

Диагностирование электромашинного преобразователя электропоезда в условиях эксплуатации



Владимир КОСТЮКОВ
Vladimir N. KOSTYUKOV

Алексей ЦУРПАЛЬ
Alexey E. TSURPAL



*Костюков Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор, генеральный директор ООО НПЦ «Динамика» (Научно-производственный центр «Диагностика, надежность машин и комплексная автоматизация»), Омск, Россия.
Цурпаль Алексей Евгеньевич – научный сотрудник ООО НПЦ «Динамика», Омск, Россия.*

Дается оценка существующей системы эксплуатации и ремонта подвижного состава железных дорог. Обозначены основные ее недостатки и способы их устранения, одним из которых является организация надежного мониторинга технического состояния наиболее ответственного оборудования. Приведены описание и особенности функционирования электромашинного преобразователя. Предложена методика диагностирования преобразователя электровоза по параметрам спектра трехфазного переменного тока, в том числе исправного и предаварийного состояния агрегатов. Проверена и подтверждена адекватность методики, это сделано на основе данных, полученных при эксплуатации экспериментальной установки.

Ключевые слова: электровоз, техническая диагностика, электромашинный преобразователь, дисбаланс, спектр переменного тока, бортовая система мониторинга, экспериментальная установка.

Повышение эксплуатационной надежности моторвагонного подвижного состава (МВПС) путем своевременного обнаружения и устранения дефектов на начальной стадии их развития всегда считалось приоритетной задачей системы технического обслуживания и ремонта железнодорожной техники [1].

Существующее положение, при котором подвижной состав поддерживается в надлежащем техническом состоянии за счет системы планово-предупредительных обслуживания и ремонта, предполагает расход большого объема ресурсов на проведение регламентированных работ вне зависимости от фактического состояния того или иного агрегата секции МВПС. Говоря иначе, скрытый характер зарождения дефектов и появления неисправностей приводит к внеплановому ремонту и как следствие – к дополнительным затратам.

Решению обозначенных проблем может помочь бортовая система мониторинга технического состояния, обеспечивающая оценку в реальном времени каждого агрегата и формирование объективной информации о возможности его дальнейшей эксплуатации. Эффективность такой систе-

мы заключается в ее непрерывной работе, то есть постановке диагноза с периодом, во много раз меньшим периода развития неисправности до критического (предельного) состояния [2], что дает возможность ориентироваться на фактическое техническое состояние подвижного состава с учетом от ресурсоемкой планово-предупредительной системы ремонта.

Одной из задач при внедрении упомянутой системы эксплуатации является разработка методики диагностирования технического состояния оборудования вспомогательных цепей МВПС.

Существующие методики функционального диагностирования электрооборудования по параметрам спектра электрического тока предполагают, что в ходе проверки оборудование работает в установленном режиме, а структура электрической цепи не изменяется во времени [3]. Между тем, вспомогательные цепи современных электропоездов обладают сложной топологией и переменной структурой, состоящей из высоковольтной части — цепи постоянного тока с напряжением 3,3 кВ, которая обеспечивает пуск, питание и защиту электромашинного преобразователя, а также питание высоковольтных печей отопления, и низковольтной части — трехфазной цепи переменного тока с линейным напряжением 220 В и частотой 50 Гц, генерируемого электромашинным преобразователем для питания вспомогательного оборудования электропоезда, зарядки аккумуляторной батареи и питания цепей управления.

Проведенные исследования [4], а также технический анализ порч, неисправностей и непланового ремонта электропоездов [5] показывают, что в системе вспомогательных цепей постоянного тока, наиболее подверженным внезапным отказам является электромашинный преобразователь (далее — преобразователь).

Преобразователь — это двухмашинный агрегат, состоящий из электрического двигателя постоянного тока и синхронного генератора, расположенных на одном валу. На электропоездах серии ЭД4М начиная с 2011 года выпуска установлен преобразователь 1ПВ.7. Двигатель его представляет собой двухколлекторную машину постоянного тока со смешанным

возбуждением. Одна из обмоток возбуждения (серийная) включена последовательно с обмоткой якоря, другая (независимая) в процессе пуска получает питание от аккумуляторной батареи, а при установленном режиме работы — от выпрямительной установки, питаемой в свою очередь трехфазным напряжением генератора. Генератор преобразователя — четырехполюсная синхронная машина с явно выраженными полюсами, расположенными на валу. Возбуждение генератора — независимое, обмотка возбуждения получает питание аналогично независимой обмотке возбуждения двигателя.

