

Выбор рациональных схем и режимов нагружения тяговых электрических машин при приемо-сдаточных испытаниях

Приведен анализ состояния и направлений решения проблемы выбора рациональных систем и режимов взаимного нагружения для проведения приемо-сдаточных испытаний тяговых электрических машин постоянного и пульсирующего тока.

В соответствии с ГОСТ 2582-81 [1] и Правилами ремонта тяговых электромашин (ЦТ-0063, ЦТ-0064 [2, 3]) приемо-сдаточным испытаниям подвергается каждая вновь изготовленная либо отремонтированная тяговая электрическая машина. Большая часть программы приемо-сдаточных испытаний тяговых двигателей выполняется на стенде взаимной нагрузки [4]. Испытания вспомогательных машин, как правило, выполняют методом непосредственной нагрузки, но на ряде предприятий по производству и ремонту тягового подвижного состава этот тип электромашин также испытывают методом взаимной нагрузки, который позволяет существенно снизить расходы электроэнергии на испытание.

Наибольшее распространение на станциях для испытания тяговых электромашин получила схема взаимной нагрузки с использованием вольтодобавочной машины (ВДМ) и линейного генератора (ЛГ) [4]. Особенность схемы с использованием электромашинных преобразователей заключается в том, что в качестве ВДМ и ЛГ, как правило, используются однотипные (или близкие по параметрам) с испытуемыми электромашинными, номинальные мощности которых значительно превышают необходимые для испытания. ВДМ и ЛГ приводятся во вращение, в основном, близкими по мощности асинхронными двигателями. Такая работа четырех электромашин в режиме заниженной мощности, сильно отличающейся от номинальной, обуславливает низкую энергетическую эффективность всей испытательной станции.

Замена электромашинных преобразователей стенда взаимной нагрузки на

статические позволяет решить целый комплекс проблем, связанных с испытанием тяговых электромашин, в т. ч. существенно повысить энергетический показатель испытательной станции. Но, как показывает опыт, при использовании полупроводниковых преобразователей необходимы более жесткие требования к алгоритмам управления испытательным стендом и защите источников питания. Электромашинные преобразователи допускают более высокие перегрузки по току, чем статические.

Многократный запас мощности используемых электромашинных преобразователей обеспечивает достаточно большую перегрузочную способность источников питания, особенно линейного генератора, но, тем не менее, известные случаи выхода из строя линейных генераторов при возникновении круговых огней на испытываемых электромашинных. Способность вольтодобавочной машины и линейного генератора переходить в двигательный режим оказывает благоприятное демпфирующее действие на работу всей схемы при переходных и аварийных режимах. Линейный генератор, приводимый во вращение асинхронным двигателем с достаточно стабильной частотой вращения, по сути, является стабилизатором напряжения на электромашине, испытываемой в двигательном режиме.

Необходимость в модернизации существующих станций для испытания тяговых электрических машин в настоящий момент является очевидной. Однако до настоящего времени актуален вопрос того, какой из вариантов системы взаимной нагрузки будет наиболее ра-

циональным для данного типа испытываемых электромашин. Даже поверхностный анализ параметров существующего типового ряда тяговых электромашин и известного количества вариантов схем взаимной нагрузки [5, 6] показывает, что данная проблема весьма актуальна и требует более глубокого исследования.

Простая замена электромашинных источников питания на статические преобразователи может оказаться неэффективной и неоправданной экономически без оптимизации всей структуры системы взаимной нагрузки. Возможно, в некоторых случаях более целесообразным будет использование в качестве источников питания специальных генераторов с соответствующими типовыми номинальными параметрами, без многократного запаса по напряжению и току.

Предварительный анализ показывает, что каждому кластеру типового ряда тяговых электромашин соответствует свой рациональный вариант схемы взаимной нагрузки. Выбор критериев оптимизации структуры испытательной системы представляет собой предмет отдельного, более глубокого исследования, и определенную сложность в решении данной задачи представляет собой выбор показателей энергетической эффективности самого процесса испытания электромашин.

Минимизация себестоимости испытательного стенда и затрат, связанных с обеспечением испытаний, является основным направлением в решении общей задачи оптимизации. Такая минимизация может быть достигнута за счет уменьшения числа последователь-

ных преобразований энергии во вспомогательных устройствах испытательного стенда или отказа от таких преобразований [6, 7].

