

УДК 656.259.12

**А. Д. Манаков, д-р техн. наук,
А. Г. Кабецкий,
А. А. Трошин,
Ю. М. Пашаев**

Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»,
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ВЛИЯНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ТЯГОВОЙ СЕТИ ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА НА РАБОТУ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ С РЕЛЕ ДСШ-2

Рассмотрены коммутационные процессы в тяговой сети Петербургского метрополитена при испытании современного электроподвижного состава «Юбилейный» с частотным асинхронным и коллекторным тяговым электроприводами. Определены характеристики тягового тока в различных режимах ведения состава. Исследовано влияние коммутационных процессов в тяговой сети на работу резонансных рельсовых цепей с реле ДСШ-2.

коммутационные процессы; резонансная рельсовая цепь; провалы напряжения; асимметрия тягового тока

Введение

Рост пассажиропотока в петербургском метро связан с увеличением количества вагонов в электроподвижном составе (ЭПС) с 6 до 8, сокращением межпоездного интервала, увеличением ускорений поездов при разгоне и, как следствие, ростом величины тягового тока, потребляемого ЭПС. Рельсы катания метро используются для пропускания обратного тягового тока и сигнального тока рельсовых цепей. Рельсовые цепи являются основным элементом устройств, которые обеспечивают интервальное регулирование и безопасность движения поездов. Широкое применение в государственном унитарном предприятии «Петербургский метрополитен» резонансных рельсовых цепей на основе реле ДСШ-2 требует обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) ЭПС и рельсовых цепей с реле ДСШ-2.

Исследованиям в области устойчивости работы рельсовых цепей, в том числе ЭМС ЭПС и рельсовых цепей, посвящена не одна научная публикация [1–11]. В работе авторов данной статьи [12] показано, что на величину провалов напряжения на путевом реле ДСШ-2 свободной рельсовой цепи влияют режимы ведения ЭПС «Ход 2» и «Ход 3» при разгоне электропоезда, когда

происходит отбор максимальной мощности, и при отключении тяги электропоезда, когда возникают высокие производные изменения тягового тока.

Целью данной работы является исследование влияния коммутационных процессов в тяговой сети на работу резонансных рельсовых цепей с реле ДСШ-2.

1 Система электроснабжения Петербургского метрополитена

В Петербургском метрополитене применяется система электроснабжения постоянного тока с номинальным напряжением 750 В на токоприемнике вагона. Эта система состоит из тяговых подстанций и тяговой сети. На тяговых подстанциях напряжение 6 или 10 кВ переменного тока преобразуется в электроэнергию постоянного тока с номинальным напряжением 825 В. Тяговая сеть обеспечивает подвод электроэнергии к поездам посредством токопроводов, расположенных вдоль электрифицированных путей [13].

В качестве токопроводов положительной полярности используется стальной контактный рельс, расположенный сбоку от ходовых рельсов и соединенный с шиной «плюс» распределительного устройства тяговой подстанции. Контактные рельсы вместе с питающими линиями и аппаратами, осуществляющими подвод тока к поездам, образуют контактную сеть. Ходовые рельсы вместе с отсасывающими линиями и оборудованием, обеспечивающим протекание тока по рельсам и возврат его на подстанцию, образуют отсасывающую сеть. Контактная и отсасывающая сети составляют тяговую сеть метрополитена. Тяговая сеть должна обладать возможностями резервирования при нормальных и вынужденных режимах.

В процессе эксплуатации на подвижном составе и на тяговых подстанциях происходят коммутационные переключения, которые сопровождаются перенапряжениями. Эти перенапряжения должны быть учтены при определении запаса электрической прочности элементов тяговой сети и при обеспечении ЭМС с устройствами сигнализации централизации и блокировки (СЦБ), которые обеспечивают безопасность движения поездов.

В Петербургском метрополитене используется децентрализованная (распределенная) система электроснабжения. Тяговые подстанции размещают под землей непосредственно на станциях и объединяют с понизительными подстанциями, образуя совмещенные тягово-понижительные подстанции (СТП).

Контактный рельс разделяют на зоны питания воздушными промежутками, не перекрываемыми токоприемниками вагона. В каждую зону подается напряжение от двух смежных тяговых подстанций – двухстороннее (параллельное) питание. При такой схеме питания происходит распределение токов между двумя тяговыми подстанциями, поддерживается стабильный уровень

напряжения на токоприемниках вагонов. Секционирование контактного рельса дает возможность снять напряжение с отдельной зоны каждого пути и сохранить питание всех других зон по обоим путям.

Для контактного рельса предусматривается повышенный запас электрической прочности. В узлах крепления (подвешивания) контактного рельса применяют изоляторы, имеющие сухоразрядное напряжение 20–25 кВ и мокроразрядное 10–15 кВ. Кабели питающих линий и перемычек, используемые в контактной сети, имеют номинальное напряжение 3 кВ и выбраны с учетом перенапряжений, возникающих при переходных и коммутационных процессах. На тяговых подстанциях в устройствах положительной и отрицательной полярностей используется оборудование с номинальным напряжением 6 или 10 кВ. В линиях отсоса тягового тока и междупутных перемычках, а также для различных соединений в рельсовой сети применяют провода и кабели на номинальное напряжение 1 кВ.

2 Аварийные и коммутационные процессы в тяговой сети

Схема участка Петербургского метрополитена с рельсовыми цепями на основе реле ДСШ-2 показана на рис. 1, где В – выпрямитель; АВ – автоматический выключатель; ТБ – тиристорный блок; ТД – тяговый двигатель электропоезда; ω – угловая частота вращения оси ТД; ДТ1–ДТ6 – дроссель-трансформаторы типа ДТМ-0,17-1000 (ДТМ-0,17-1000М); ИС – изолирующий стык; РЦ – рельсовая цепь; ПКРЦ – комплект аппаратуры питающего конца рельсовой цепи; РКРЦ – комплект аппаратуры релейного конца рельсовой

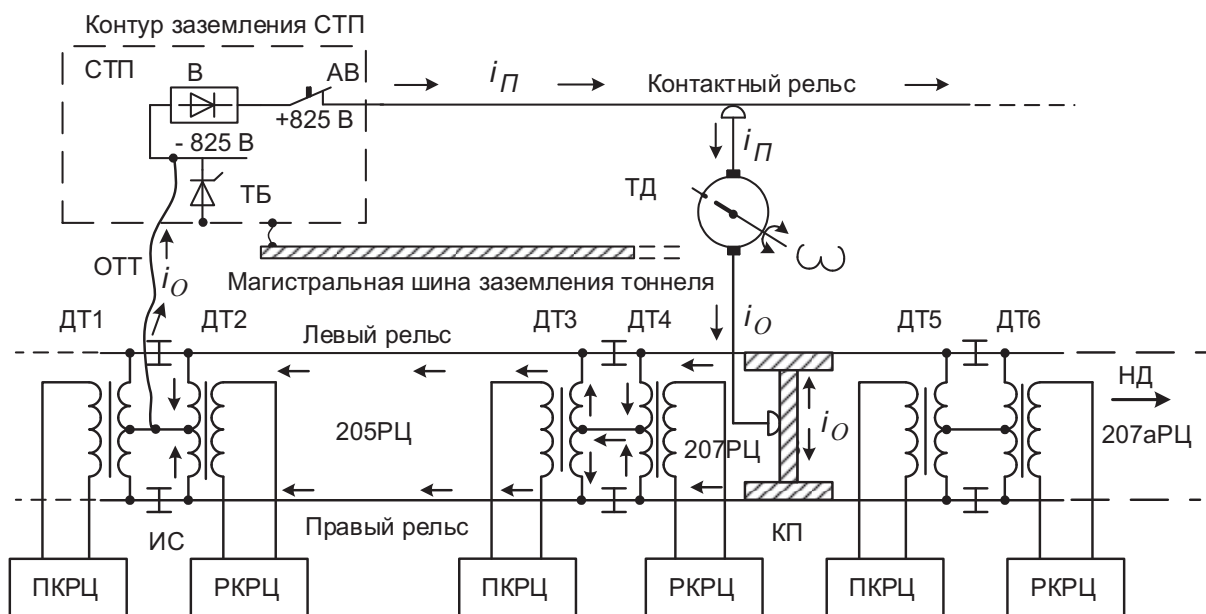


Рис. 1. Схема участка Петербургского метрополитена

цепи; $i_{\text{п}}$ – прямой тяговый ток; $i_{\text{о}}$ – обратный тяговый ток; ОТТ – отсос тягового тока; КП – колесная пара последнего вагона электропоезда; НД – направление движения электропоезда; 205РЦ – рельсовая цепь номер 205.

