель-трансформаторов к рельсам: 1, 2 – дроссельные перемычки первого и второго дроссель-трансформаторов; 3 – дроссель-трансформатор типа 2ДТ-1-300; 4 – путевой ящик

Дроссель-трансформаторы на перегонах располагают не ближе 900 мм от внутренней грани головки ближнего рельса и не менее чем на 100 мм ниже уровня верхней его головки (рис. 12, а).

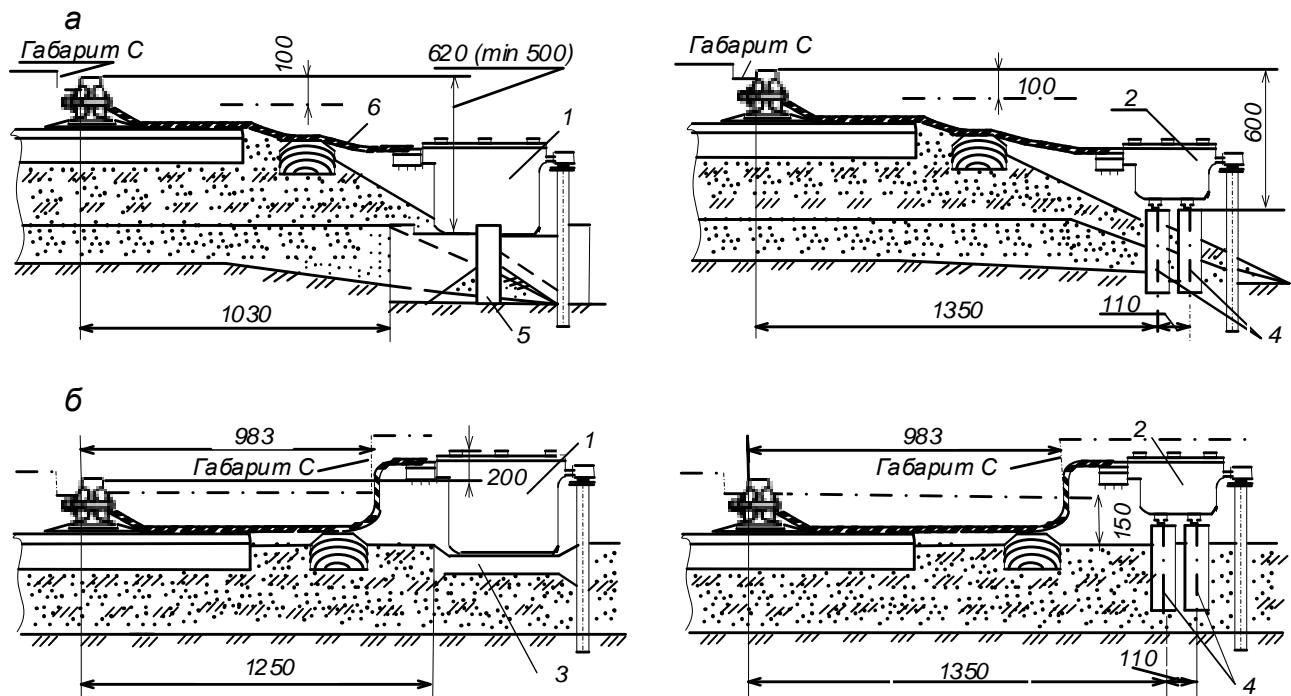


Рис. 12. Установка дроссель-трансформаторов на перегонах (а) и на станциях (б):
1 – дроссель-трансформатор ДТ-0,6 или ДТ-0,2; 2 – дроссель-трансформатор ДТ-1-150, 2ДТ-1-150, ДТ-1-300 или 2ДТ-1-300; 3 – основание-плита; 4 – основание путевого ящика; 5 – крестообразное основание; 6 – дроссельные перемычки

На станциях они могут возвышаться над уровнем верха головки рельса до 200 мм, при этом наиболее выступающие части дроссель-трансформаторов должны быть не ближе 983 мм от внутренней грани головки ближнего рельса (рис. 12, б).

2. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЧЕТЫРЁХПОЛЮСНИКА, ЗАМЕЩАЮЩЕГО ДРОССЕЛЬ-ТРАНСФОРМАТОР

При расчетах и анализе работы рельсовых цепей в основных режимах их работы определяют напряжение источника питания при заданном токе в путевом приёмнике или решают обратную задачу – определяют ток в путевом реле (в конце рельсовой линии) при известном напряжении источника питания. При этом отдельные звенья рельсовой цепи (аппаратура питающего и релейного конца, дроссель-трансформаторы, рельсовая линия и другие элементы электрических схем) удобно представить в виде

последовательного соединения четырёхполюсников, замещающих эти звенья. В дальнейшем под четырёхполюсником будем понимать электрическую схему, имеющую два входных и два выходных зажима.

Рассмотрим общий тип электрической схемы дроссель-трансформатора представленной эквивалентной схемой замещения (рис. 13).

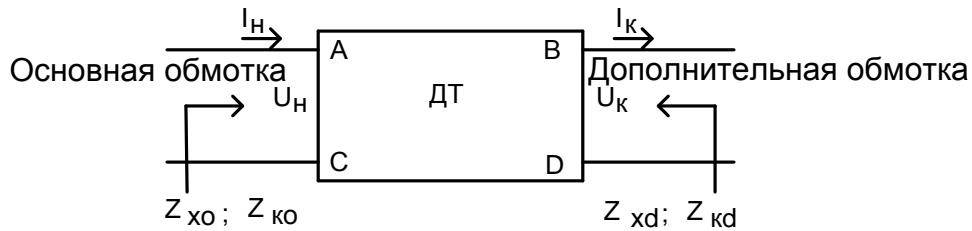


Рис. 13. Схема замещения дросель-трансформатора

Для любого пассивного (не содержащего эдс) линейного четырёхполюсника напряжение и ток на входе U_H и I_H связаны с напряжением и током на выходе U_K и I_K двумя уравнениями, которые принято называть *основными уравнениями четырёхполюсника*:

$$\begin{aligned} U_H &= AU_K + BI_K; \\ I_H &= CU_K + DI_K. \end{aligned} \quad (1)$$

В уравнениях (1) комплексные коэффициенты A, B, C, D зависят от внутренней структуры электрической схемы четырёхполюсника, от численных значений сопротивлений схемы и от частоты токов, протекающих по этим сопротивлениям. Для каждого четырёхполюсника коэффициенты могут быть определены расчётным или опытным путём. В нашем случае коэффициенты четырёхполюсника A, B, C, D , замещающего электрическую схему дросель-трансформатора, определим экспериментальным путём.

Известно несколько способов определения коэффициентов четырёхполюсника, основанных на использовании метода холостого хода и короткого замыкания со стороны основной и дополнительной обмоток дросель-трансформатора.

Более точный метод определения коэффициентов четырёхполюсника, замещающего дросель-трансформатор, основан на измерении модулей и аргументов входных сопротивлений со стороны (см. рис. 13):

– основной обмотки при разомкнутой дополнительной обмотке Z_{xo} ;

– основной обмотки при коротком замыкании дополнительной обмотки $Z_{\text{ко}}$;

– дополнительной обмотки при разомкнутой основной обмотке Z_{xd} .

Входные сопротивления четырёхполюсника Z_{xo} и $Z_{\text{ко}}$ можно определить по формуле

$$Z_{\text{xo}(\text{ко})} = U_{\text{H}}/I_{\text{H}} = (AU_{\text{K}} + BI_{\text{K}})/(CU_{\text{K}} + DI_{\text{K}}). \quad (2)$$

При определении Z_{xo} (дополнительная обмотка разомкнута) ток $I_{\text{K}} = 0$, поэтому $Z_{\text{xo}} = A/C$. При определении $Z_{\text{ко}}$ (дополнительная обмотка замкнута) напряжение $U_{\text{K}} = 0$, поэтому $Z_{\text{ко}} = B/D$.

