

УДК: 629.4.012

EDN GNALPC

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА
ВЫПРЯМИТЕЛЬНОГО ИНВЕРТОРНОГО
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ
РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКИХ
ТОРМОЗОВ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Е.Л. Рыжова

ORCID: 0000-0001-7984-2558 e-mail: elena-astanovskaja@rambler.ru

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I
Санкт-Петербург, Россия

В.Ю. Осипов

ORCID: 0009-0009-4566-3274 e-mail: osipov.power@yandex.ru

Эксплуатационное локомотивное депо «Саратов – Пассажирское»
структурного подразделения Приволжской дирекции тяги
структурного подразделения Дирекции тяги – филиала ОАО «РЖД»
Саратов, Россия

Задача повышения безопасности и эффективности эксплуатации подвижного состава решается с помощью внедрения новейших автоматизированных систем контроля и диагностики оборудования. Рассмотрено применение микропроцессорной системы управления и диагностирования для безразборного контроля наиболее важных параметров, определяющих действительное техническое состояние узлов электровоза серии ЭП1. С помощью автоматизированной системы контроля и диагностики были обнаружены «броски» тока в инверторном режиме при рекуперативном торможении электровоза, а также наводимые помехи во входной цепи измерительной системы локомотива. Для исключения выявленных неисправностей предлагается изменить схему монтажа проводов в системе датчиков углов коммутации и провести ряд мероприятий с целью уменьшения емкостной наводки в измерительной системе электровоза.

Ключевые слова: автоматизированные системы контроля и диагностики, бросок тока, инверторный режим, коммутации, паразитная емкость, рекуперативное торможение, техническое диагностирование, электропневматический тормоз.

Для цитирования: Рыжова Е.Л., Осипов В.Ю. Техническая диагностика выпрямительного инверторного преобразователя в режиме рекуперативного торможения при использовании электропневматических тормозов электроподвижного состава // Интеллектуальная Электротехника. 2024. № 4. С. 31-46. EDN GNALPC

TECHNICAL DIAGNOSTICS OF RECTIFIER INVERTER CONVERTER IN REGENERATIVE BRAKING MODE WHEN USING ELECTROPNEUMATIC BRAKES OF ELECTRIC ROLLING STOCK

E.L. Ryzhova

ORCID: 0000-0001-7984-2558 e-mail: osipov.power@yandex.ru
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University
Saint Petersburg, Russia

V.Yu. Osipov

ORCID: 0009-0009-4566-3274 e-mail: osipov.power@yandex.ru
Saratov – Passenger Operational Locomotive Depot – structural subdivision of the Volga
Traction Directorate of the structural subdivision of the Traction Directorate –
branch of JSC Russian Railways
Saratov, Russia

Abstract. Improving the safety and efficiency of rolling stock operation is solved through the introduction of the latest automated systems for monitoring and diagnostics of equipment. The article considers the use of a microprocessor control and diagnostic system for the non-selective control of the most important parameters that determine the actual technical condition of the EP1 series electric locomotive units. Current "surges" in inverter mode during regenerative braking of an electric locomotive were detected using an automated monitoring and diagnostics system. In addition, induced interference was detected in the input circuit of the locomotive's measuring system. It is proposed to change the wiring diagram in the switching angle sensor system to eliminate the identified malfunctions and to carry out a number of measures to reduce capacitive interference in the electric locomotive's measuring system.

Keywords: automated monitoring and diagnostic systems, current surge, electro-pneumatic brake, inverter mode, parasitic capacitance, regenerative braking, switching, technical diagnostics.

For citation: E.L. Ryzhova and V.Yu. Osipov, "Technical diagnostics of rectifier inverter converter in regenerative braking mode when using electropneumatic brakes of electric rolling stock", *Smart Electrical Engineering*, no. 4, pp. 31-46, 2024. EDN GNALPC

I. Введение

Локомотивное хозяйство является одним из важнейших элементов инфраструктуры железнодорожного транспорта, от организации работы которого в значительной мере зависят как устойчивость работы дороги, так и себестоимость железнодорожных перевозок, значительную часть которых

определяют затраты на техническое содержание подвижного состава и ремонт электровозов. Затраты локомотивного хозяйства составляют треть всех эксплуатационных расходов железных дорог.

Целью системы технического обслуживания и ремонта является управление техническим состоянием подвижного состава в течение срока его службы до списания, позволяющее обеспечить уровень его надежности в эксплуатации, минимизировать затраты времени, труда и средств на выполнение операций по обслуживанию и ремонту.

За последнее десятилетие произошли принципиальные изменения в конструкциях подвижного состава, внедрялись новые технологии ремонта, менялись условия эксплуатации. Поэтому традиционная система технического обслуживания и ремонта, основанная на выполнении заданного объема работ через определенный интервал календарного времени по пробегу, перестала в полной мере удовлетворять возросшим требованиям к безопасности движения и технико-экономической эффективности. При существующей системе технического содержания и ремонта локомотивного парка затраты на его восстановление за период от начала эксплуатации до постановки локомотива на капитальный ремонт в 3,5-4,0 раза превышают его первоначальную стоимость. Правильно рассчитать и организовать длительную эксплуатацию такой сложной технической системы, как электровоз, можно лишь в случае, если при ее разработке предприятиям будут известны все показатели эффективности функционирования основных узлов и элементов на всех этапах их существования, т.е. от момента проектирования до полной выработки ресурса в регламентированных условиях эксплуатации.