Известно, что между ходовыми рельсами и землей при движении поездов возникает разность потенциалов, вызывающая появление блуждающих токов. Одной из мер по ограничению этих токов является увеличение переходного сопротивления между рельсами и землей. Достаточная изоляция ходовых рельсов достигается правильной укладкой рельсов на деревянные или железобетонные шпалы. Дополнительным изолирующим звеном в опорных узлах являются резиновые прокладки и втулки из полимерных материалов.

Разность потенциалов между цепями отрицательной полярности СТП – 825 В («минус» 825 В) и «землей» в нормальном эксплуатационном режиме не превышает 65 В [2, с. 227]. При коротком замыкании (КЗ) на кабельной перемычке или тоннельной конструкции разность потенциалов поднимается до 250–500 В. Ток КЗ оказывает термическое и динамическое воздействие, а также создает разности потенциалов между элементами, по которым он протекает. Защита от токов КЗ ограничивает значение этого тока и сокращает время его протекания.

В Петербургском метрополитене применяется потенциально-токовая защита тоннельных конструкций и кабельных перемычек от токов КЗ. Для осуществления такой защиты на всех СТП устанавливается ТБ (см. рис. 1). Аноды тиристоров ТБ подключаются к контуру заземления СТП, а катоды – к шине «минус» 825 В. Напряжение срабатывания ТБ выбирается в диапазоне 150–200 В. В цепи ТБ устанавливается токовое реле для фиксации срабатывания блока в случае повреждений на кабельных перемычках или тоннельных конструкциях.

В момент КЗ, например, на кабельной перемычке потенциал +825 В («плюс» 825 В) оказывается на броне кабеля. Этот потенциал через магистральную шину заземления связан с контуром заземления СТП. Поскольку параллельно магистральной шине заземления включена броня большого числа силовых кабелей и кабелей связи, а также трубы водопровода и т. п., продольное сопротивление магистральной шины заземления оказывается много меньше переходного сопротивления между шиной заземления и ходовыми рельсами. Вследствие этого на контуре заземления подстанции оказывается значительный положительный потенциал, а разность потенциалов между контуром заземления подстанции и «минус» 825 В превышает порог срабатывания по напряжению ТБ. При этом большая часть тока КЗ возвращается к шине «минус» 825 В через ТБ и только незначительная часть – по кабелям отсоса.

По данным службы электроснабжения Петербургского метрополитена, ток КЗ в тяговой сети достигает величины 20 кА. На рис. 2 и 3 показаны осциллограммы напряжения и тока в тяговой сети в момент КЗ.

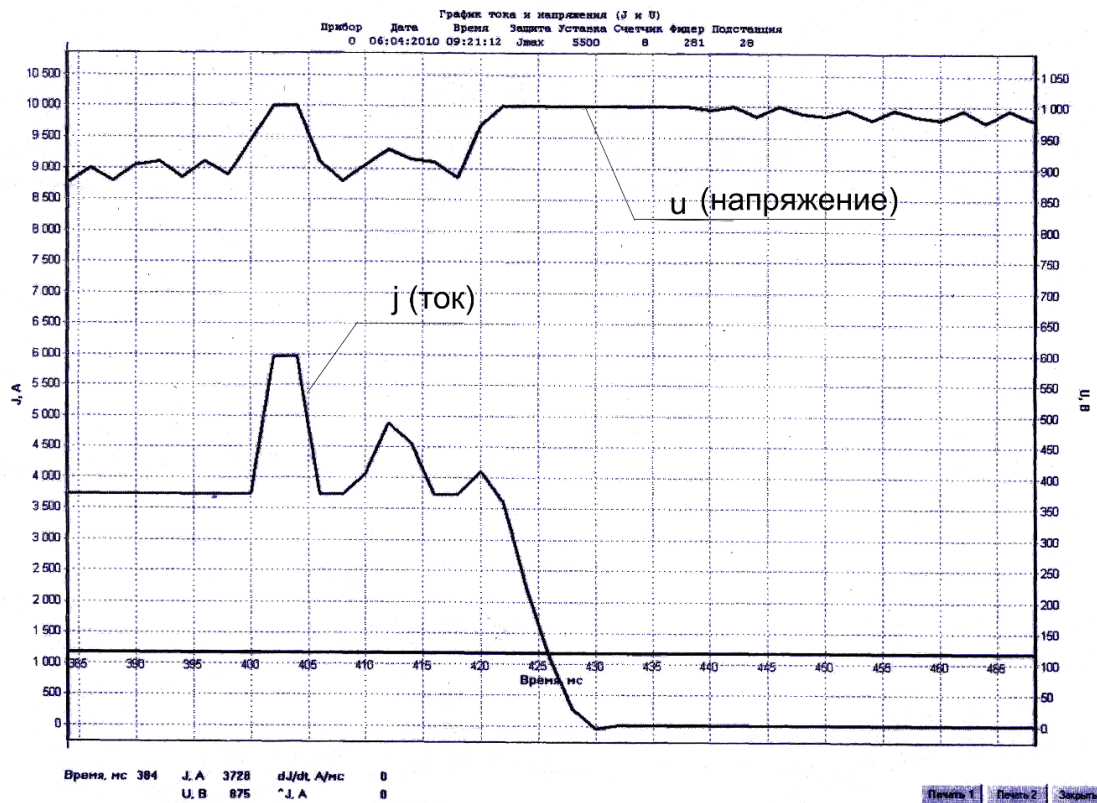


Рис. 2. Осциллограммы тока и напряжения при КЗ в тяговой сети (датчик напряжения установлен между сетью питания и автоматическим выключателем)

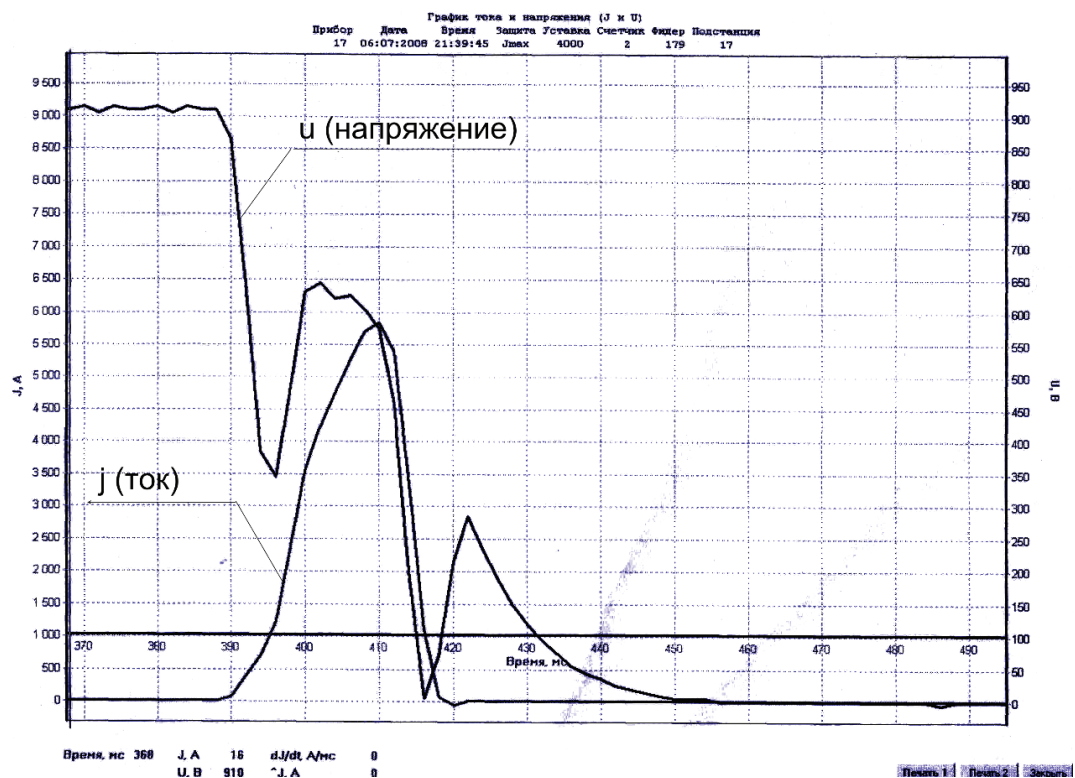


Рис. 3. Осциллограммы тока и напряжения при КЗ (датчик напряжения установлен со стороны нагрузки за автоматическим выключателем тока)

Из рис. 2 и 3 следует, что полное время отключения тока короткого замыкания составляет 30 мс. Скорость изменения тока в момент отключения тока КЗ может достигать 916 А/мс.

