

УДК 621.333

АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВЗОВ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В.В. Харламов, П.К. Шкодун, Д.И. Попов, А.В. Проненко

Омский государственный университет путей сообщения

E-mail: emoe@omgups.ru

Предложено проводить приемо-сдаточные испытания тяговых электродвигателей электровозов не только в стационарных, но и в переходных режимах. На основе математического моделирования переходных процессов в цепи обмотки якоря предложен подход, позволяющий определить требования к силовому оборудованию испытательной станции, необходимые для обеспечения испытания тяговых электродвигателей с учетом параметров перегона, а также провести оценку возможности реализации необходимых режимов с использованием существующих испытательных станций.

Ключевые слова:

Тяговый электродвигатель, диагностирование, математическое моделирование, реальные условия эксплуатации.

Key words:

Traction electric motor, diagnostics, mathematical modeling, actual environment of operations.

Повышение качества технического обслуживания электровозов в условиях локомотивного депо, несомненно, является актуальным. Одним из путей достижения указанной цели является решение задачи совершенствования методики проведения приемо-сдаточных испытаний тяговых электродвигателей (ТЭД), в том числе при их испытаниях на коммутационную устойчивость.

В настоящее время оценку коммутационной устойчивости работы ТЭД при проведении приемо-сдаточных испытаний производят в соответствии с ГОСТ 2582-81 и разработанными технологическими картами в стационарном режиме нагрузки [1]. Вместе с тем, уровень искрения под щетками ТЭД зависит не только от постоянной составляющей тока якоря, но и от его производной по времени, которая воздействует на магнитный поток в зоне коммутации [2], что приводит к усилению неидентичности коммутационных циклов в секциях обмотки якоря и, следовательно, к значительному усложнению настройки коммутации. Возникновение искрения щеток и появление круговых огней при эксплуатации ТЭД в большей степени проявляется в нестационарных (переходных) режимах работы электродвигателей, например, при трогании электровоза, боксовании.

Следовательно, необходимо проводить испытания ТЭД не только в стационарных, но и в переходных режимах работы с учетом условий эксплуатации. Для этого необходимо сформировать методику получения информации об особенностях работы ТЭД электровоза на участке железной дороги с целью определения параметров переходных режимов в силовой цепи ТЭД. С другой стороны, полученная информация может служить основой для уточнения условий проведения приемо-сдаточных испытаний и формирования требований к силовому оборудованию испытательной станции ТЭД.

Для возможности детального анализа данного вопроса необходимо провести математическое моделирование переходных процессов в цепи обмот-

ки якоря ТЭД, которое позволит получить необходимые данные для определения режимов, устанавливаемых при проведении испытаний. В качестве исходных данных для математического моделирования переходных режимов возможно использование результатов измерений, выполненных на перегоне Ишим–Московка Западно-Сибирской железной дороги, и параметров эксплуатируемых на данном перегоне электровозов ВЛ-10 с тяговыми двигателями ТЛ-2К1. На данном перегоне рассмотрены переходные режимы при начале движения электровоза с места, осуществлении ослабления возбуждения ТЭД и др. Данные измерений параметров по одному из участков выбранного перегона приведены на рис. 1. Помимо напряжения контактной сети, схемы соединения силовых цепей ТЭД и скорости движения электровоза также регистрировалась степень ослабления возбуждения.

На основании электрической схемы соединений электровоза ВЛ-10 [3] и соответствующей схемы замещения (рис. 2) сформирована система дифференциальных уравнений, описывающая переходные процессы в якорной цепи ТЭД:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dI_a}{dt} = \frac{1}{\Sigma L_a + L_{дп}(t)} \times \\ \times [U_a(t) - n(t) \cdot C_e \cdot \Phi(I_b) - I_a \cdot \Sigma R_a]; \\ \frac{dI_b}{dt} = \frac{1}{L_b + L_{н.ш}} \cdot \left[\begin{array}{l} (U_a(t) - n(t) \cdot C_e \times \Phi(I_b)) \times \\ \times \frac{L_{н.ш}}{\Sigma L_a + L_{дп}(t)} - \dots \\ \dots - I_b (R_b + R_{ш}(t)) + \\ + I_a \left[R_{ш}(t) - \Sigma R_a \cdot \frac{L_{н.ш}}{\Sigma L_a + L_{дп}(t)} \right] \end{array} \right], \end{array} \right. \quad (*)$$

где I_a , I_b – ток якоря и возбуждения, А; t – время, с; $U_a(t)$ – напряжение, приходящееся на один ТЭД, равное отношению напряжения сети к коэффициенту, учитывающему схему соединения двигателей