Главным направлением повышения энергетических показателей испытательных станций является уменьшение количества и минимизация суммарной мощности преобразователей, используемых в схеме взаимной нагрузки. Выполнение этого требования при выборе варианта схемы взаимной нагрузки является необходимым условием достижения необходимой экономической эффективности модернизации существующих станций для испытания тяговых электрических машин.

Отдельный интерес представляет собой характер распределения потоков мощности, отбираемой стендом из сети, между двумя источниками (ВДМ и ЛГ). Распространенное мнение о том, что вольтодобавочная машина компенсирует только электрические, а линейный генератор механические и магнитные потери в стенде справедливо лишь для условия совпадения магнитных характеристик испытуемых электромашин. При испытании тяговых двигателей с допустимым максимальным расхождением магнитных характеристик [1] такое перераспределение энергетических потоков между источниками питания может быть весьма существенным, а это требует соответствующего запаса расчетной мощности для каждого из преобразователей [4]. Для тяговых двигателей с высоким КПД в номинальном режиме (до 0,95) запас мощности источников питания, обусловленный максимальным допустимым расхождением магнитных характеристик испытуемых электромашин (6%) [1], должен быть почти двукратным.

Существенное снижение суммарной максимальной мощности источников системы взаимного нагружения может быть достигнуто за счет использования схем с одним источником электрической или механической мощности, который компенсирует и электрические потери, и потери холостого хода [6]. При использовании таких схем в запасе мощности, обусловленном расхождением магнитных характеристик, нет необходимости.

Одной из важных задач в проблеме структурной оптимизации системы для испытания тяговых электромашин является определение всех возможных вариантов испытательной схемы, обеспечивающих режим взаимного нагружения [6]. Каждый вариант будет характеризоваться своими технико-экономическими показателями: капитальными затратами на производство или модернизацию испытательной

станции, текущими расходами на ее содержание, расходами электроэнергии на проведение испытаний электромашин, качеством испытаний.

Одним из важных условий обеспечения качества тепловых испытаний является равенство тепловой нагруженности лимитирующих обмоток обеих испытуемых электромашин, которое определяет корректность оценки результатов испытаний на нагрев. Требование ГОСТ 2582-81 [1] в части токовой нагруженности обмоток испытуемого двигателя и генератора является формальным, т. к. не учитывает ни схемы испытания, ни того, какая из обмоток электромашин является лимитирующей. Тем не менее, этот фактор, определяющий качество испытаний, должен учитываться при оптимизации структуры системы взаимного нагружения.

Расчеты показывают, что при максимально допустимом расхождении магнитных характеристик электромашин [1] тепловой фактор обмотки якоря генератора при испытании по схеме с параллельным источником (ЛГ) может быть на 20% меньше теплового фактора обмотки якоря двигателя. Это обусловлено тем, что при использовании такой схемы токи якорей испытуемых электромашин отличаются на величину тока параллельного источника (ЛГ). При таких условиях с вероятностью, равной 0,5, могут быть признаны успешными испытания на нагрев тяговой электромашин с недопустимо завышенным превышением температуры в часовом режиме на 20%.

Равенство тепловых факторов всех обмоток (якоря, дополнительных полюсов, компенсационной, возбуждения) испытуемых двигателя и генератора наиболее просто обеспечивается при использовании схемы с механическим способом компенсации потерь холостого хода. Такие схемы с вольтодобавочной машиной и дополнительным приводным двигателем, хотя и реже, но также используются на предприятиях по ремонту тягового подвижного состава.

Несмотря на то, что испытание на нагрев является наиболее энергоемкой частью программы приемосдаточных испытаний тяговых электромашин, типовые параметры источников питания системы взаимного нагружения определяются условиями проведения проверки коммутации [1]. Именно при этой проверке требуются наибольшие значения испытательных токов и напряжений. Отметим, что при переиздании ГОСТ 2582-81 в 1989 г. в него были внесены изменения, отменяющие необходимость проверки коммутации тяговых двигателей при двойном часовом токе. Максимальным током нагрузки,

который должна обеспечивать система взаимного нагружения, стал пусковой ток тягового электродвигателя. При этом вместо пускового тока может быть использован и другой, согласованный с заказчиком. Таким образом, суммарную мощность источников испытательной станции определяют максимальное напряжение на тяговом двигателе и его пусковой ток.