При определении Z_{xd} исходят из того, что направление передачи энергии через четырёхполюсник изменяется на противоположное, а уравнения (1) принимают следующий вид

$$\begin{aligned} \dot{U}_{\text{K}} &= D\dot{U}_{\text{H}} - B\dot{I}_{\text{H}}; \\ \dot{I}_{\text{K}} &= C\dot{U}_{\text{H}} + A\dot{I}_{\text{H}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Входное сопротивление Z_{xd} определяют по формуле

$$Z_{\text{xd}} = U_{\text{K}}/I_{\text{K}} = (DU_{\text{K}} + BI_{\text{K}})/(CU_{\text{K}} + AI_{\text{K}}). \quad (4)$$

С изменением направления передачи энергии через четырёхполюсник коэффициенты A и D [формула (3)] меняются местами, поэтому при разомкнутой основной обмотке $I_{\text{H}} = 0$; $Z_{\text{xd}} = D/C$.

Для любого четырёхполюсника должно выполняться условие $AD - BC = 1$. Решив совместно уравнения $Z_{\text{xo}} = A/C$, $Z_{\text{xo}} = A/C$, $Z_{\text{xd}} = D/C$ относительно коэффициентов четырёхполюсника, получим следующие формулы для расчёта коэффициентов A , B , C , D :

$$\begin{aligned} A &= \frac{Z_{\text{xo}}}{\sqrt{Z_{\text{xd}}(Z_{\text{xo}} - Z_{\text{ко}})}}; \quad B = \frac{Z_{\text{xd}}Z_{\text{ко}}}{\sqrt{Z_{\text{xd}}(Z_{\text{xo}} - Z_{\text{ко}})}}; \\ C &= \frac{1}{\sqrt{Z_{\text{xd}}(Z_{\text{xo}} - Z_{\text{ко}})}}; \quad D = \frac{Z_{\text{xd}}}{\sqrt{Z_{\text{xd}}(Z_{\text{xo}} - Z_{\text{ко}})}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Уравнения (5) используются для определения коэффициентов четырёхполюсников, замещающих трансформаторы.

Измерения модулей и аргументов входных сопротивлений проводятся методом трёх вольтметров и амперметра в соответствии со схемой (рис. 14).

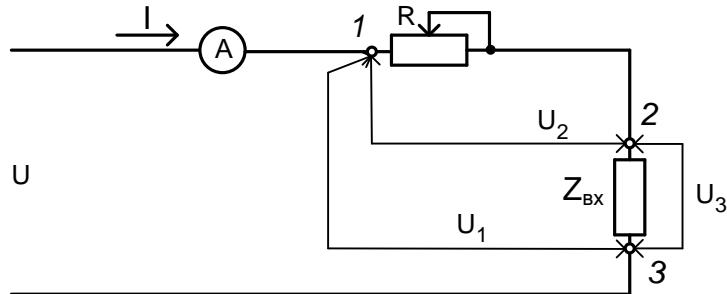


Рис. 14. Схема измерения параметров трансформатора: U – напряжение источника питания; R – дополнительное (активное) сопротивление; $Z_{\text{вх}}$ – входное сопротивление четырехполюсника

Реально сопротивления Z_{xo} и Z_{xd} равны десятым и сотым долям Ома, т.е. они соизмеримы с сопротивлением соединительных проводов схемы. Поэтому для повышения точности измерений напряжения U_1 , U_2 и U_3 измеряются относительно трех точек: 1, 2 и 3. При этом сопротивление соединительного провода между сопротивлением R и точкой 2 не будет влиять на сопротивление $Z_{\text{вх}}$ (рис. 14).