Согласно данным измерения токов вблизи станции «Парнас» Петербургского метрополитена [14] характер нагрузки СТП импульсный. Время существования пиковых значений тока – порядка 3–10 с. При этом суммарный ток достигает значений 4,5–5,5 кА. Интервал между пиковыми значениями составляет 20–100 с. События наложения трех и более составов в качестве токовой нагрузки СТП станции «Парнас» встречаются в среднем не чаще, чем один раз в 3 минуты при токе 4000 А и один раз в 10–15 минут при токе свыше 5000 А. Наибольшее число событий приходится на токи более 2000 А.

Были проведены испытания ЭПС «Юбилейный» на базе вагонов моделей 81-722, 81-723 и 81-724. Вагоны моделей 81-722, 81-723 оборудованы асинхронным тяговым электроприводом Hitachi, позволяющим реализовывать следящее рекуперативно-реостатное торможение. На вагонах установлен комплект статических преобразователей «Чергос», обеспечивающих электрообеспечение собственных нужд вагонов.

На рис. 4 показана осциллограмма тока, потребляемого ЭПС в режиме разгона, выбега и электродинамического торможения.

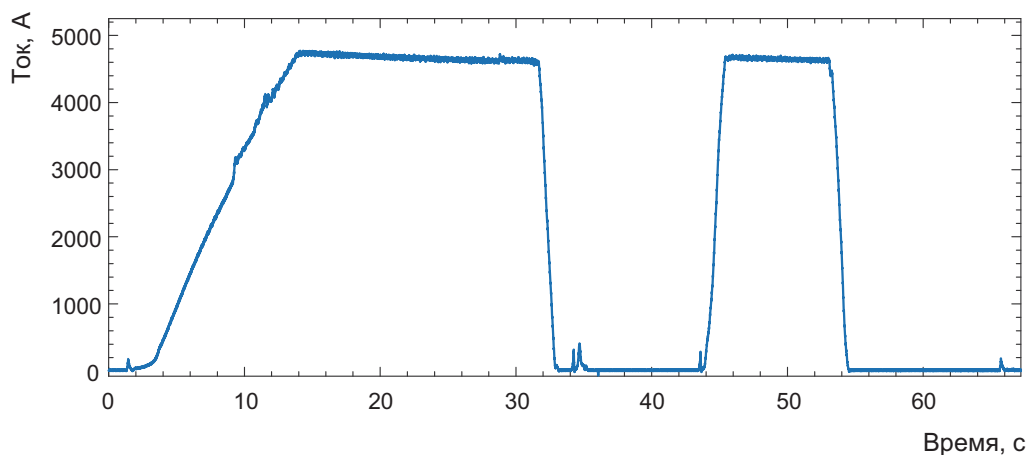


Рис. 4. Изменение тока в тяговой сети в режиме разгона, выбега и электродинамического торможения ЭПС

Разгон проводился из неподвижного состояния до максимальной эксплуатационной скорости, равной 80 км/ч, на максимальной скорости (установка контроллера в режим 100% относительной тяги). По достижении скорости 80 км/ч тяга была отключена и электропоезд двигался в режиме выбега приблизительно 10–20 с. После этого ЭПС опять разогнался до скорости 80 км/ч (по причине потери скорости на режиме выбега). Затем было включено максимальное электродинамическое торможение (установка контроллера в режим «минус» 100% относительной тяги) и ЭПС замедлялся до полной остановки.

На рис. 5 представлена осциллограмма тока ЭПС при повторных переключениях с режима выбега в режим разгона на максимальной скорости.

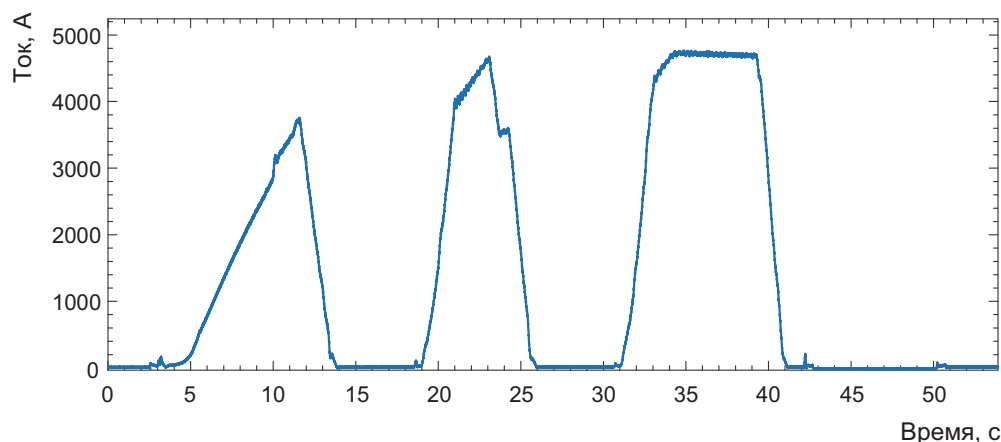


Рис. 5. Изменение тока в тяговой сети при повторных переключениях с режима выбега в режим разгона ЭПС

Испытательный заезд состоял из разгона с неподвижного состояния на максимальной мощности до скорости 35 км/ч, отключения тяги и движения в режиме выбега в течение приблизительно 5 с, повторного подключения тяги и разгона на максимальной мощности до скорости 45 км/ч, повторного отключения тяги и движения на режиме выбега в течение приблизительно 5 с, подключения тяги и разгона на максимальной мощности до скорости 55 км/ч и остановки.

На рис. 6 изображена осциллограмма тока при проезде ЭПС токораздела в режиме тяги.

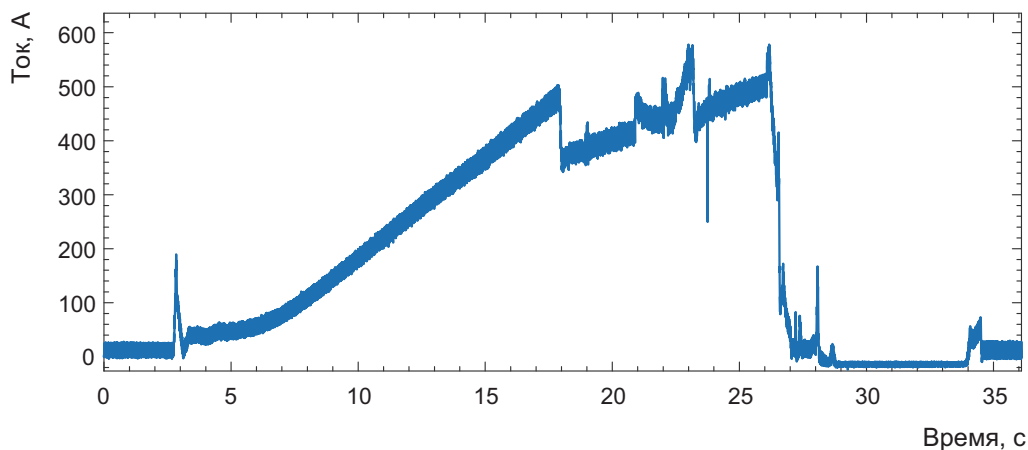


Рис. 6. Изменение тока в тяговой сети при проезде ЭПС токораздела в режиме тяги

Испытательный заезд состоял из свободного разгона ЭПС до скорости приблизительно 40 км/ч, подхода ЭПС в непосредственную близость токораздела, прохода токораздела при 30% относительной тяги и остановки.