Используемый в технике термин «диагноз» означает заключение о техническом состоянии объекта – техническое диагностирование. При одном и том же техническом состоянии объект может быть для различных условий признан исправным или неисправным. В ходе диагностирования производят оценку большого числа диагностических признаков и параметров. Для получения исходной информации для диагностики работы локомотива необходимо изучить закономерности выработки технического ресурса основных узлов, оценить влияние воздействующих факторов на интенсивность их эксплуатационного старения и износа, выявить элементы, лимитирующие надежность сложной системы, разработать пути улучшения их конструкций, изыскать возможность совершенствования методов расчета и контроля текущего состояния [1, 2].

Развитие информационных технологий, средств контроля и диагностики, вычислительной техники, автоматизированных систем неразрушающего контроля позволило создать автоматизированные системы контроля и диагностики (АСКД), а также информационно-технические комплексы по управлению системой ремонта и вплотную перейти к организации ремонта

с учетом информации о техническом состоянии оборудования для обеспечения требуемого уровня надежности и экономичности, минимизации расходов при техническом обслуживании и ремонте на основе предупреждения отказов в пути следования и рационального использования ресурса оборудования подвижного состава [3, 4].

II. Объект и методика

При диагностике работы локомотива необходимо учитывать основные причины неисправностей электровозов [2, 5-7]:

- неудовлетворительное качество текущего ремонта и технического обслуживания;
- нарушение режима управления локомотивными бригадами.

В начальный период эксплуатации интенсивность потока отказов превышает средний уровень в 3-4 раза. Диагностика различных узлов электровоза выполняется на пункте технического обслуживания локомотивов (электровозов) (при ТО-2) и на (ТР-1), причем состав диагностируемых узлов зависит от особенностей технического состояния локомотивов данного депо, а необходимость диагностирования либо строго регламентируется (например, приурочивается к каждому ТО-2), либо определяется для каждого электровоза в отдельности, либо обуславливается наличием соответствующих замечаний локомотивных бригад о состоянии электровоза в пути следования. Наиболее эффективным является период от эксплуатации по заранее назначенному ресурсу к эксплуатации и техническому обслуживанию по данным безразборного контроля наиболее важных параметров, определяющих действительное техническое состояние узлов. Безразборный контроль технического состояния в целом обосновывает применение комплексов для диагностирования, позволяющих получить информацию о техническом состоянии наиболее важных диагностируемых параметров. Предлагаемый метод функционального диагностирования позволяет не только выявить развивающуюся неисправность и предотвратить необратимое явление, но и обнаружить развивающийся дефект на ранней стадии, планировать сроки и объемы ремонта оборудования [8-10].

За период эксплуатации электровозов серии ЭП1 отмечались неоднократные замечания локомотивных бригад о некорректной работе рекуперативного тормоза в части «бросков тока» в режиме рекуперации, отраженные в журнале технического состояния локомотива формы ТУ-152.

Для анализа отказов электровозов по основным направлениям диагностируемых контролируемых параметров выбраны узлы электровоза серии ЭП1 (рис. 1).

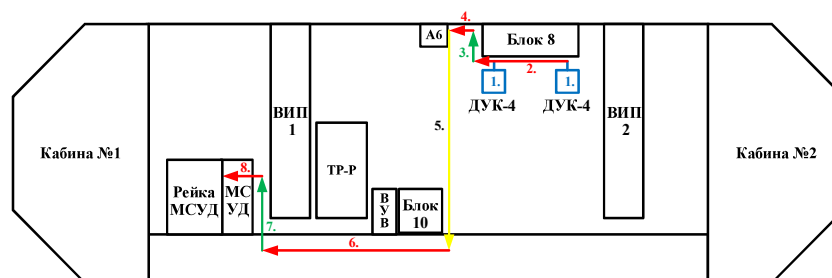


Рис. 1. Расположение оборудования и схема монтажа проводов на электровозе серии ЭП1

Fig. 1. Location of the equipment and wiring diagram on the EP1 series electric locomotive

В качестве выпрямительной установки на электровозах серии ЭП1 устанавливаются два выпрямительно-инверторных преобразователя (ВИП) ВИП-5600, которые предназначены для выпрямления однофазного переменного тока частотой 50 Гц в постоянный и плавного регулирования напряжения питания тяговых электродвигателей в режиме тяги, а также для преобразования постоянного тока в однофазный переменный ток частотой 50 Гц и плавного регулирования величины противоЭДС инвертора в режиме рекуперативного торможения. Четыре датчика угла коммутации (ДУК) ДУК-4 предназначены для передачи сигнала, пропорционального углу коммутации ВИП в режиме рекуперативного торможения. В качестве системы управления и диагностики на электровозах серии ЭП1 применяется микропроцессорная система управления и диагностики (МСУД), которая обеспечивает автоматическое управление электроприводом и электрическими аппаратами электровоза в режимах тяги и торможения [11].