К выводам трехфазной статорной обмотки генератора постоянно подключены выпрямительная установка для питания обмоток возбуждения преобразователя и трехфазный трансформатор, от которого, в свою очередь, получает питание шестипульсовый неуправляемый выпрямитель, обеспечивающий низковольтные цепи управления выпрямленным током напряжением 110 В и заряд аккумуляторной батареи. Остальные потребители пользуются трехфазной цепью переменного тока по необходимости — компрессорный агрегат подключается при падении давления в питательной магистрали электропоезда ниже 6,5 кгс/см² и отключается при достижении давления 8 кгс/см², а электрические двигатели вентиляции тамбуров и климатической установки, как и освещение салона и дополнительный обогрев кабины, включаются локомотивной бригадой [6].

Условия работы преобразователя характеризуются существенным колебанием питающего напряжения в пределах от 2,7–4 кВ, а также частым изменением величины нагрузки от 5–7 А на фазу в режиме питания собственных обмоток возбуждения и цепей управления до 170 А в режиме электродинамического торможения, когда ток от генератора преобразователя получает управляемый полупроводниковый выпрямитель, питающий обмотки возбуждения тяговых электродвигателей. На условия работы преобразователя влияют, кроме того, колебания температуры и влажности окружающей среды, значительные знакопеременные динамические нагрузки [7] и, что немаловажно, несоблюдение правил эксплуатации. Наличие перечисленных



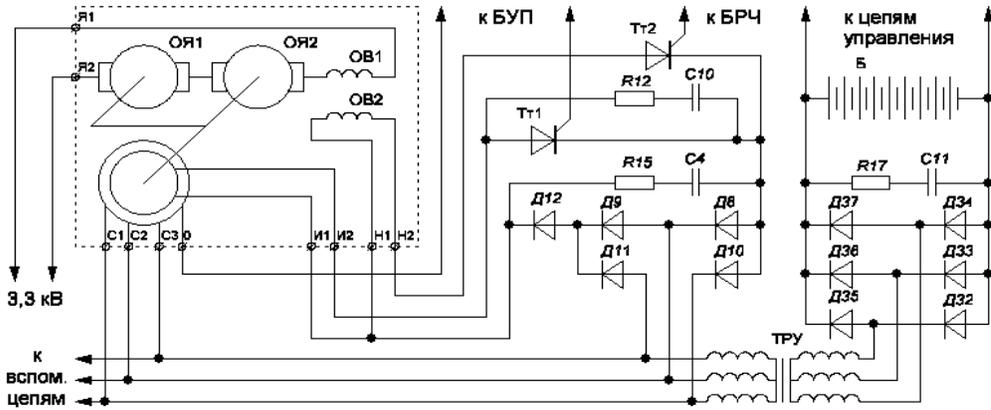


Рис. 1. Схема вспомогательных цепей электропоезда постоянного тока при работе с минимальной нагрузкой.

факторов существенно снижает ресурс агрегата и может явиться причиной его преждевременного внезапного выхода из строя и связанных с этим материальных потерь.

Для эффективного диагностирования преобразователя по параметрам спектра трехфазного переменного тока следует осуществлять анализ спектра трехфазного переменного тока при работе преобразователя с минимальной нагрузкой. Это позволяет исключить влияние токов потребителей на форму сигнала переменного тока генератора преобразователя. В данном режиме, как уже отмечалось, почти вся генерируемая мощность расходуется на питание обмоток возбуждения и цепей управления. На рис. 1 приведена упрощенная электрическая схема вспомогательных

цепей электропоезда при работе с минимальной нагрузкой.

Спектр фазного тока преобразователя при таком режиме (рис. 2) достаточно широк. Присутствуют все гармоники основной частоты, наличие которых вызвано включением в трехфазную цепь однополупериодных выпрямителей для питания обмоток возбуждения преобразователя. Их уровень волнообразно убывает с увеличением частоты подобно функции $|\sin(x)|/x$. Исключением здесь являются гармоники порядка $6 \cdot k \pm 1$ (k – натуральное число), генерируемые трехфазным мостовым выпрямителем, служащим для зарядки аккумуляторной батареи и питания цепей управления.