На рис. 7 представлена осциллограмма тока при проезде ЭПС токораздела в режиме электродинамического торможения.

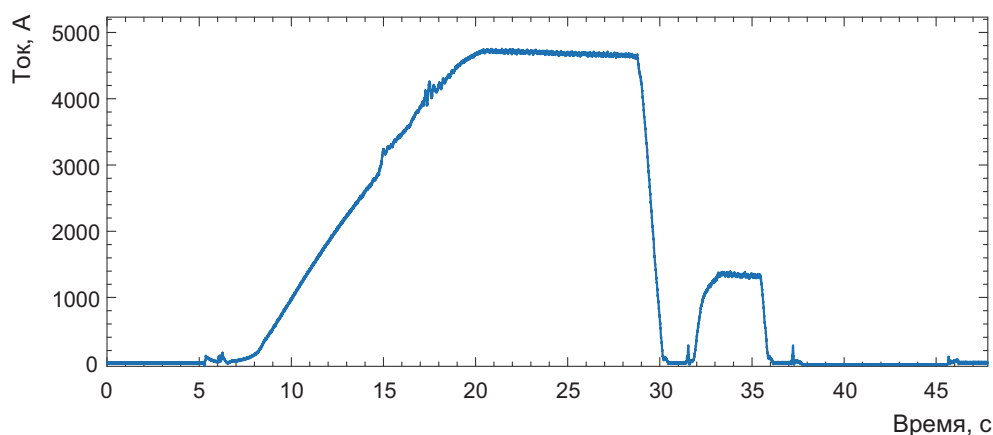


Рис. 7. Изменение тока в тяговой сети при проезде ЭПС токораздела в режиме электродинамического торможения

Во время испытания ЭПС разгонялся до скорости приблизительно 50–60 км/ч, подходил в непосредственную близость к токоразделу и двигался по токоразделу при включении максимального электродинамического торможения и остановки.

На рис. 8 приведена осциллограмма тока при разгоне ЭПС на подъеме.

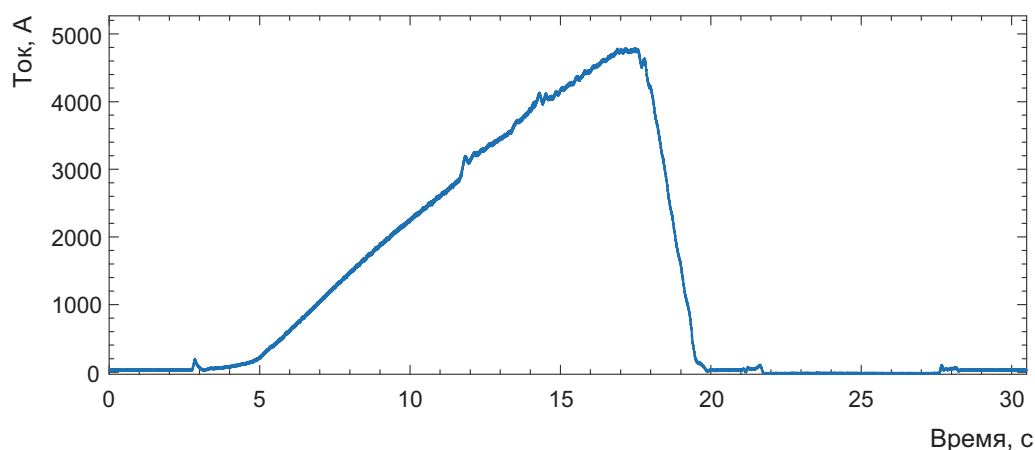


Рис. 8. Изменение тока в тяговой сети в режиме разгона на подъеме

Испытательный заезд состоял из разгона с неподвижного состояния на подъеме, равном приблизительно 40%, на максимальной мощности до скорости приблизительно 40 км/ч и остановки.

Был проведен анализ осциллограмм, представленных на рис. 4–8, и определены скорости нарастания импульсов тока по переднему фронту и скорости спада импульсов тока по заднему фронту. Результаты анализа представлены в табл. 1.

Таблица 1. Значения скорости изменения токов в тяговой сети при испытании ЭПС «Юбилейный»

Номер рисунка	Номер импульса (слева направо)	Скорость нарастания тока по переднему фронту, А/мс	Скорость спада тока по заднему фронту, А/мс	Время действия скорости изменения тока, с	
				Передний фронт	Спад по заднему фронту
4	1	0,43	3,72	10,39	1,21
	2	3,11	4,05	1,51	1,42
5	1	1,16	1,83	7,07	1,26
	2	1,95	2,63	2,03	1,49
	3	2,18	3,02	2,02	1,96
6	1	–	5,77	–	0,052
7	1	0,4	3,56	2,57	1,00
8	1	0,39	2,71	2,04	1,88

Анализ приведенных в табл. 1 данных показывает, что наибольшая скорость изменения тягового тока происходит по заднему фронту (5,77 А/мс) при проезде ЭПС токораздела в режиме тяги (см. рис. 6). Длительность спада тока составляет 52 мс. В это время укладываются 2,5 периода сигнального тока частотой 50 Гц, что может привести к срыву резонанса в рельсовой цепи с реле ДСШ-2. При штатной работе ЭПС должен проходить токораздел по инерции и режим тяги при проезде токораздела можно считать редким случаем.

Вторую группу примерно равных скоростей спада тока по заднему фронту (4,05 А/мс (рис. 4, импульс 2); 3,72 А/мс (рис. 4, импульс 1); 3,56 А/мс (рис. 7); 3,02 А/мс (рис. 5, импульс 3); 2,71 А/мс (рис. 8)) создают моменты отключения тяги поездов в различных режимах ведения ЭПС.

Третью группу скоростей нарастания тока по переднему фронту (3,11 А/мс (рис. 4, импульс 2); 2,18 А/мс (рис. 5, импульс 3); 1,95 А/мс (рис. 5, импульс 2)) создают моменты повторного подключения тяги во время движения ЭПС. Режимы отключения тяги и повторного подключения тяги необходимо учитывать при разработке мер по обеспечению ЭМС электроподвижного состава и резонансных рельсовых цепей с реле ДСШ-2.

3 Исследование влияния режимов ведения ЭПС на работу резонансной рельсовой цепи с реле ДСШ-2

Проведены исследования влияния режимов ведения ЭПС с коллекторным тяговым электроприводом на базе вагонов моделей 81-717.5 и 81-714.5 на работу резонансной рельсовой цепи с реле ДСШ-2.

Задача исследования состояла в определении влияния асимметрии тягового тока в полуобмотках основной обмотки дроссель-трансформатора (ДТЗ) (см. рис. 1) резонансной рельсовой цепи при различных режимах ведения ЭПС с коллекторным тяговым электроприводом. Исследование проводилось на питающем конце 205РЦ.

В исходном состоянии ЭПС стоял на станции, при этом последняя колесная пара находилась на 205РЦ (см. рис. 1). При отправлении ЭПС со станции задавался режим ведения ЭПС: «Ход 1», «Ход 2» и «Ход 3». Для измерения тока в полуобмотках ДТЗ на выводы полуобмоток основной обмотки дроссель-трансформатора устанавливались датчики тока Д1 и Д2 типа ДТХ-300Ж на основе датчиков Холла. Схема расположения датчиков тока на полуобмотках основной обмотки ДТЗ на питающем конце 205РЦ показана на рис. 9. К выходам датчиков тока подключались нагрузочные активные сопротивления и с помощью запоминающего осциллографа TPS 2012 №C011761 регистрировалось напряжение пропорциональное току в полуобмотках дроссель-трансформатора на питающем конце 205РЦ. На осциллограммах значение напряжения 1 В соответствует значению тягового тока 500 А.