На электровозах серии ЭП1 применяется двухпроводный электропневматический тормоз (ЭПТ). Локомотив оборудован электровоздухораспределителем (ЭВР) ЭВР-305М, который устанавливается совместно с воздухораспределителем (ВР) ВР-292М. ЭВР-305М предназначен для управления изменением давления сжатого воздуха в тормозном цилиндре пассажирского локомотива или вагона.

Для определения причины неисправностей проведен анализ фрагмента файла поездки МСУД электровоза ЭП1 с поездом (рис. 2).

Для расшифровки показаний, изложенных на данном фрагменте, необходимо разбить его на четыре условные зоны, которые определяются по положению крана машиниста усл. № 395:

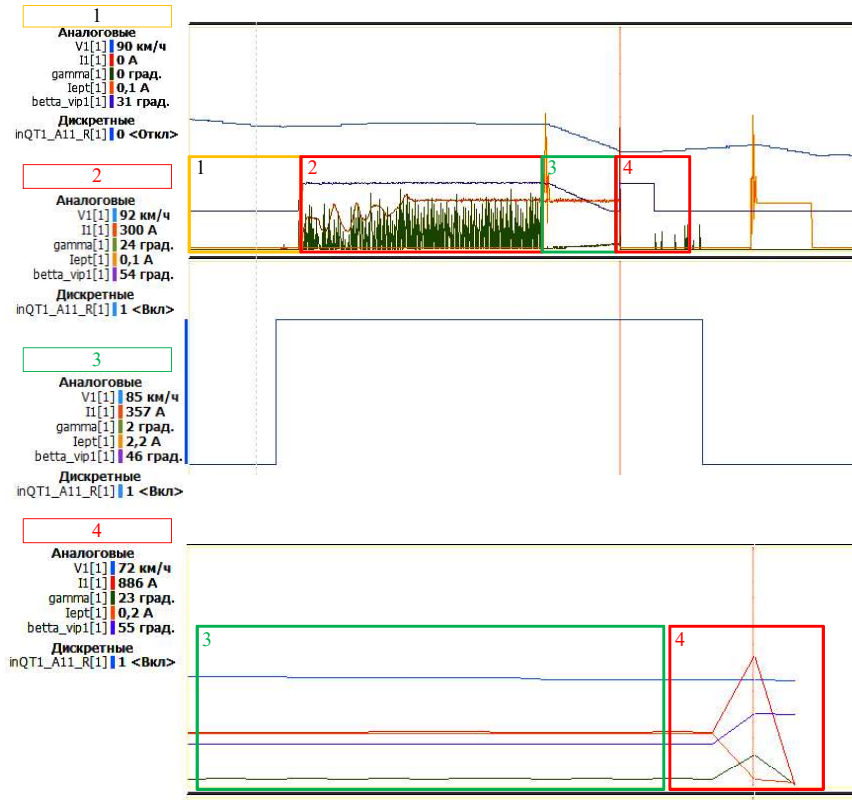


Рис. 2. Фрагмент файла МСУД:

V1 – скорость движения электровоза; I1 – ток тягового электродвигателя;
 betta_vip1 – угол запаса инвертора (β) в инверторном режиме;
 gamma – угол коммутации ВИП (γ) в инверторном режиме; Iept – ток ЭПТ

Fig. 2. Fragment of the microprocessor control and diagnostic system file:

V1 is the speed of the electric locomotive; I1 is the current of the traction motor;
 betta_vip1 is the inverter reserve angle (β) in inverter mode;
 gamma is the switching angle of the rectifier-inverter converters (γ) in the inverter mode;
 Iept is the electropneumatic brake current

зона 1 – положение крана машиниста усл. № 395 во II «Поездном положении», локомотив следует в режиме выбега (обозначена оранжевым цветом);

зона 2 – положение крана машиниста усл. № 395 во II «Поездном положении», локомотив следует в режиме рекуперативного торможения (обозначена красным цветом);

зона 3 – положение крана машиниста усл. № 395 в V и IV положениях торможения и перекрыши, локомотив следует в режиме рекуперативного торможения (обозначена зеленым цветом);

зона 4 – положение крана машиниста усл. № 395 в I положении «Отпуск», локомотив следует в режиме рекуперативного торможения (обозначена красным цветом).

В ходе анализа фрагмента файла поездки при рассмотрении зоны 2 наблюдаются нестабильные показания угла коммутации γ : до момента перехода в зону 3 значение угла коммутации γ меняется от 9 до 24 градусов порядка 30 раз, а значение угла запаса инвертора β выросло с 31 до 54 градусов, что свидетельствует о нарушении коммутации в инверторном режиме.

При рассмотрении зоны 3 после постановки ручки крана машиниста усл. № 395 в V положение (торможение) наблюдается стабилизация значения угла коммутации γ , которое находится в пределах 8-10 градусов, а значение угла запаса инвертора β снижается с 54 до 46 градусов и становится меньше до момента перехода к зоне 4.