Последовательно с измеряемым входным сопротивлением $Z_{\text{вх}}$ включен дополнительный резистор R , сопротивление которого подобрано таким образом, чтобы $U_2 \approx U_3$, это повышает точность измерений. Модуль измеряемого входного сопротивления определяется по формуле

$$|Z_{\text{вх}}| = U_3/I. \quad (6)$$

Аргумент комплексного сопротивления $Z_{\text{вх}}$ можно также определить графически, путем построения векторной диаграммы напряжений (рис. 15) для участка электрической цепи между точками 1 и 3 (см. рис. 14).

Аргумент $\varphi_{Z_{\text{вх}}}$ измеряемого входного сопротивления $Z_{\text{вх}}$ определяется в соответствии с векторной диаграммой (рис. 15) по формуле

$$U_1^2 = U_2^2 + U_3^2 + 2U_1U_2\cos\varphi_{Z_{\text{вх}}}, \quad (7)$$

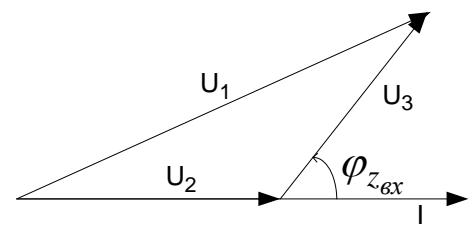


Рис. 15. Векторная диаграмма напряжений

откуда

$$\varphi_{Z_{\text{вх}}} = \arccos \frac{U_1^2 - U_2^2 - U_3^2}{2U_3U_2}. \quad (8)$$

При построении векторной диаграммы вектор напряжения U_2 откладывается по направлению вектора тока I , так как на активном сопротивлении R (см. рис. 14) векторы напряжения и тока совпадают по фазе. Так как ток I протекает последовательно через сопротивление R и входное сопротивление $Z_{\text{вх}}$, аргумент комплексного сопротивления $Z_{\text{вх}}$ ($\varphi_{Z_{\text{вх}}}$) характеризует угол сдвига фазы между вектором тока, протекающего через входное сопротивление и вектором напряжения, приложенного к этому сопротивлению. Из этого следует, что угол ($\varphi_{Z_{\text{вх}}}$) есть аргумент комплексного входного сопротивления $Z_{\text{вх}}$.

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА: Изучение конструкций и измерение электрических параметров дроссель-трансформаторов

Цель выполнения работы: 1) ознакомиться с конструкцией, принципом действия, схемами включения; 2) освоить методы измерения электрических параметров дроссель-трансформаторов, применяемых в устройствах железнодорожной автоматики и телемеханики.

3.1. Описание рабочего места

Рабочее место представляет собой стенд со следующими приборами, расположенными на нём:

- дроссель-трансформатор ДТ-1-150;
- преобразователь частоты ПЧ 50/25;
- мультиметр цифровой;
- амперметр цифровой;
- резисторы;
- монтажные провода.

При необходимости приборы в данной работе могут быть заменены на аналогичные.

ВНИМАНИЮ СТУДЕНТОВ!

При включении тумблера ВКЛ (штепсельной вилки в розетку) на обмотки преобразователя частоты и трансформатора ПРТА подается напряжение 220 В.

ВСЕ ВЫВОДЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ И ТРАНСФОРМАТОРА НЕ ИЗОЛИРОВАНЫ, ПОЭТОМУ ТРЕБУЮТ ОСОБОЙ ОСТОРОЖНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ.

Напряжение 220 В включается только с разрешения преподавателя.

Будьте внимательны при выборе диапазона измеряемых величин на измерительных приборах.

3.2. Порядок и методика выполнения лабораторной работы

1. Изучите назначение, конструкции и схемы соединения обмоток, принцип действия, методику измерения электрических параметров дроссель-трансформаторов, применяемых в устройствах железнодорожной автоматики и телемеханики (см. разделы 1 и 2 настоящих методических указаний и рекомендуемую к ним литературу [1, 3, 4] по библиографическому списку).