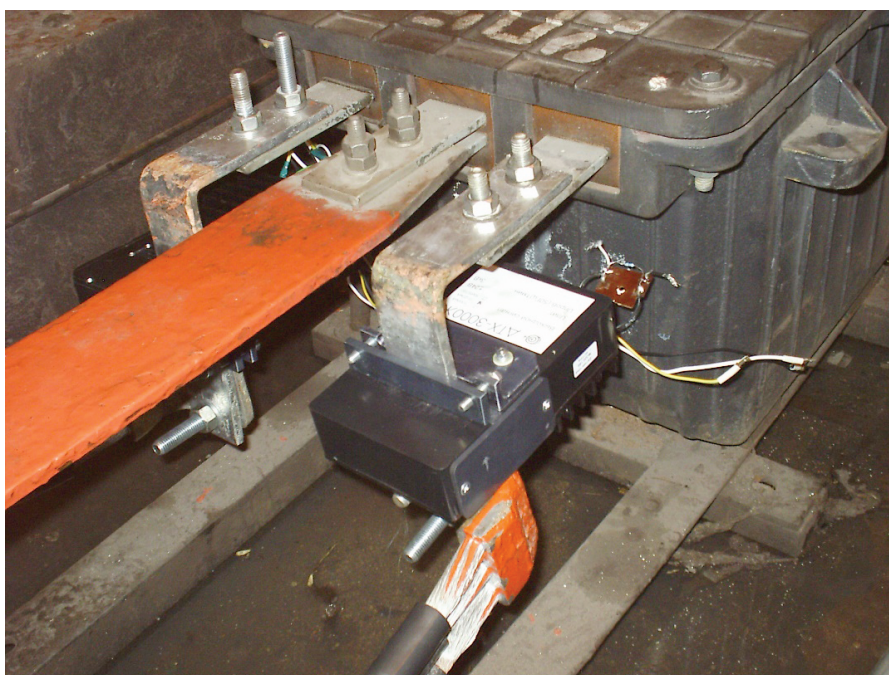


Рис. 9. Схема расположения датчиков тока на полуобмотках основной обмотки дроссель-трансформатора питающего конца 205РЦ

Результаты измерения токов в полуобмотках ДТЗ представлены на рис. 10–13. В режиме «Ход 1» максимальный тяговый ток по каждой из полуобмоток ДТЗ равен 500 А (см. рис. 10).

В режимах «Ход 2» и «Ход 3» тяговые токи имеют участки с высокой производной тягового тока (см. рис. 11 и 12).

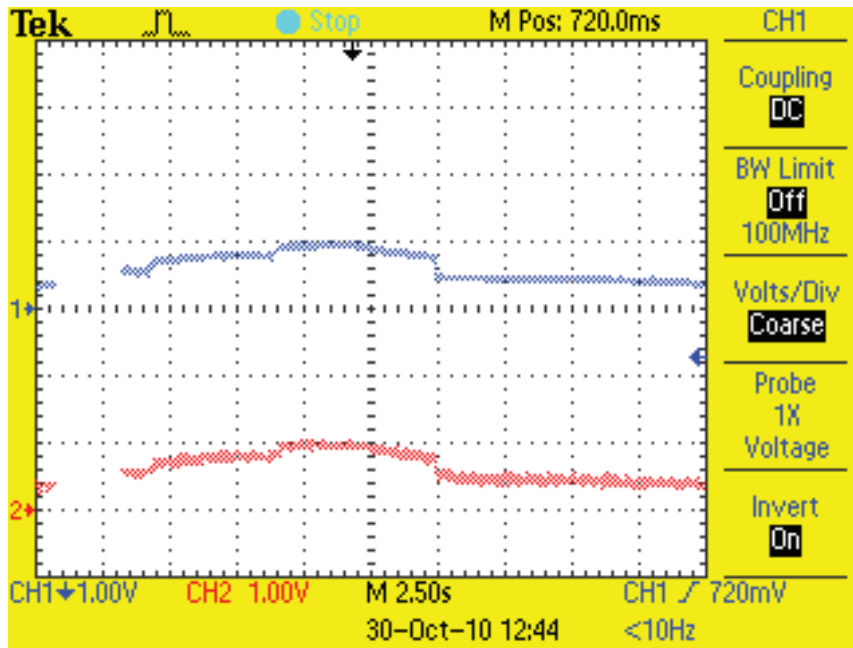


Рис. 10. Осциллограммы тягового тока в полуобмотках основной обмотки ДТЗ в режиме «Ход 1»

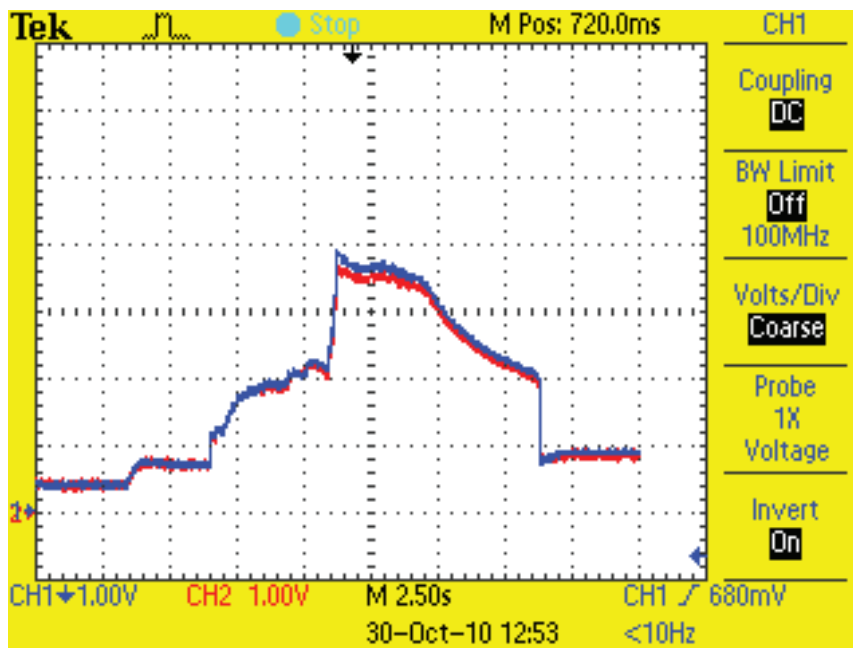


Рис. 11. Осциллограммы тягового тока в полуобмотках основной обмотки ДТЗ в режиме «Ход 2»

В режиме «Ход 3» тяговый ток имеет два ярко выраженных максимума (см. рис. 12). По первому каналу (левая полуобмотка ДТЗ, выводы направлены на наблюдателя) ток имеет значение при первом максимуме, равное 1850 А, а при втором – 2200 А. По второму каналу (правая полуобмотка ДТЗ) ток имеет значение при первом максимуме, равное 1750 А, а при втором –

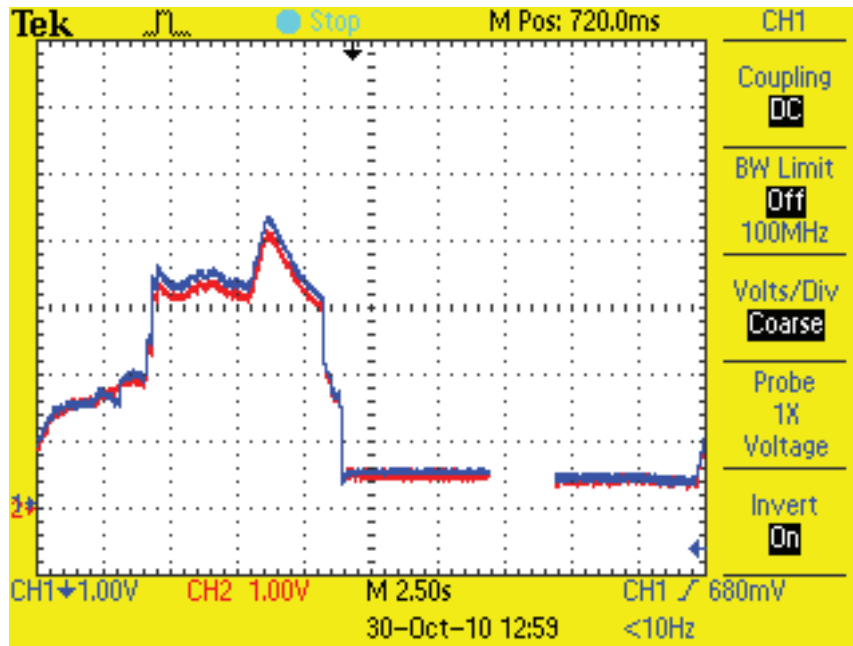


Рис. 12. Осциллограммы тягового тока в полуобмотках основной обмотки ДТЗ в режиме «Ход 3»

2100 А. Это значит, что на режимах «Ход 2» и «Ход 3» проявляется асимметрия тягового тока в полуобмотках ДТЗ.