При рассмотрении зоны 4 происходит постановка ручки крана машиниста в I положение (отпуск, зарядка) и наблюдается увеличение значения угла коммутации γ с 8 до 23 градусов, а значение угла запаса инвертора β становится равным 55 градусов, после чего происходит увеличение тока якоря тяговых электродвигателей с 357А до 886А с дальнейшим срабатыванием защиты – отключение быстродействующих выключателей всех тяговых электродвигателей (ТЭД). На МСУД данное неконтролируемое увеличение тока якоря тягового электродвигателя обозначается как «бросок» тока. Угол коммутации γ меняется при изменении сопротивления активно-индуктивной нагрузки цепи переменного тока вследствие перемещения электровоза в межподстанционной зоне и изменения условия питания этой зоны. «Броски» тока могут происходить в случае, если коммутация не завершится в пределах полупериода инвертирования, тогда в следующем полупериоде ($\omega t = \pi$) при изменении полярности напряжения трансформатора произойдет обратная коммутация и напряжение трансформатора будет соответствовать ЭДС тяговых двигателей, а ток генераторного режима в цепи двигателей будет интенсивно нарастать [12, 13].

В этот полупериод происходит выпрямление, т.е. энергия сети передается в цепь выпрямленного тока и совместно с энергией, генерируемой ТЭД, накапливается в индуктивностях цепи, в основном, в сглаживающих

реакторах. В следующем полупериоде при изменении полярности напряжения трансформатора возобновляется инверторный режим, ток начинает падать, но к моменту начала инверторной коммутации он существенно превышает свое значение в конце первого полупериода, когда и при меньшем токе коммутация не завершилась (рис. 3). Таким образом, даже однократное нарушение коммутации в инверторном режиме приводит к аварийному нарастанию тока [11].

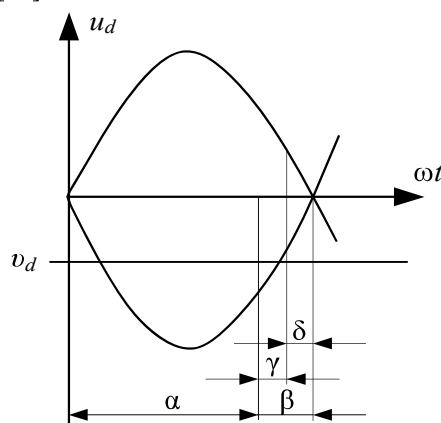


Рис. 3. Кривая выпрямленного напряжения в инверторном режиме

Fig. 3. Rectified voltage curve in inverter mode

Из проведенного анализа фрагмента файла поездки прослеживается связь между положениями крана машиниста усл. № 395 в ЭПТ в рекуперативном торможении (инверторным режимом). Таким образом, применение ЭПТ в рекуперативном торможении влияет на значения угла коммутации γ и угла запаса инвертора β . Но, поскольку значение угла запаса инвертора β находится в прямой зависимости от значения угла коммутации γ , применение ЭПТ в рекуперативном торможении влияет только на значение угла коммутации γ . Согласно вышеизложенному, за формирование и передачу сигнала угла коммутации γ отвечает датчик угла коммутации ДУК-4. Необходимо отметить, что в данном случае ЭПТ и датчики угла коммутации находятся в исправном состоянии.

При анализе фрагмента файла поездки необходимо рассматривать связь ЭПТ с ДУК-4 в местах пересечения проводов ДУК-4 и ЭВР-305М при их монтаже. Данное место пересечения проводов обнаружено в районе ВИП-2 и находится на вертикальном кронштейне для крепления проводов рядом с блоком 8 и на кронштейне, который находится над самим ВИП-2. ДУК-4: провода А175,176 и А177,178; ЭВР305М: провод Т45 (рис. 4, а).

МСУД обеспечивает управление ВИП-5600 в режиме тяги и рекуперативного торможения. Для того, чтобы учитывать изменение нагрузки – индуктивности и активного сопротивления цепи переменного тока вследствие перемещения электровоза в межподстанционной зоне и изменения условия питания этой зоны на электровозе, установлены датчики угла коммутации ДУК-4. На электровозе ЭП1 находится четыре датчика угла коммутации – по два датчика на каждый ВИП. Поскольку при анализе фрагмента файла поездки была определена связь между положениями крана машиниста усл. № 395 в ЭПТ и датчиками угла коммутации необходимо рассмотреть ДУК-4, которые находятся рядом с ВИП-2, так как здесь проходит провод Т45, который подключается к ЭВР-305М (рис. 4, б).