2. Определите входные сопротивления Z_{xo} и Z_{ko} дроссель-трансформатора ДТ-1-150 в режимах холостого хода и короткого замыкания со стороны основной и дополнительной обмоток на частоте 25 Гц.

2.1. Для определения сопротивлений Z_{xo} , Z_{ko} соберите схему (рис. 16).

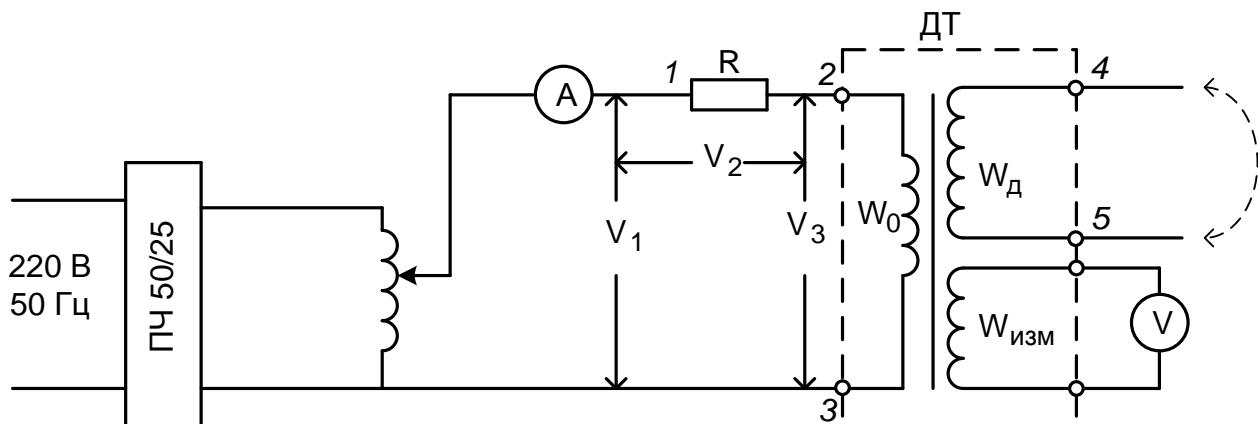


Рис. 16. Схема измерения входного сопротивления дроссель-трансформатора (Z_{ko} – при коротком замыкании и Z_{xo} – при холостом ходе со стороны дополнительной обмотки): W_0 – основная обмотка; W_d – дополнительная обмотка; $W_{изм}$ – измерительная обмотка

2.2. Подберите сопротивления R (ориентировочно 0,5 Ом) и напряжения U_1 такими, чтобы при определении Z_{xo} напряжения U_3 на основной обмотке W_0 и U_2 на активном сопротивлении R они были близки к напряжению, равному 0,4 В, которое соответствует фактическому на-

пряжению в реальных условиях эксплуатации дроссель-трансформатора. Произведите измерения напряжений U_1 ; U_2 ; U_3 и тока I . Результаты измерений занести в табл. 2.

2.3. Определите входное сопротивление дроссель-трансформатора со стороны основной обмотки Z_{xo} (клеммы 2, 3) при разомкнутой его дополнительной обмотке (клеммы 4, 5).

Модуль комплексного входного сопротивления определите по формуле

$$|Z_{xo}| = \frac{U_3}{I}, \quad (9)$$

а аргумент комплексного входного сопротивления Z_{xo} по формуле

$$\varphi_{Z_{bx}} = \arccos \frac{U_1^2 - U_2^2 - U_3^2}{2U_2U_3} \quad (10)$$

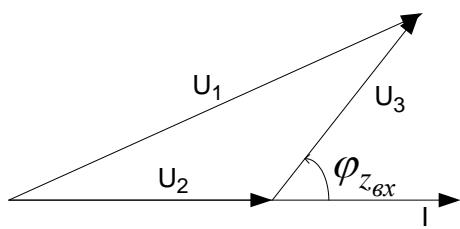


Рис. 17. Векторная диаграмма напряжений

или графическим путем, согласно векторной диаграмме (рис. 17), построенной на основании выполненных измерений напряжений U_1 ; U_2 ; U_3 . При построении векторной диаграммы напряжение U_2 откладывается по направлению вектора тока I , так как на активном сопротивлении ток и напряжение совпадают по фазе.