Осциллограммы, представленные на рис. 13, получены путем настройки входа осциллографа «Луч 1» (сигнал от датчика Д1 (левый датчик)) на прием постоянного тока сигнала (открытый вход), а «Луч 2» (сигнал от датчика

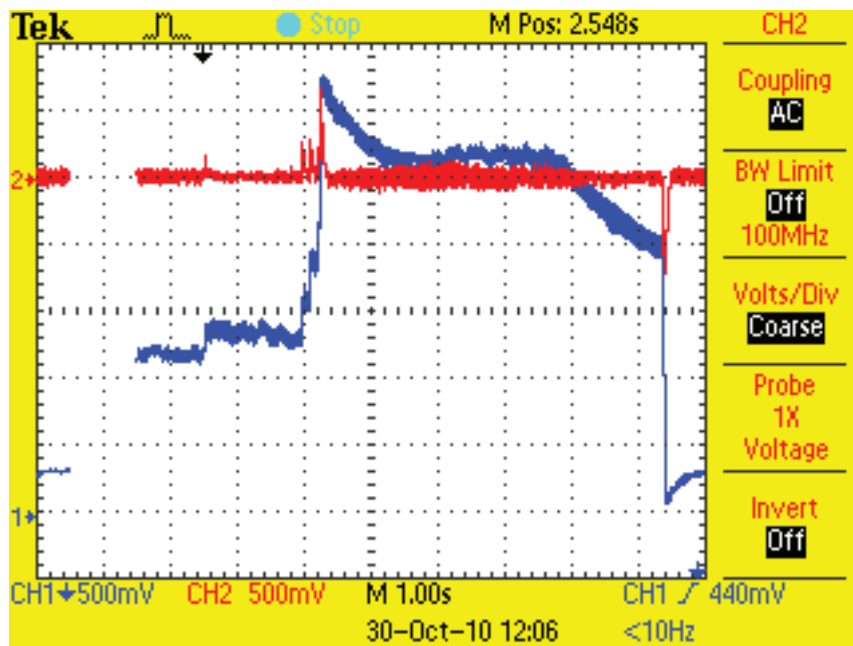


Рис. 13. Осциллограммы тягового тока в полуобмотках ДТЗ («Луч 1» настроен на прием постоянного тока сигнала (открытый вход), а «Луч 2» – на прием переменного тока сигнала (закрытый вход))

тока Д2 (правый датчик)) – на прием переменного тока (закрытый вход). Из осциллограмм следует, что переменная составляющая тягового тока пропорциональна длительности фронта и скорости изменения тока при включении и отключении тяги ЭПС.

На рис. 14 показаны осциллограммы переменной составляющей тягового тока в левой и правой полуобмотках ДТЗ. На оси М (математика) показана разница тягового тока в полуобмотках дроссель-трансформатора ДТЗ.

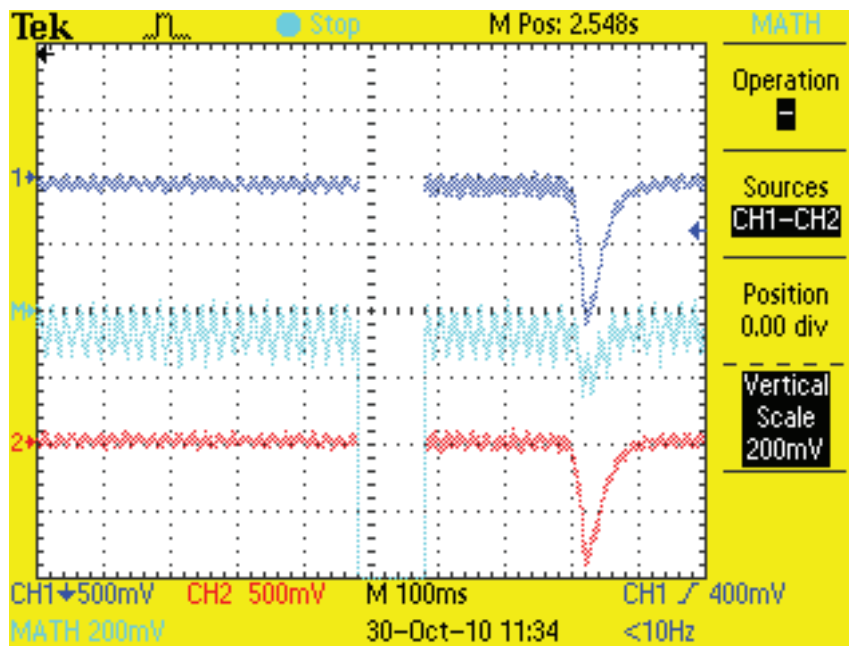


Рис. 14. Осциллограммы тягового тока в полуобмотках ДТЗ («Луч 1» и «Луч 2» настроены на прием переменного тока сигнала (закрытые входы))

Известно, что в момент изменения тока на индуктивности полуобмотки дроссель-трансформатора наводится напряжение

$$e_L(t) = -L \times di/dt, \quad (1)$$

где L – индуктивность полуобмотки; di/dt – скорость изменения тока.

Произведен расчет напряжений, наведенных на полуобмотках ДТЗ (ДТМ-0,17-1000М) при использовании осциллограмм на рис. 14 и формулы (1). Исходные данные и результаты сведены в табл. 2.

В соответствии с методом защиты аппаратуры рельсовых цепей от влияния тягового тока, напряжения, наведенные на разных полуобмотках одного дроссель-трансформатора, должны быть приблизительно равны и при встречном включении наведенных ЭДС должны компенсировать друг друга.

Напряжение влияния $u_{вл}(t)$, наведенное на основной обмотке ДТЗ при действии переменной составляющей тягового тока, определяется как разность напряжений на полуобмотках ДТЗ (ДТМ-0,17-1000М) (см. табл. 2):

$$u_{\text{вл}}(t) = e(t)_{\text{лев}} - e(t)_{\text{прав}} = 2,26 - 1,64 = 0,62 \text{ В.}$$

На стороне дополнительной обмотки ДТЗ напряжение влияния от переменной составляющей тягового тока $u_{\text{доп.вл}}(t)$ будет увеличено на коэффициент трансформации $K_{\text{тр}}$, который равен 40:

$$u_{\text{доп.вл}}(t) = u_{\text{вл}}(t) \times K_{\text{тр}} = 0,62 \text{ В} \times 40 = 24,8 \text{ В.}$$

Таблица 2. Параметры и результаты расчета напряжения, наведенного на полуобмотках ДТЗ (ДТМ-0,17-1000М) на питающем конце 205РЦ

№ п/п	Параметры и результаты расчета	Вид полуобмотки (выводы направлены на наблюдателя)	
		Левая	Правая
1	Величина индуктивности полуобмотки, мГн	0,082	0,073
2	Амплитуда тока, А	550	450
3	Длительность нарастания фронта тягового тока, мс	20	20
4	Скорость изменения тока в полуобмотках ДТЗ, А/мс	27,5	22,5
5	Напряжение, наведенное на полуобмотках ДТЗ, В	$e(t)_{\text{лев}} = 2,26$	$e(t)_{\text{прав}} = 1,64$

Длительность наведенного напряжения 20 мс равна периоду частоты сигнального тока. Во время действия такого наведенного влияющего напряжения на резонансную рельсовую цепь происходит срыв колебаний в резонансном контуре на питающем конце 205РЦ. Это проявляется в снижении напряжения на питающем конце и, как следствие, на релейном конце рельсовой цепи.

На рис. 15 представлены осциллограммы напряжения на питающем конце 205РЦ и на релейном конце 207РЦ. Из осциллограмм следует, что последняя колесная пара ЭПС находится на рельсовой цепи 207 аРЦ (см. рис. 1), при этом 205РЦ и 207РЦ свободны от подвижного состава, но 205РЦ подвержена влиянию коммутационных процессов уходящего поезда в виде провала напряжения на питающем конце 205РЦ в момент времени 00:04:40.000. Установлено, что в момент влияния производилось отключение тяги ЭПС после его разгона.