Правила ремонта тяговых электромашин [2, 3] допускают по согласованию с заказчиком проводить их приемосдаточные испытания без вентиляции с эквивалентными значениями тока нагрузки, которые ниже часового. Это позволяет экономить электроэнергию за счет исключения затрат на вентиляцию и существенного уменьшения энергии теплоотдачи. Здесь необходимо отметить, что проведение испытаний на нагрев без вентиляции тяговой электромашин снижает качество ее испытания из-за отсутствия проверки эффективности теплоотдачи, которая во многом определяет течение тепловых процессов в режиме реальной эксплуатации.

Снижение затрат электроэнергии на проведение испытаний на нагрев с нормально действующей вентиляцией может быть достигнуто за счет увеличения испытательного значения тока нагрузки. С увеличением значения испытательного тока при той же мощности теплоотдачи уменьшается общая энергия теплоотдачи при заданном значении превышения температуры обмоток электромашин. При этом уменьшается и время проведения испытаний на нагрев.

Учитывая тот факт, что суммарная мощность источников испытательного стенда определяется требованиями к проверке коммутации, значение тока нагрузки при испытании на нагрев может быть увеличено до пускового тока. Расчеты, проведенные для тягового двигателя НБ-406, показали, что проведение его испытаний на нагрев при пусковом значении тока позволит снизить суммарные потери энергии в обмотках в полтора раза по сравнению с испытанием в часовом режиме. При этом время проведения испытаний уменьшается в 3 раза. Эквивалентное время проведения испытаний для каждого типа тяговой электромашин должно быть уточнено экспериментальным путем.

Существенные ограничения на возможность использования некоторых вариантов систем взаимного нагружения накладываются требованиями ГОСТ 2582-81 и Правил ремонта тяговых электромашин. Так, например, при проведении испытаний на нагрев и проверке частоты вращения требуется ста-

билизация напряжения на испытываемом двигателе на уровне номинального значения. Хотя незначительные колебания напряжения на коллекторе испытуемой электромашины при постоянном токе нагрузки практически не влияют на тепловые процессы в ее обмотках [4]. А степень отклонения частоты вращения якоря электромашины от ее типового значения в часовом режиме в принципе может быть определена аналитически по отклонениям, измеренным при напряжениях, отличных от номинального. Для ряда вариантов системы взаимного нагружения более рациональным будет стабилизация частоты вращения, а не напряжения на коллекторе. Достаточно спорным является и распространенное мнение о необходимости широкого регулирования тока нагрузки и напряжения при проведении приемо-сдаточных испытаний. Отказ от широкого регулирования тока нагрузки и напряжения на испытуемых электромашинах позволяет существенно упростить структуру преобразователей — источников мощности.

Стабилизация напряжения на параллельном источнике напряжения (ЛГ) приводит к увеличению бросков тока данного источника при переходных процессах и аварийных режимах. Исходя из электромеханических принципов обеспечения взаимной нагрузки электромашин [7], данное устройство должно быть источником тока, а не напряжения. Таким образом, необходима стабилизация не напряжения, а тока параллельного источника (ЛГ). Наличие в системе взаимной нагрузки высоковольтного

параллельного источника напряжения является существенным недостатком. Отказ от такого источника мощности намного упрощает силовую схему испытательного стенда, снижает его себестоимость и повышает надежность.

В заключение можно сделать выводы о том, что основными направлениями снижения общих материальных затрат на проведение приемо-сдаточных испытаний тяговых электромашин являются:

- оптимизация структуры системы взаимной нагрузки;
- отказ от параллельного включения источника напряжения;
- использование схем взаимной нагрузки с одним источником мощности;
- повышение тока нагрузки электромашин при испытаниях на нагрев.

Выполнение этих требований позволит существенно повысить экономическую эффективность модернизации станций для испытания тяговых электрических машин постоянного и пульсирующего тока тягового подвижного состава.