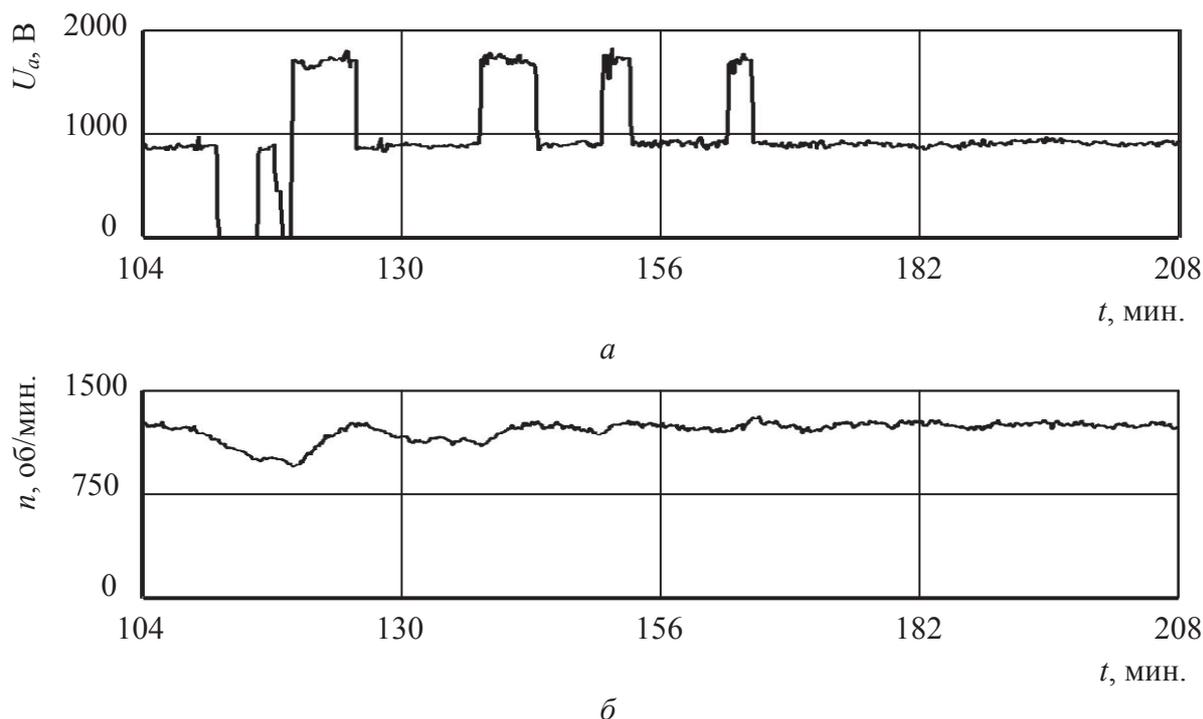


Рис. 1. Фрагмент результатов измерений, выполненных на участке перегона Ишим–Московка Западно-Сибирской железной дороги: а) напряжение, приходящееся на один ТЭД, с учетом схемы соединения (серийное, серийс-параллельное, параллельное); б) частота вращения якоря ТЭД

(серийное, серийс-параллельное, параллельное), В; $n(t)$ – частота вращения якоря, об/мин; $C_e \cdot \Phi(I_B) = E_a/n$ – отношение ЭДС обмотки якоря к частоте вращения, В·мин/об; $R_{ш}(t)$ – суммарное сопротивление в цепи, шунтирующей обмотку возбуждения, задающее степень ослабления возбуждения, Ом; ΣR_a – сумма сопротивлений обмоток якоря $R_{я}$, добавочных полюсов $R_{д.п.}$, компенсационной $R_{к.о}$ и возбуждения R_B , Ом; ΣL_a – сумма индуктивностей обмоток якоря $L_{я}$, добавочных полюсов $L_{д.п.}$, компенсационной $L_{к.о}$ и возбуждения L_B , Гн; L_B , $L_{и.ш.}$, $L_{др}(t)$ – индуктивности обмотки возбуждения, индуктивного шунта и дросселя, Гн.

При этом следует учитывать, что индуктивность $L_{и.ш.}$ является функцией, зависящей от тока, проте-

кающего по индуктивному шунту $I_{и.ш.} = I_a - I_B$, т. е. $L_{и.ш.} = f(I_a - I_B)$.

В случае переключения схемы соединения ТЭД (серийное, серийс-параллельное, параллельное), которое происходит при полном возбуждении, необходимо решить только одно (первое) дифференциальное уравнение из системы (*). При этом в сумму сопротивлений ΣR_a необходимо включить сопротивление добавочных резисторов $R_d(t)$, вводимых в цепь якоря в пусковых позициях главного вала контроллера машиниста.

При решении представленной системы дифференциальных уравнений с нелинейными коэффициентами (*) использована программа *Mathcad* и реализованный в ней численный метод решения