Провал напряжения на питающем конце рельсовой цепи 205РЦ способствует возникновению провала напряжения на путевом реле 205РЦ, размыканию фронтных контактов и возникновению ложной занятости рельсовой цепи 205РЦ. Это ведет к нарушению работы системы автоматической локомотивной сигнализации и автоматического регулирования скорости (АЛС-АРС) движения поездов и, как следствие, к задержкам поездов.

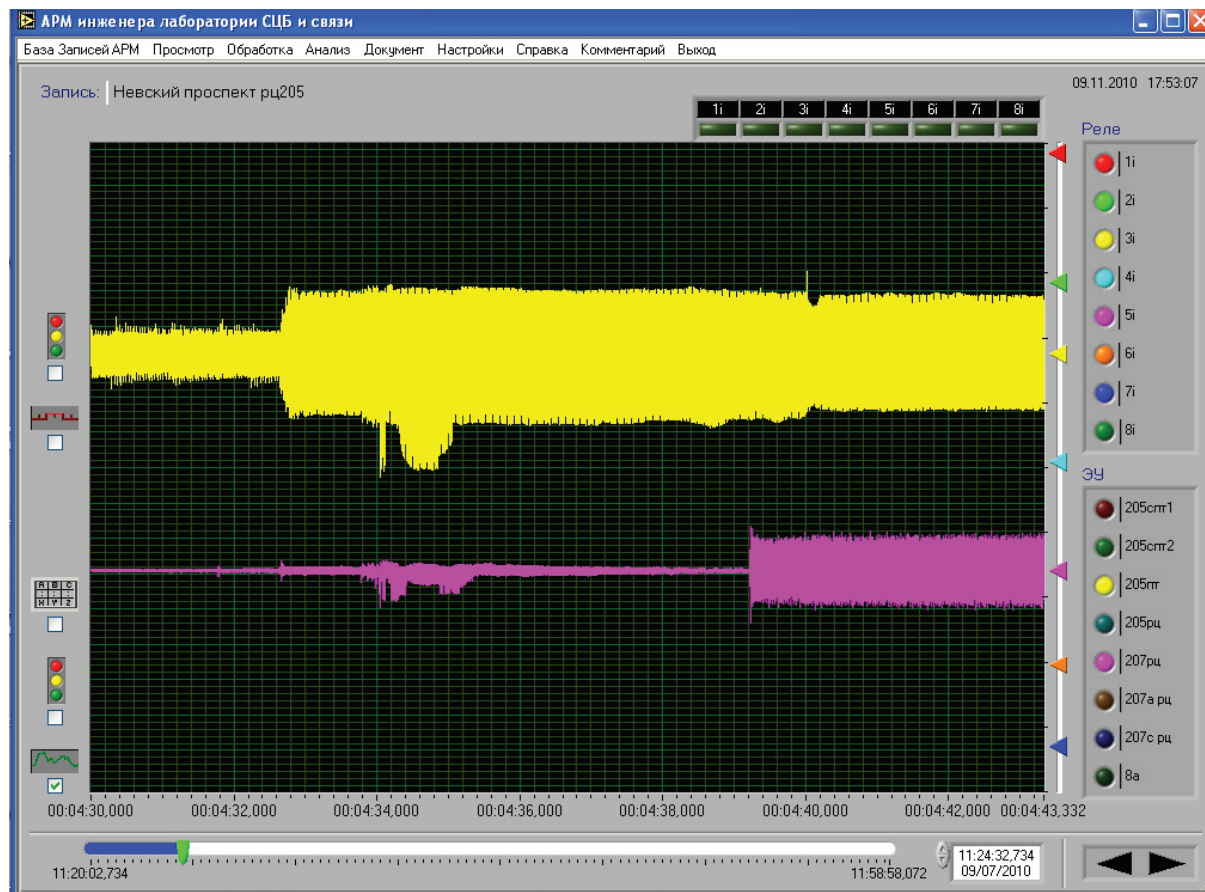


Рис. 15. Осциллограммы тягового тока в полуобмотках ДТЗ («Луч 1» и «Луч 2» настроены на прием переменного тока сигнала (закрытые входы))

Заключение

Исследованы коммутационные процессы в тяговой сети Петербургского метрополитена электропоездов с асинхронным тяговым электроприводом и коллекторным тяговым электроприводом.

Реостатно-контакторный принцип управления тяговыми двигателями в электропоездах с коллекторным тяговым электроприводом приводит к возникновению высоких производных изменения тягового тока и, при наличии асимметрии рельсовой линии, – к возникновению некомпенсированной ЭДС, наведенной на основной обмотке дроссель-трансформатора. На стороне дополнительной обмотки некомпенсированная ЭДС будет увеличена на коэффициент трансформации дроссель-трансформатора. В момент воздействия такого наведенного влияющего напряжения на резонансную рельсовую цепь происходят срыв колебаний и возникновение провалов напряжения на питающем и релейном концах рельсовой цепи. Это способствует размыканию контактов путевого реле и ложной занятости рельсовой цепи, что ведет к нарушению в работе системы автоматической локомотивной сигнализации и автомати-

ческого регулирования скорости движения поездов и к задержкам поездов. Величина влияющего напряжения зависит от асимметрии рельсовой линии.

Исследование коммутационных процессов в тяговой сети для электроподвижного состава с асинхронным тяговым электроприводом показало, что скорости изменения тока в тяговой сети на порядок меньше, чем с коллекторным электроприводом. Это значит, что напряжение, наведенное от ЭПС с асинхронным тяговым приводом, будет в 10 раз меньше, чем с коллекторным тяговым электроприводом при всех других равных условиях.

Снижение скорости спада тока по заднему фронту для ЭПС с асинхронным тяговым электроприводом можно объяснить наличием на входе преобразователя частоты тягового электропривода L–C фильтра, устанавливаемого для ограничения помех, поступающих в тяговую сеть от преобразователя частоты тягового тока.

Аварийные процессы в тяговой сети создают высокие скорости изменения тока в тяговой сети.

Необходимы исследования по определению влияния асимметрии рельсовой линии на величину наведенного влияющего напряжения на резонансную РЦ.

Библиографический список

1. Кравцов Ю. А. Расчет влияния тягового тока на тональные рельсовые цепи без изолирующих стыков / Ю. А. Кравцов, Е. Г. Щербина, П. Е. Мищенко // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2007. – № 2. – С. 47–57.
2. Шаманов В. И. Асимметрия тяговых токов под катушками АЛС / В. И. Шаманов, Ю. А. Трофимов // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 11. – С. 37–39.
3. Шаманов В. И. Электромагнитная совместимость систем железнодорожной автоматики и телемеханики / В. И. Шаманов. – М. : УМЦ ЖДТ, 2013. – 244 с.
4. Кравцов Ю. А. Электромагнитная совместимость рельсовых цепей и электроподвижного состава с асинхронным тяговым приводом / Ю. А. Кравцов // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 1. – С. 7–27.
5. Манаков А. Д. Нормы опасного и мешающего влияния помех на устройства АЛС-АРС системы БАРС Петербургского метрополитена / А. Д. Манаков, А. А. Блюдов, А. Г. Кабецкий, А. А. Трошин // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 1. – С. 28–39.
6. Бестемьянов П. Ф. Методика оценки работоспособности рельсовых цепей тональной частоты при воздействии тока электроподвижного состава с асинхронным тяговым приводом / П. Ф. Бестемьянов, Ю. А. Кравцов, Е. Г. Щербина, А. Б. Чегуров // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2012. – № 1. – С. 87–92.