Физический принцип, положенный в основу спектр-токовой диагностики,

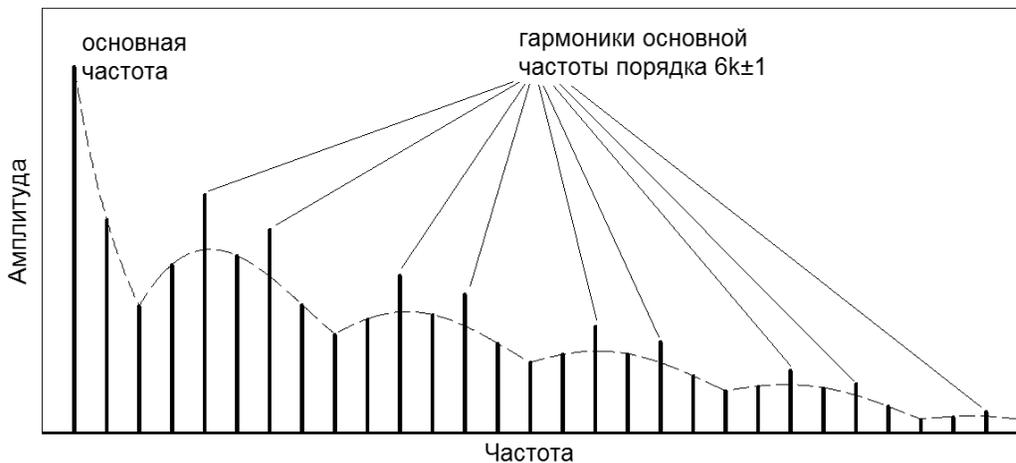


Рис. 2. Модель спектра фазного тока преобразователя при работе вспомогательных цепей с минимальной нагрузкой.



Рис. 3. Структурная схема экспериментальной установки.

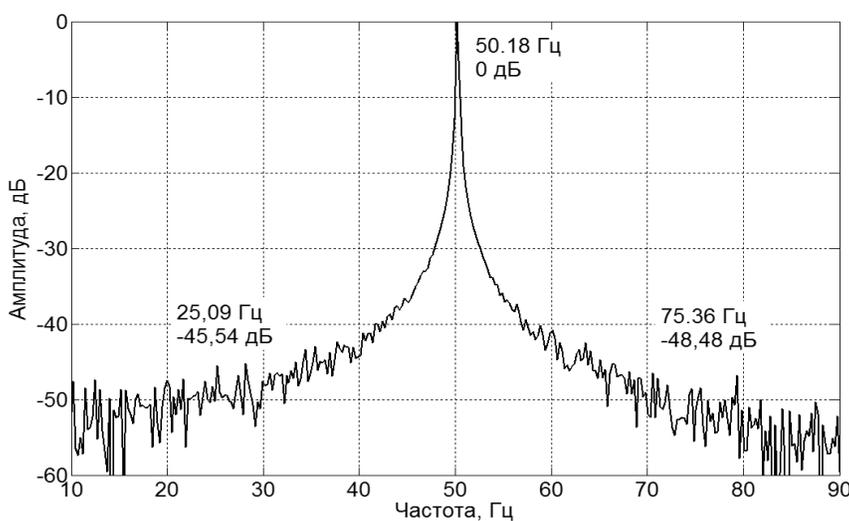


Рис. 4. Спектр фазного тока исправного преобразователя при работе с минимальной нагрузкой.

заключается в том, что любые возмущения в работе электрической и/или механической части электрической машины приводят к изменениям магнитного потока в зазоре электрической машины и, следовательно, к модуляции потребляемого или генерируемого тока.

Анализ спектра тока – способ диагностики, при котором в течение заданного интервала времени записывают мгновенные значения токов, потребляемых или генерируемых машиной, производят быстрое преобразование Фурье и выполняют сравнение значений амплитуд на частотах проявления дефектов с уровнем сигнала на основной частоте тока.

Как показывает практика эксплуатации преобразователей, основными причинами выхода их из строя остаются разбандажировка якорей и дефекты подшипников, развитие которых происходит намного быстрее при появлении дисбаланса ротора.

Поэтому для раннего выявления «проблемных» машин стоит уделять особое внимание появлению в спектре тока обратной частоты в виде модуляции гармоник основной частоты. Так как генератор преобразователя является четырехполюсной машиной, частота вращения вала преобразователя всегда равна половине основной частоты тока, и при наличии дисбаланса ротора в спектре тока должны появиться боковые полосы на расстоянии 25 Гц слева и справа от обратной и ее гармоник. Таким образом, при вращении вала преобразователя со скоростью 1500 об/мин и соответствующей частоте генерируемого тока 50 Гц надежным диагностическим признаком дисбаланса будет наличие в спектре тока составляющих на частотах 25, 75, 125 Гц и т. д.