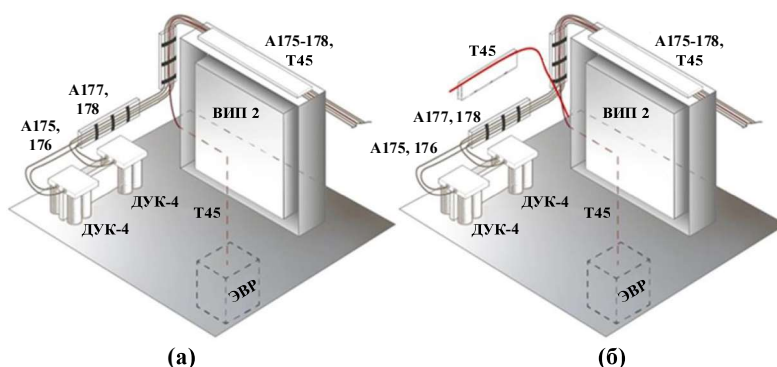


Рис. 4. Схема крепления проводов А175-178 и провода Т45, подключаемого к ЭВР на кронштейнах по штатным схемам (а) и (б)

Fig. 4. Wiring diagram A175-178 and wire T45 connected to the electric air distributor according to the standard schemes (a) and (b)

Необходимо рассмотреть работу в цепи ЭПТ при различных положениях крана машиниста усл. № 395. При постановке ручки крана машиниста усл. № 395 во II положение через провод Т45 к ЭВР-305М подается переменное напряжение с частотой 625 Гц и амплитудой 50 В. При постановке ручки крана машиниста усл. № 395 в положении V или IV через провод Т45 к ЭВР-305М подается постоянное напряжением 50 В.

Для анализа цепи датчиков угла коммутации ДУК-4 наблюдения перенесены на рассматриваемый фрагмент файла поездки (рис. 5). Согласно электрической схеме электровоза ЭП1, датчики угла коммутации установлены до ВИП, значит, через провода А175-178 проходит переменный ток частотой 50 Гц. Далее данные провода с одной стороны подключаются на клеммной рейке МСУД, а с другой – к выводам обмоток датчиков угла коммутации [8].

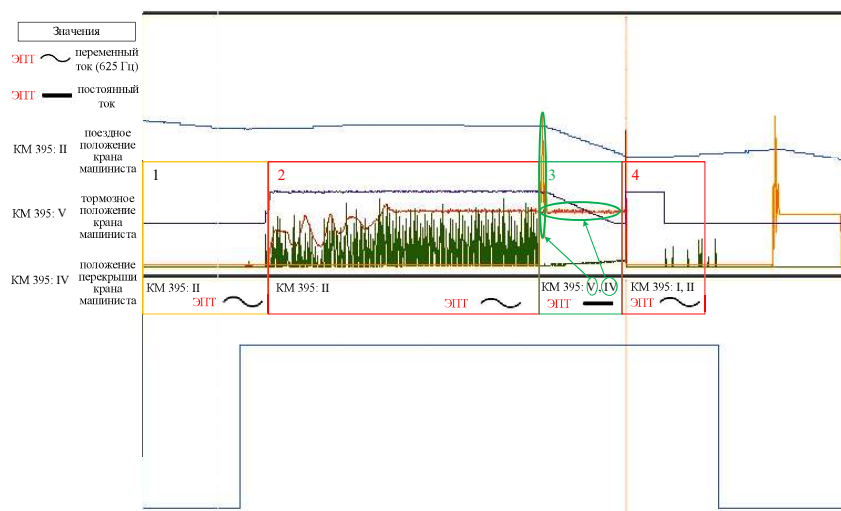


Рис. 5. Фрагмент файла поездки с учетом подаваемого напряжения

Fig. 5. Fragment of the trip file, taking into account the supplied voltage

Таким образом, анализ фрагмента файла поездки с учетом подаваемого напряжения показал, что при нахождении ручки крана машиниста усл. № 395 во II положении через провод Т45 к ЭВР-305М подается переменное напряжение частотой 625 Гц амплитудой 50 В, в проводах А175-178 датчиков угла коммутации так же проходит переменный ток частотой 50 Гц. При этом в зонах 2 и 4 наблюдаются сильные изменения значений угла коммутации γ в пределах от 8 до 40 градусов и резкое увеличение значения угла запаса инвертора β с 31 до 55 градусов. Но при нахождении ручки крана машиниста усл. № 395 в V и IV положениях через провод Т45 к ЭВР-305М подается постоянное напряжение 50 В, при этом в 3-й зоне наблюдается стабилизация значений угла коммутации γ , которые находятся в пределах от 8-10 градусов, а значение угла запаса инвертора β снижается с 55 градусов и стремится к исходному значению в 31 градус (рис. 5).

Установленная закономерность в совокупности с выявленным пересечением проводов А175-178 датчиков угла коммутации и провода Т45 ЭВР-305М (рис. 4, а) приводит к тому, что от провода Т45 наводятся помехи на провода А175-178, что, в свою очередь, приводит к некорректному формированию и передачи сигналов на МСУД. После этого происходит нарушение коммутации ВИП в инверторном режиме, что соответственно приво-

дит к аварийному нарастанию тока якоря тягового электродвигателя – «бросок» тока. В завершение процесса нарастания тока происходит аварийное отключение всех ТЭД через быстродействующие выключатели [9, 10].