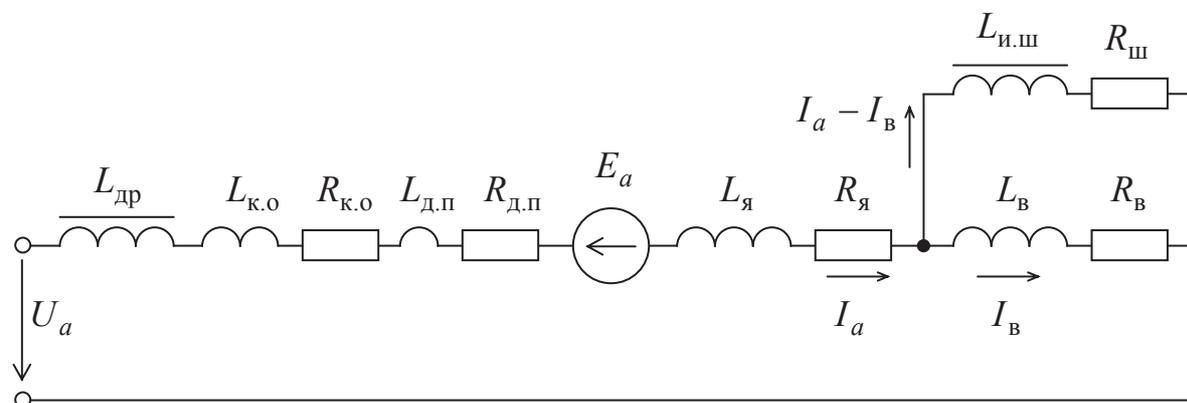


Рис. 2. Схема замещения силовой цепи электровоза ВЛ-10

систем дифференциальных уравнений Рунге–Кутты четвертого порядка, позволяющий с необходимой точностью найти численные решения и визуализировать их в виде графиков зависимости тока якоря от времени $I_a=f(t)$.

В результате решения системы уравнений получены графики изменения тока якоря ТЭД в переходных режимах. Одна из характерных кривых изменения тока якоря при переключении с полного на ослабленное возбуждение представлена на рис. 3. По расчетным кривым определен ряд значений производной тока якоря по времени dI_a/dt , как тангенс угла α между осью абсцисс и касательной к кривой тока якоря в начале переходного процесса.

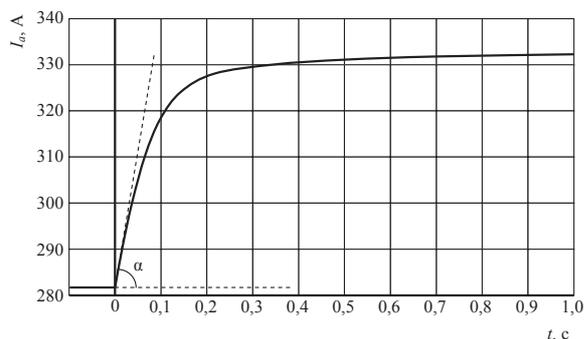


Рис. 3. Расчетная кривая тока якоря в переходном процессе при переключении с режима полного на первый режим ослабления возбуждения

Статистическая обработка результатов, полученных на расчетном перегоне для переходных процессов при переключениях в силовой цепи, позволила получить гистограммы распределения скорости изменения тока якоря. Одна из характерных гистограмм, соответствующих переходу с полного на ослабленное возбуждение для рассматриваемого участка железной дороги, приведена на рис. 4. Количество интервалов группирования на гистограмме выбрано в соответствии с формулой Стердженса [4].

Полученная гистограмма наглядно отображает распределение значений производной тока якоря для рассмотренного перегона и может быть ис-

пользована в качестве исходной информации для уточнения условий приемо-сдаточных испытаний, необходимых для решения задачи обеспечения возможности испытательной станции моделировать переходные процессы, соответствующие тем, что ТЭД испытывает в эксплуатации. В частности, из гистограммы видно, что производная тока якоря ТЭД на рассмотренном перегоне наиболее часто имеет значение от 100 до 200 А/с, а максимальное значение не превышает 800 А/с.

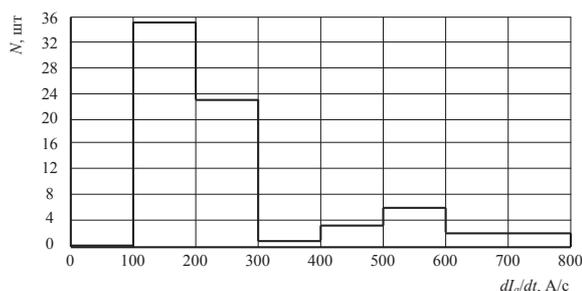


Рис. 4. Гистограмма распределения скорости изменения тока dI_a/dt

Выводы

1. В связи со значительным ухудшением условий коммутации в нестационарных режимах предложено при приемо-сдаточных испытаниях проводить оценку коммутационной устойчивости ТЭД не только в стационарных, но и в переходных режимах.
2. На основании численного решения системы дифференциальных уравнений, описывающих переходные процессы в якорной цепи ТЭД, предложена методика получения информации необходимой для формирования требований к силовому оборудованию испытательной станции тяговых электродвигателей.
3. Результаты математического моделирования переходных процессов в якорной цепи ТЭД позволяют провести оценку возможности реализации необходимых переходных режимов на существующих испытательных станциях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 2582-81. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия.
2. Авилев В.Д. Методы анализа и настройки коммутации машин постоянного тока. — М.: Энергоатомиздат, 1995. — 237 с.

3. Кикнадзе О.А. и др. Электровозы ВЛ-10 и ВЛ-10У. Руководство по эксплуатации. — М.: Транспорт, 1981. — 519 с.
4. Абенгауз Г.Г. Справочник по вероятностным расчетам. — М.: Воениздат, 1970. — 536 с.

Поступила 24.01.2012 г.