Методика диагностирования преобразователей, опирающаяся на анализ спектра трехфазного переменного тока, в данный



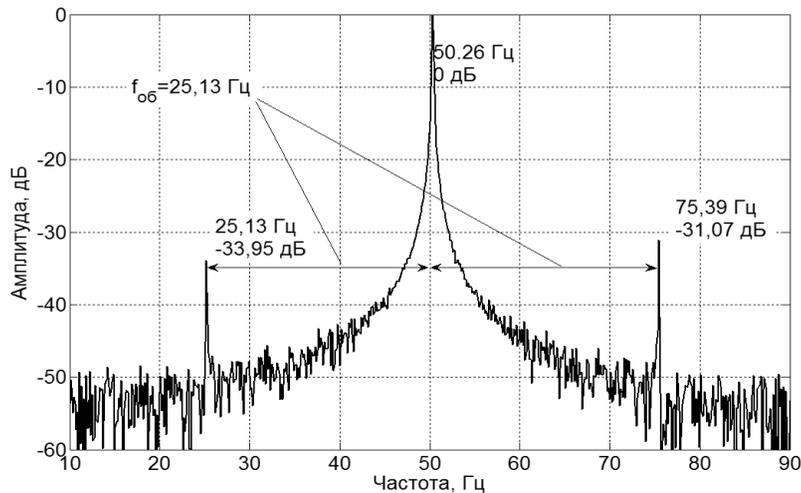


Рис. 5. Спектр фазного тока предаварийного преобразователя при работе с минимальной нагрузкой.

момент реализована в виде экспериментальной установки (рис. 3), состоящей из трансформаторных преобразователей тока, подключенных к аналоговым входам измерительного модуля на базе 8-канального 16-битного дельта-сигма-АЦП и объединенного с ним в локальную сеть ноутбука со специализированным программным обеспечением.

С целью получения экспериментальных данных были записаны сигналы трехфазных переменных токов преобразователей на стадии ввода в эксплуатацию и преобразователей, отработавших от одного до двух лет, в том числе и находившихся в предаварийном состоянии.

В качестве примера на рис. 4 приведена спектрограмма фазного тока исправного преобразователя, а на рис. 5 — преобразователя, находящегося в предаварийном состоянии. Из рис. 5 видно, что в спектре тока предаварийного преобразователя ярко выражены составляющие с частотой 25 и 75 Гц — это модуляция основной частоты, вызванная частотой вращения вала преобразователя. Наличие такой составляющей говорит о дисбалансе ротора [2] преобразователя. Причем в результате осмотра выяснилось, что причиной дисбаланса явилась разбандажировка якорной обмотки двигателя преобразователя.

ВЫВОДЫ

1. Наиболее частой причиной выхода из строя электромашинных преобразо-

вателей является разбандажировка якоря и дефекты подшипников.

2. В спектре тока генератора однозначно выделяется оборотная частота.

3. Установлено, что при наличии дисбаланса ротора электромашинного преобразователя в спектре трехфазного переменного тока появляются составляющие на оборотной частоте в виде модуляции гармоник основной частоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безопасная ресурсосберегающая эксплуатация МВПС на основе мониторинга в реальном времени / В. Н. Костюков, С. В. Сизов, В. П. Аристов, А. В. Костюков // Наука и транспорт. — 2008 (спец. выпуск). — С. 8–13.
2. Костюков В. Н., Науменко А. П. Основы диагностики и мониторинга машин: учеб. пособие. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011. — 360 с.
3. Петухов В. С., Соколов В. А. Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока // Новости электротехники. — 2005. — № 1 (31). — С. 50–52.
4. Цурпаль А. Е. Анализ неисправностей вспомогательных машин моторвагонного подвижного состава с целью их диагностирования // Наука, образование, бизнес: Материалы Всерос. науч. — практ. конф. — Омск: Из-во ОмГТУ. — 2011. — С. 222–223.
5. Технический анализ порч, неисправностей и непланового ремонта электропоездов за 2008 год. Управление пригородных пассажирских перевозок Департамента пассажирских сообщений ОАО «РЖД». — М., 2009.
6. Просвирина Б. К. Электропоезда постоянного тока с электрическим торможением. — М.: Трансиздат, 2000. — 328 с.
7. Федюков Ю. А., Марченко Е. А., Фошкина С. В. Режимы работы и диагностика вспомогательных машин электровозов переменного тока // Локомотив. — 2011. — № 7. — С. 32–33.