Локомотив

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 2582-81. Машины электрические вращающиеся тяговые. [Текст] / Государственный стандарт СССР. — М.: Издательство стандартов, 1981. — 50 с.
2. Правила ремонту електричних машин електропоїздів і електропоїздів. № ЦТ-0063. Затверджено і введено в дію наказом Міністерства транспорту України № 53-Ц від 27.02.2003 р. — К.: Видавничий будинок «САМ», 2003. — 286 с.

3. Правила ремонту електричних машин теплопоїздів. № ЦТ-0064. Затверджено і введено в дію наказом Міністерства транспорту України № 53-Ц від 27.02.2003 р. — К.: Видавничий будинок «САМ», 2003. — 122 с.
4. Захарченко, Д. Д. Тяговые электрические машины и трансформаторы [Текст] / Д. Д. Захарченко, Н. А. Ротанов, Е. В. Горчаков. — М.: Транспорт, 1979. — 303 с.
5. Жерве, Г. К. Промышленные испытания электрических машин [Текст] / Г. К. Жерве. — Л.: Энергоатомиздат, 1984. — 408 с.
6. Афанасов А. М. Принципы синтеза схем взаимной нагрузки тяговых электромашин постоянного тока // Наук.-техн. збір. «Гірничі електромеханіка та автоматика». — 2010. — Вип. 85. — С. 183-189 (ISSN 0201-7814).
7. Афанасов, А. М. Электромеханические принципы обеспечения взаимной нагрузки электрических машин постоянного тока [Текст] / А. М. Афанасов // Вісник Дн. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В.Лазаряна: Зб. наук. пр. — 2009. — Вип. 27. — С. 42-46.

УДК 621.313.001.4

Афанасов А. М.

Вибір раціональних схем та режимів навантаження тягових електричних машин при приймально-здавальних випробуваннях
Наведено аналіз стану та напрямків рішення проблеми вибору раціональних систем і режимів взаємного навантаження для проведення приймально-здавальних випробувань тягових електричних машин постійного та пульсуючого струму.

UDC 621.313.001.4

Afanasov A.

Selection of Rational Diagrams and Load Regimes of Tractive Electrical Machines with the Acceptance Tests

The analysis of state and ways of solving the problem of the rational systems and regimes selection of mutual load in acceptance tests of the traction electrical machines with the direct and pulsating current.

Матеріал поступив 24.08.2012 г.

НОВОСТИ

ДОНЕЦКАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА ПРИЗНАНА ЛУЧШЕЙ

28 сентября в конференц-зале управления Донецкой железной дороги состоялось торжественное собрание, посвященное итогам отраслевого соревнования между трудовыми коллективами железных дорог Украины.

Генеральный директор Укрзалізнички Владимир Козак вручил переходящее знамя и Почетный диплом Укрзалізнички начальнику Донецкой железной дороги Н. Рогову за полученное первое место в отраслевом соревновании по итогам работы в первом полугодии 2012 г.

В. Козак отметил, что в первом полугодии железнодорожники Донбасса достигли высоких производственных показателей: своевременно подготовили инфраструктуру и вокзальный комплекс Донецк к Евро-2012, обеспечили стабильную работу в перевозках грузов и пассажиров.

В мероприятии принял участие заместитель председателя Донецкой областной государственной администрации В. Лукашенко, который поздравил железнодорожников с победой и пожелал быть всегда первыми в отрасли. Начальник Донецкой железной дороги Н. Рогов поблагодарил коллектив за плодотворную работу и отметил, что впереди стоят не менее важные задачи, среди которых подготовка отрасли к зиме, обеспечение стабильной работы в перевозке грузов, улучшение условий обслуживания пассажиров в дальнем и пригородном сообщении, а также ремонт вокзальных комплексов.

По результатам отраслевых соревнований в первом полугодии 2012 года лучшими на железных дорогах Украины признаны коллективы станции Рубежное и вокзала Ясиноватая. Вторые места получили коллективы станции Попасная и путевой машинной станции № 62 (станция Майорская). Почетное третье место заняли локомотивное депо Дебальцево-Пассажирское, дорожные электромеханические мастерские на станции Красный Лиман и вагонное пассажирское депо Мариуполь.

Коллективы-победители награждены Почетными дипломами и денежными премиями.

Пресс-центр Донецкой железной дороги