III. Результаты исследования

Всегда существует некоторая «паразитная» емкость между входом измерительной системы и какой-либо расположенной вблизи линией переменного напряжения. В результате во входной цепи измерительной системы будут наводиться помехи. В этом случае обозначается, что существует емкостная связь измерительной системы и источника помехи. Для уменьшения емкостной наводки необходимо удалить средство измерения от внешних проводов, уменьшить выходное сопротивление объекта, а также входное сопротивление средства измерения, экранировать входную цепь средства измерения, поместив ее в заземленный проводящий экран.

Кроме того, из-за большого числа случаев аварийного нарастания тока – «бросков» тока в инверторном режиме может произойти повреждение ВИП, ТЭД, с дальнейшим их выходом из строя. Для решения данной проблемы необходимо удалить провода А175-А178 от источника помехи (провод Т45) путем изменения укладки монтажа проводов А175-178 или провода Т45 или максимально возможно развести данные провода друг от друга на одном кронштейне. Провод Т45 можно отвести в противоположную сторону от проводов А175-178 (рис. 4, б). Также существует вариант, при котором отсутствует необходимость замены направления монтажа вышеуказанных проводов, но тогда для исключения наводки (помехи) следует экранировать провод Т45 или провода А175-178. Учитывая большое количество изгибов проводов, необходимо увеличить их длину (рис. 6).

Для исключения неисправности – «бросков» тока в режиме рекуперации – предлагается изменить схему монтажа проводов А175-178 на электровазе серии ЭП1 (рис. 1). Четыре провода идут от каждого ДУК (1) далее по горизонтальному кронштейну (2). Провода соединяются в одной точке и далее идут по вертикальному кронштейну (3), после чего проходят по горизонтальному кронштейну (4) панели защиты ББР от перегрузок (А6). Затем они переходят по перпендикулярному кронштейну для проводов (5), проходя через все ВВК, и доходят до пневматического блока № 10. Далее провода заходят в место укладки монтажа проводов (6) над коридором электровазы и проходят до клеммной рейки (7) МСУД-Н на клеммы А175-178 (8).

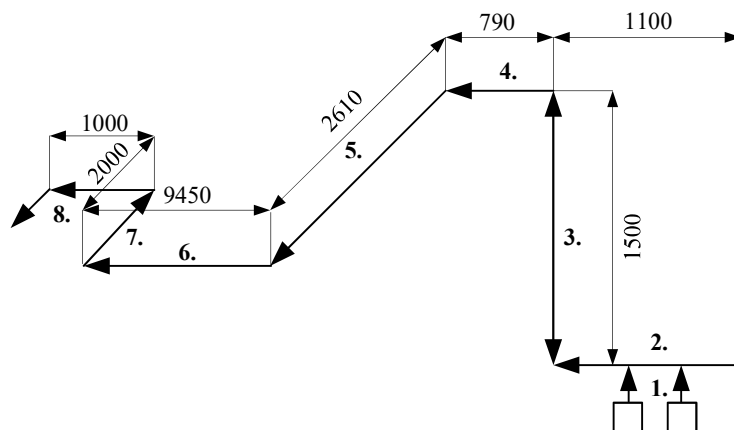


Рис. 6. Расчетная длина проводов

Fig. 6. Estimated length of wires

IV. Заключение

Проведенные анализы файлов поездок значительного числа электровозов, на которых были выявлены «броски тока» в инверторном режиме при рекуперативном торможении, выявили следующие закономерности.

1. При работе ВИП в инверторном режиме и при включенном ЭПТ наблюдается нарушение коммутации, которое приводит к аварийному нарастанию тока ТЭД с последующим срабатыванием защиты (отключение БВ).

2. При включенном автомате ЭПТ наблюдается сильное влияние ЭПТ на показания значений угла коммутации γ и угла запаса инвертора β , но при отключенном автомате ЭПТ данные значения стабилизируются, а ВИП в инверторном режиме работает исправно.

3. Укладка провода Т45 ЭПТ находится в непосредственной близости с проводами А175-178 датчиков угла коммутации (рис. 4, а). Установлено, что на электровозах, которые не проходили капитальный ремонт, провод Т45 проложен по другому маршруту (рис. 4, б).

4. Пересечение проводов А175-178 датчиков угла коммутации и провода Т45 ЭВР305М (рис. 4, а) приводит к тому, что на провода А175-178 ДУК-4 от провода Т45 в момент, когда через него проходит переменный ток частотой 625 Гц и амплитудой 50 В, наводятся помехи, что, в свою очередь, приводит к некорректному формированию и передачи сигналов на МСУД. После этого происходит нарушение коммутации ВИП в инверторном режиме, что, соответственно, приводит к аварийному нарастанию тока якоря

тягового электродвигателя – «броску» тока. В завершение процесса нарастания тока происходит аварийное отключение всех ТЭД через быстродействующие выключатели.

Проведенный анализ дает основание заключить, что готовность локомотива к нормальному функционированию ограничивается, прежде всего, интенсивной выработкой технического ресурса электрических соединений и электронных блоков регулировки. Предлагаемый метод функционального диагностирования позволяет не только выявить развивающуюся неисправность и предотвратить необратимое явление, но и обнаруживать развивающийся дефект на ранней стадии, планировать сроки и объемы ремонта оборудования. Применение информационно-измерительных АСКД позволяет автоматизировать технологию и организацию технического обслуживания и текущего ремонта электровозов [14, 15].