2.4. Определите входное сопротивление дроссель-трансформатора со стороны основной обмотки Z_{ko} (клеммы 2, 3) при замкнутой его дополнительной обмотке (клеммы 4, 5). Для определения Z_{ko} необходимо установить перемычку между выводами 4 и 5 дроссель-трансформатора (см. рис. 13). Произведите измерения напряжений U_1 , U_2 , U_3 и тока I . По результатам измерений определите модуль и аргумент сопротивления Z_{ko} , по формулам (9) и (10) или путем построения векторной диаграммы. Результаты расчётов и измерений занесите в табл. 2.

Таблица 2
Результаты измерений для определения коэффициентов четырехполюсника трансформатора

Режим измерений	R, Ом	U_1 , В	U_2 , В	U_3 , В	I, А	$ Z $	φ_Z	Схема измерения
Z_{xo} – при разомкнутой дополнительной обмотке	0,5							
Z_{ko} – при коротком замыкании дополнительной обмотки	0,5							
Z_{xd} – при разомкнутой основной обмотке	1,5							

2.5. Определите модуль и аргумент комплексного входного сопротивления со стороны дополнительной обмотки Z_{x_d} при разомкнутой основной обмотке. Для этого соберите схему, приведённую на рис. 18.

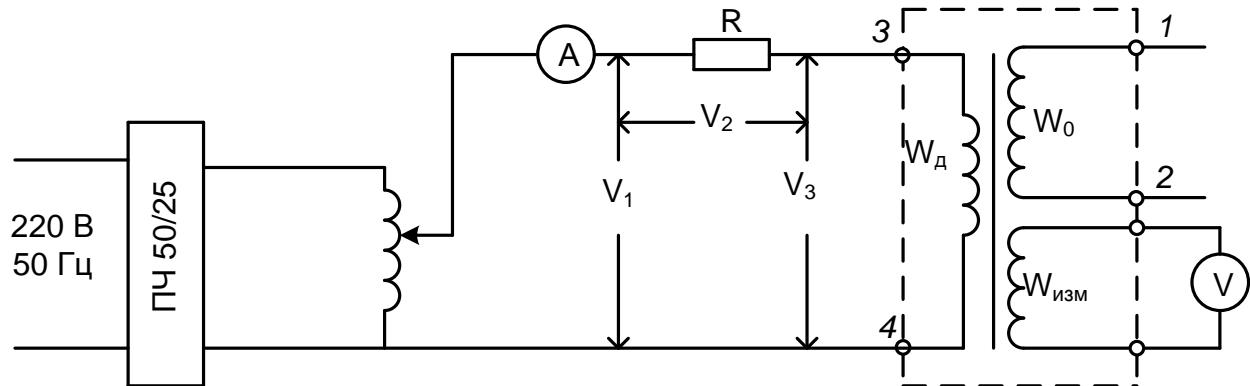


Рис. 18. Схема измерения входного сопротивления дроссель-трансформатора (Z_{x_d} – при холостом ходе со стороны основной обмотки): W_0 – основная обмотка; W_d – дополнительная обмотка; $W_{изм}$ – измерительная обмотка

При определении Z_{x_d} напряжения U_2 и U_3 на измеряемых сопротивлениях должны быть близкими к напряжению 1,4 В, поскольку эта величина напряжения соответствует фактическому напряжению в реальных условиях эксплуатации дроссель-трансформатора. Сопротивление R необходимо установить ориентировочно, равным 1,5 Ом. Произвести измерения напряжений U_1 ; U_2 ; U_3 и тока I . По результатам измерений и формулам (9), (10) определите модуль и аргумент сопротивления Z_{ko} . Результаты расчётов измерений занесите в табл. 2.