7. Шаманов В. И. Процесс формирования асимметрии тягового тока в рельсовых линиях / В. И. Шаманов // Электротехника. – 2014. – № 8. – С. 34–38.
8. Бадёр М. П. Электромагнитная совместимость системы тягового электроснабжения и элементов инфраструктуры на участках с высокоскоростным движением / М. П. Бадёр, Ю. М. Иньков // Электротехника. – 2014. – № 8. – С. 12–17.
9. Шаманов В. И. Магнитные свойства рельсовых линий и уровень помех на аппаратуру автоматики и телемеханики / В. И. Шаманов // Электротехника. – 2015. – № 9. – С. 50–54.
10. Шаманов В. И. Динамика асимметрии переменного тягового тока в рельсовых линиях на двухпутных перегонах / В. И. Шаманов // Электротехника. – 2016. – № 10. – С. 74–79.
11. Шаманов В. И. Циклы изменения устойчивости работы аппаратуры автоматики на участках с электротягой / В. И. Шаманов // Наука и техника транспорта. – 2018. – № 1. – С. 50–57.
12. Манаков А. Д. Асимметрия рельсовых цепей с реле ДСШ-2 / А. Д. Манаков, А. Г. Кабещкий, А. А. Трошин, Ю. М. Пашаев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2017. – Т. 14. – № 2. – С. 280–297.
13. Быков Е. И. Тяговые сети метрополитенов / Е. И. Быков, Б. В. Панин, В. Н. Пупынин. – М. : Транспорт, 1987. – 256 с.
14. Проведение измерений величины обратного тягового тока и силы магнитного залипания острия стрелок на станции «Парнас» Петербургского метрополитена: отчет о НИР (заключ.) / Рук. А. Б. Никитин. Без регистрации. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2007. – 25 с.

*Alexander D. Manakov,
Andrey G. Kabetskiy,
Alexander A. Troshin,
Yuriy M. Pashaev*

«Automation and remote control on railways» department
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University

**The switching processes in the high voltage network
of Petersburg subway and their influence
on working of rail circuits with DSSH-2 relay**

In the article was shown switching processes in the high voltage network of Petersburg subway in the testing of the modern electric rolling-stock «Yubileyniy» with asynchronous electric engine and rolling-stock with collector electric engine. Also in the article were shown the characteristic of current in the high voltage network in various regimes of driving of rolling-stock. The influence of switching

processes in the high voltage network on the operation of resonant rail circuits with the DSSH-2 relay was investigated.

switching processes; resonant rail circuit; voltage dips; current asymmetry

References

1. Kravcov Yu.A., Shcherbina E. G., Mishchenko P. E. (2007). Calculation of the influence of traction current on tonal rail circuits without insulating joints [Raschyot vliyaniya tyagovogo toka na tonal'nye rel'sovye cepi bez izoliruyushchih stykov]. Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya [Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya], issue 2. – Pp. 47–57.
2. Shamanov V. I., Trofimov Yu. A. (2008). Asymmetry of traction currents under coils of automatic locomotive signaling [Asimmetriya tyagovyh tokov pod katushkami ALS]. Automation, Communication and Informatics [Avtomatika, svyaz', informatika], issue 11. – Pp. 37–39.
3. Shamanov V. I. (2013). Electromagnetic compatibility of railway automation and telemechanics systems [Ehlektromagnitnaya sovmestimost' sistem zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki]. Moscow, Educational and methodological center for education in railway transport [UMC ZHDT]. – 244 p.
4. Kravcov Yu. A. (2015). Electromagnetic Compatibility of Track Circuits and Electric Rolling Stock with Asynchronous Traction Motor [Ehlektromagnitnaya sovmestimost' rel'sovyh cepej i ehlektropodvizhnogo sostava s asinhronnym tyagovym privodom]. Automation on Transport [Avtomatika na transporte], vol. 1, issue 1. – Pp. 7–27.
5. Manakov A. D., Blyudov A. A., Kabeckij A. G., Troshin A. A. (2015). Norms for Hazardous and Harmful Interferences for the Als-Ars Devices of Bars System of St. Petersburg Subway [Normy opasnogo i meshayushchego vliyaniya pomekh na ustrojstva ALS-ARS sistemy BARS Peterburgskogo metropolitena]. Automation on Transport [Avtomatika na transporte], vol. 1, issue 1. – Pp. 28–39.
6. Bestem'yanov P. F., Kravcov Yu. A., Shcherbina E. G., Chegurov A. B. (2012). Method for Tonal Frequency Rail Circuits Operational Integrity Estimation under The Influence of The Rolling Stock Equiped with Asynchronous Propulsion Motor [Metodika ocenki rabotosposobnosti rel'sovyh cepej tonal'noj chastoty pri vozdeystvii toka ehlektropodvizhnogo sostava s asinhronnym tyagovym privodom]. Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya [Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya], issue 1. – Pp. 87–92.
7. Shamanov V. I. (2014). The Process of Traction-Current Asymmetry Generation in Rail Lines [Process formirovaniya asimmetrii tyagovogo toka v rel'sovyh liniyah]. Electrical Engineering [Ehlektrotekhnika], issue 8. – Pp. 34–38.
8. Badyor M. P., In'kov Yu. M. (2014). Electromagnetic Compatibility of a Traction Power-Supply System and Infrastructure Elements in Areas with High Traffic [Ehlektromagnitnaya sovmestimost' sistemy tyagovogo ehlektrosnabzheniya i ehlementov infrastruktury na uchastkah s vysokoskorostnym dvizheniem]. Electrical Engineering [Ehlektrotekhnika], issue 8. – Pp. 12–17.
9. Shamanov V. I. (2015). The Magnetic Properties of Rail Lines and Level of Interferences for the Apparatus of Automatic Control and Telemechanics [Magnitnyye

- svoystva rel'sovyh linij i uroven' pomekh na apparaturu avtomatiki i telemekhaniki]. Electrical Engineering [Ehlektrrotekhnika], issue 9. – Pp. 50–54.
10. Shamanov V. I. (2016). Alternating Traction Current Dynamics in Track Lines of Double-Track Hauls [Dinamika asimmetrii peremennogo tyagovogo toka v rel'sovyh liniyah na dvuhputnyh peregonah]. Electrical Engineering [Ehlektrrotekhnika], issue 10. – Pp. 74–79.
 11. Shamanov V. I. (2018). Cycles for changing the stability of the automation equipment in areas with electric traction [Cikly izmeneniya ustojchivosti raboty apparatury avtomatiki na uchastkah s ehlektrotyagoy]. Science and Technology in Transport [Nauka i tekhnika transporta], issue 1. – Pp. 50–57.
 12. Manakov A. D., Kabeckij A. G., Troshin A. A., Pashaev Yu. M. Asymmetry of Rail Circuits with DSH-2 Relay [Asimmetriya rel'sovyh cepej s rele DSSH-2]. Proceedings of Petersburg Transport University [Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya], vol. 14, issue 2. – Pp. 280–297.
 13. Bykov E. I., Panin B. V., Pupynin V. N. (1987). Traction networks of subways [Tyagovoye seti metropolitenov]. Moscow, Transport [Transport]. – 256 p.
 14. Measurement of the magnitude of the reverse traction current and the strength of the magnetic sticking of the arrowheads at the Parnas station of the St. Petersburg Metro: Report on R & D [Provedenie izmerenij velichiny obratnogo tyagovogo toka i sily magnitnogo zalipa-niya ostryakov strelok na stancii «Parnas» Peterburgskogo metropolitena: Otchyot o NIR (zaklyuch.)] (2007). Petersburg State Transport University by Emperor Alexander I; Chief A. B. Nikitin. St. Petersburg, Petersburg State Transport University by Emperor Alexander I [PGUPS]. – 25 p.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии В. И. Шамановым
Поступила в редакцию 23.05.2018, принята к публикации 22.06.2018*

МАНАКОВ Александр Демьянович – доктор технических наук, старший научный сотрудник Центра компьютерных железнодорожных технологий (ЦКЖТ) (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I); тел. +79217775341.
e-mail: manakoff_2@mail.ru

КАБЕЦКИЙ Андрей Геннадьевич – инженер Испытательного центра железнодорожной автоматики и телемеханики (ИЦ ЖАТ ПГУПС) (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I); тел. +79643772494.
e-mail: kabeckiy@gmail.com

ТРОШИН Александр Александрович – инженер Испытательного центра железнодорожной автоматики и телемеханики (ИЦ ЖАТ ПГУПС) (Петербург-

ский государственный университет путей сообщения Императора Александра I); тел. +7219752430.
e-mail: tralexalex@yandex.ru

ПАШАЕВ Юрий Михайлович – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I); тел. +79312838181.
e-mail: prime-16@yandex.ru

© Манаков А. Д., Кабецкий А. Г., 2018

© Трошин А. А., Пашаев Ю. М., 2018