Для существующего парка электровозов диагностика в настоящее время не заменяет плановую систему содержания, а является дополнением к ней. Внедрение аппаратуры диагностики в традиционную планово-предупредительную систему ремонта приводит к ее индивидуализации, адаптации к техническому состоянию каждого электровоза в отдельности за счет изменения ранее единых для всего парка норм периодичности и объема ремонта или ТО-2. Оперативные решения по устранению неисправности в большинстве случаев могут приниматься и без использования автоматизированной системы контроля и диагностики, поскольку алгоритм диагностического комплекса вырабатывает информацию о техническом состоянии проверяемых узлов в виде, позволяющую сопоставить фактическое значение контролируемых параметров со значением браковочных. В этом случае роль АСКД сводится только к распечатке протоколов диагностирования и к пополнению базы данных с последующим хранением и использованием массива статистических данных, необходимого для решения неоперативных задач и оценки остаточного ресурса узлов локомотива.

© Рыжова Е.Л., 2024

© Осипов В.Ю., 2024

Поступила в редакцию 23.06.2024

Принята к публикации 11.07.2024

Received 23.06.2024

Accepted 11.07.2024

Библиографический список

- [1] Четвергов В.А., Овчаренко С.М., Бухтеев В.Ф. Техническая диагностика локомотивов. Москва: УМЦ ЖДТ, 2020. – 371 с.

- [2] Аболмасов А.А., Лисин Д.О., Мельников В.А. Совершенствование методов диагностирования электрических машин локомотивов по данным микропроцессорных систем управления // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2019. № 3 (69). С. 69-75. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).69-75
- [3] Губарев П.В., Шапшал А.С., Шабаев В.В. Методы диагностирования электрических цепей локомотивов // *Сборка в машиностроении, приборостроении*. 2021. № 4. С. 155-161. DOI 10.36652/0202-3350-2021-22-4-155-161
- [4] Лакин И.К., Семченко В.В., Семенов А.П. Автоматизация управления надежностью оборудования локомотивов // *Локомотив*. 2020. № 9 (765). С. 35-36.
- [5] Губарев П.В., Глазунов Д.В., Яицков И.А. Надежность подвижного состава. Ростов-на-Дону: РГУПС, 2021. – 80 с.
- [6] Вдовенко М.Ю., Зотов М.Д., Мельников В.А. Устройство для регистрации данных телеметрии тягового электродвигателя: предпосылки создания и особенности диагностики // *Вестник Института Проблем Естественных Монополий: Техника железных дорог*. 2022. № 1 (57). С. 31-37.
- [7] Бурченков В.В. Автоматизация технического контроля и диагностики подвижного состава железных дорог. Гомель: БелГУТ, 2020. – 254 с.
- [8] Лакин И.К., Мельников В.А. Организация ремонта тепловозов по диагностическим данным современных МСУ // *Современные проблемы железнодорожного транспорта*, Март 21-22, 2019, Москва, Россия. М.: РУТ, 2019. Т. 1. С. 32-39.
- [9] Цихалевский И.С., Русаков А.Г. Ключевой показатель нового бизнес-процесса организации эксплуатации и ремонта как инструмент контроля технического состояния локомотивов // *Вестник Уральского Государственного Университета Путей Сообщения*. 2021. № 1 (49). С. 40-45. DOI: 10.20291/2079-0392-2021-1-40-45
- [10] Семенов А.П. Модель управления жизненным циклом локомотивов с использованием современных методов технического диагностирования: автореф. дис. докт. техн. наук, МИИТ, Москва, 2022. – 379 с.
- [11] Знаенко В.Н., Линьков А.О., Мельниченко О.В. Выпрямительно-инверторный преобразователь электровоза на базе IGBT-транзисторов как способ повышения пропускной способности участков железной дороги // *Известия Транссиба*. 2021. № 1 (45). С. 66-75.
- [12] Хромов И.Ю. Анализ влияния режимов эксплуатации на техническое состояние локомотивов: автореф. дис. канд. техн. наук, РУТ, Москва, 2021. – 181 с.
- [13] Технологическое и диагностическое оборудование для депо, НИИТКД. [Электронный ресурс]. URL: www.niitkd.com (дата обращения 28.07.2024).
- [14] Матюхин В.Г. Искусственный интеллект транспорта (ИСУЖТ) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.vniias.ru/images/img/ISUZHT/pdf/2019.pdf> (дата обращения 28.07.2024).
- [15] Семенов А.П., Семченко В.В., Лакин И.К. Перспективы развития цифровых технологий в сервисных ремонтных локомотивных депо // *Локомотив*. 2020. № 11. С. 2-5.