2.6. На основании результатов, полученных в процессе выполнения пунктов 2 и 3 по формулам (5) произведите расчёт коэффициентов четырёхполюсника, замещающего дроссель-трансформатор. Результаты расчётов занесите в табл. 3 и сравните с нормативными значениями.

Таблица 3
Результаты измерений коэффициентов дроссель-трансформатора

Определяемые параметры дроссель-трансформатора	A	B	C	D
Значения коэффициентов ДТ (по результатам измерений)				
Значения коэффициентов ДТ (по паспортным данным)				

Примечание. Коэффициенты четырёхполюсника дроссель-трансформатора по модулю и аргументу при: установке его на релейном конце рельсовой цепи, при частоте сигнального тока 25 Гц, напряжении на основной обмотке 0,3 В и отсутствии подмагничивания имеют следующие значения и являются справочными величинами, необходимыми для расчёта рельсовой цепи [3]: $A_{dp} = 0,338e^{j0^{\circ}37'}$; $B_{dp} = 0,078e^{j48^{\circ}0'}$; $C_{dp} = 0,433e^{j72^{\circ}13'}$; $D_{dp} = 3,07e^{-j1^{\circ}13'}$.

Отчёт должен содержать

1. Наименование и цель работы.
2. Схемы соединения обмоток дроссель-трансформаторов следующих типов: ДТ-1-150; ДТ-1-300; ДТ-1МГ-150; ДТ-1-МГ-300; 2ДТ-1-150; 2ДТ-1-300.
3. Краткое описание конструкций и электрические параметры дроссель-трансформаторов.
4. Схему пропуска тягового тока и сигнального тока в рельсовых цепях.
5. Схемы измерения коэффициентов четырехполюсника, замещающего дроссель-трансформатор.
6. Результаты экспериментальных измерений коэффициентов четырёхполюсника, замещающего дроссель-трансформатор.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите область применения дроссель-трансформаторов, типы и принцип работы.
2. Каковы методы определения коэффициентов дроссель-трансформаторов?
3. Для чего предназначены дроссель-трансформаторы?
4. Что обозначает первая цифра в аббревиатуре наименования типа дроссель-трансформатора (например, ДТ-1-150)?
5. Что обозначает вторая цифра в аббревиатуре наименования типа дроссель-трансформатора (например, ДТ-1-150)?
6. При каком виде электротяги применяются дроссель-трансформаторы следующих типов: ДТ-1-150, ДТ-1-250, ДТ-1-300?
7. В чём существенное отличие дроссель-трансформаторов типа ДТ-1-150, ДТ-1-250, ДТ-1-300 от дроссель-трансформаторов типа ДТ-1-МГ-150, ДТ-1-МГ-250, ДТ-1-МГ-300?
8. Чем отличаются дроссель-трансформаторы типа ДТ-1-150, ДТ-1-250 и ДТ-1-300 от дроссель-трансформаторов типа 2ДТ-1-150, 2ДТ-1-250 и 2ДТ-1-300?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с Программой повышения массы и длины грузовых поездов на ряде направлений сети железных дорог России ожидается не только существенное увеличение грузопотоков, что потребует организации движения поездов массой 6000...9000 тонн, а на отдельных специализированных линиях поездов массой от 10...12 тысяч тонн и до 18 тысяч тонн, но и значительное возрастание энергопотребления [5].