References

- [1] V.A. Chetvergov, S.M. Ovcharenko and V.F. Bukhteev, *Tekhnicheskaya diagnostika lokomotivov* [Technical diagnostics of locomotives], Moscow: UMTS ZhDT, 2020 (in Russian).
- [2] A.A. Abolmasov, D.O. Lisin and V.A. Melnikov, "Improving the methods of diagnosing electric machines of locomotives according to the data of microprocessor control systems", *Modern technologies. System analysis. Modeling*, vol. 3, no. 63, pp. 69-75, 2019. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).69-75
- [3] P.V. Gubarev, A.S. Shapshal and V.V. Shabaev, "Methods for diagnosing electrical problems locomotive chains", *Assembly in mechanical engineering, instrumentation*, no. 4, pp. 155-161, 2021. DOI 10.36652/0202-3350-2021-22-4-155-161
- [4] I.K. Lakin, V.V. Semchenko and A.P. Semenov, "Avtomatizaciya upravleniya nadyozhnost'yu oborudovaniya lokomotivov [Automation of reliability control of locomotives equipment]", *Locomotive*, vol. 9, no. 765, pp. 35-36, 2020 (in Russian).
- [5] P.V. Gubarev, D.V. Glazunov and I.A. Yaitskov, *Nadezhnost' podvizhnogo sostava* [Reliability of rolling stock]. Rostov-on-Don: RSTU, 2021 (in Russian).
- [6] M.Yu. Vdovenko, M.D. Zotov, V.A. Melnikov, "The device for recording traction motor telemetry data: prerequisites for creation and features of diagnostics", *Bulletin of the Institute for Natural Monopolies Problems: Railway Engineering*, vol. 1, no. 57, pp. 31-37, 2022.
- [7] V.V. Burchenkov, *Avtomatizaciya tekhnicheskogo kontrolya i diagnostiki podvizhnogo sostava zheleznyh dorog* [Automation technical control and diagnostics of railway rolling stock]. Gomel: BSUT, 2020 (in Russian).
- [8] I.K. Lakin and V.A. Melnikov, "Organizaciya remonta teplovozov po diagnosticheskim dannym sovremennyh MSU [Organization of repair of diesel locomotives according to diagnostic data of modern MSUs]", in proc. *Sovremennye problemy zheleznodorozhnogo transporta* [Modern problems of railway transport], Mar. 21-22, 2019, Moscow, Russia, vol. 1, pp. 32-39 (in Russian).
- [9] I.S. Tsikhalevsky and A.G. Rusakov, "A key indicator of the new business process of the organization of operation and repair as a tool for monitoring the technical condition of locomotives", *Herald of the Ural State University of Railway Transport*, vol. 1, no. 49, pp. 40-45, 2021. DOI: 10.20291/2079-0392-2021-1-40-45
- [10] A.P. Semenov, "Model' upravleniya zhiznennym ciklom lokomotivov s ispol'zovaniem sovremennyh metodov tekhnicheskogo diagnostirovaniya [A model for managing the life cycle of locomotives using modern methods of technical diagnostics]", Doct. of Tech. S. thesis, MIIT, Moscow, Russia, 2022 (in Russian).
- [11] V.N. Znayenok, A.O. Linkov and O.V. Melnichenko, "Rectifier-inverter converter of an electric locomotive based on IGBT transistors as a way to increase the capacity of railway sections", *Journal of Transsib Railway Studies*, vol. 1, no. 45, pp. 66-75, 2021.
- [12] I.Yu. Khromov, "Analiz vliyaniya rezhimov ekspluatatsii na tekhnicheskoe sostoyanie lokomotivov [Analysis of the influence of operating modes on the technical condition of locomotives]", Cand. of Tech. S. thesis, RUT, Moscow, Russia, 2021 (in Russian).

- [13] *Tekhnologicheskoe i diagnosticheskoe oborudovanie dlya depo [Technological and diagnostic equipment for the depot]*, NIITKD [Online]. Available at: www.niitkd.com [Accessed: Jul. 28, 2024] (in Russian).
- [14] V.G. Matyukhin, *Iskusstvennyj intellekt transporta (ISUZHT) [Artificial Intelligence of transport (AITS)]* [Online]. Available at: <http://www.vniias.ru/images/img/ISUZHT/pdf/2019.pdf> [Accessed: Jul. 28, 2024] (in Russian).
- [15] A.P. Semenov, V.V. Semchenko, I.K. Lakin, “Perspektivy razvitiya cifrovyyh tekhnologiy v servisnyh remontnyh lokomotivnyh depo [Prospects for the development of digital technologies in service repair locomotive depots]”, *Lokomotiv*, no. 11, pp. 2-5, Nov. 2020 (in Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Рыжова Елена Львовна, кандидат технических наук, доцент Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.

Осипов Владислав Юрьевич, ведущий технолог эксплуатационного локомотивного депо Саратов – Пассажирское – структурного подразделения Приволжской дирекции тяги структурного подразделения Дирекции тяги – филиала ОАО «РЖД», г. Саратов, Российская Федерация.

Elena L. Ryzhova, Cand. Sci. (Eng.), associate professor of the St. Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I, St. Petersburg, Russian Federation.

Vladislav Yu. Osipov, leading technologist of the Saratov – Passenger Operational Locomotive Depot – structural subdivision of the Volga Traction Directorate of the structural subdivision of the Traction Directorate – branch of JSC Russian Railways, Saratov, Russian Federation