Поскольку существующие системы тягового электроснабжения не всегда в состоянии обеспечить передачу электроэнергии необходимой мощности для поездов повышенной массы, то предстоит осуществить модернизацию и усиление устройств и элементов обратной тяговой сети и систем тягового снабжения, в первую очередь на полигоне вождения грузовых составов массой 6000...12000 тонн, а также на участках с перспективным повышением скоростей и интенсивностью движения пассажирских и пригородных поездов.

Практика показывает, что дальнейшее улучшение работы СЖАТ и тягового электроснабжения требует повышения качества функционирования всех элементов, а именно: дроссель-трансформаторов, дроссельных и междупутных перемычек, стыковых соединителей, заземляющих устройств, изолирующих стыков, а также отсасывающих линий и других элементов тяговой сети [6].

Только при комплексном решении всех вопросов, относящихся к построению и содержанию напольной инфраструктуры, можно не только гарантировать, но и без сбоев в движении обеспечить необходимую скорость движения поездов с установленными интервалами.

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кириленко А.Г. Электрические рельсовые цепи : учеб. пособие / А.Г. Кириленко, Н.А. Пельменева. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2006. – 94 с. : ил.
2. Дмитренко, И.Е. Техническая диагностика и автоконтроль работоспособности устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : учеб. пособие / И.Е. Дмитренко, В.М. Алексеев. – М. : РГТУПС, 2003. – 163 с.
3. Сороко, В.И. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики : справочник : в 3 кн. Кн. 1 и 2 / В.И. Сороко, В.А. Милюков. – 3-е изд. – М. : НПФ «ПЛАНЕТА», 2000.
Кн. 1. – 960 с.
Кн. 2. – 980 с.
4. Устройства и элементы рельсовых линий и тяговой рельсовой сети : технические требования и нормы содержания : [утв. распоряжением ОАО «РЖД» № 651 от 03 апр. 2012 г.]. – М., 2012. – На правах рукописи.
5. Котельников, А.В. Электрификация железных дорог: мировые тенденции и перспективы / А.В. Котельников. – М. : Интекст, 2002. – 104 с.
6. Кириленко, А.Г. Исследования работы рельсовых цепей на участках с тяжеловесным движением / А.Г. Кириленко, Ю.В. Кузнецов, Д.А. Фоминов // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 10. – С. 14–17.
7. Напольное оборудование устройств СЦБ. ТО-139-2009: Типовые материалы для проектирования 410905-ТМП : [утв. ОАО «Росжелдорпроект» 30 нояб. 2009 г. ОАО «Росжелдорпроект» филиал «Гипротранссигналсвязь»]. – СПб. – 122 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ДРОССЕЛЬ-ТРАНСФОРМАТОРОВ, ИХ НАЗНАЧЕНИЕ, КОНСТРУКЦИИ	4
1.1. Канализация тягового тока на участках железных дорог с рельсовыми цепями	4
1.2. Дросель-трансформаторы для участков с электрической тягой переменного тока	8
1.3. Дросель-трансформаторы для участков с электрической тягой постоянного тока	14
1.4. Установка дросель-трансформаторов на станциях и перегонах	15
2. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЧЕТЫРЁХПОЛЮСНИКА, ЗАМЕЩАЮЩЕГО ДРОССЕЛЬ-ТРАНСФОРМАТОР	16
3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА: Изучение конструкций и измерение электрических параметров дросель-трансформаторов	20
3.1. Описание рабочего места	20
3.2. Порядок и методика выполнения лабораторной работы	21
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	24
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	25
РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	26

Учебное издание

Кириленко Александр Георгиевич

**ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ И ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ДРОССЕЛЬ-ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Методические указания по выполнению лабораторной работы

Редактор Э.Г. Долгавина
Технический редактор С.С. Заикина

План 2016 г. Поз. 2.15. Подписано в печать 11.01.2016.
Уч.-изд. л. 1,7. Усл. печ. л. 1,6. Зак. 2. Тираж 45 экз. Цена 175 руб.

Издательство ДВГУПС
680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, 47.