

Известно, что безыскровые режимы работы обеспечиваются при компенсации всех ЭДС в коммутирующей секции, что не удается сделать в двигателях пульсирующего тока, здесь появляется нескомпенсированная ЭДС Δe . Основные трудности при этом возникают из-за снижения значения переменной составляющей коммутирующего магнитного потока вследствие демпфирования ее вихревыми токами. Уровень демпфирования возрастает с увеличением частоты пульсации, особенно в двигателях с импульсным регулированием напряжения.

Более благоприятная ситуация у ТЭД, имеющих массивную станину и расслоенные сердечники ДП. Применение расслоенных сердечников ДП приводит к снижению фазового сдвига между током и коммутирующим потоком и к увеличению амплитуды последнего вследствие снижения демпфирующего влияния вихревых токов. Нескомпенсированная ЭДС в этом случае будет меньше. При расслоенной магнитной системе ТЭД демпфирование коммутирующего потока будет минимальным, однако такое решение не устраняет небалансную ЭДС и по прочностным испытаниям для ТЭД неприемлемо.

Переменная составляющая нескомпенсированной ЭДС Δe изменяется по модулю и фазе при изменении режимов работы. Чем меньше вихревые токи в стальных магнитопроводах двигателя, тем полнее компенсация переменных составляющих ЭДС в различных режимах работы как при полном, так и при ослабленном возбуждении. По значению Δe часто оценивают качество коммутации ТЭД пульсирующего тока. При уровне нескомпенсированной ЭДС 0,5–0,7 В степень искрения меньше 1,5 балла, что обычно допускается по условиям работы ТЭД. При значениях Δe 1,0–1,1 В степень искрения достигает двух баллов, ТЭД в таком режиме может работать лишь кратковременно.

Кроме ухудшения коммутации, пульсации тока обуславливают колебания магнитного потока, что приводит к дополнительным потерям от вихревых токов в элементах магнитной системы до 2,5 % и наведению трансформаторной ЭДС в коммутирующей секции.

Проведенные авторами исследования показали, что при питании ТЭД постоянным током коммутация последней является безыскровой, а при импульсном появляется искрение щеток величиной 1,25 балла. Более того, в ряде случаев наблюдалось даже "опрокидывание" коммутирующего потока.

Эксплуатация ТЭД в опытных образцах электровозов с импульсным регулированием позволила установить факт, что межремонтные сроки двигателей уменьшились в 4–6 раз, т. е. использование ТЭД постоянного тока без их модернизации и применения специальных схемотехнических решений невозможно. Изготовление же новых образцов ТЭД для условий импульсного питания – весьма дорогостоящая кампания. Поэтому кафедрой систем электрической тяги Украинской государственной академии железнодорожного транспорта (г. Харьков) было разработано схемотехническое решение – формирование возбуждений дополнительных полюсов ТЭД, позволившее производить модернизацию существующих ТЭД для их работы в условиях импульсного или пульсирующего напряжения питания. Устройство запатентовано в Украине. Опытная-промышленная эксплуатация подтвердила его эффективность, так, в частности, межремонтный срок службы ТЭД увеличился в 4–5 раз.

УДК 621.43-44

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЗНОГО ДИЗЕЛЯ

В. В. СКРЕЖЕНДЕВСКИЙ

Белорусский государственный университет транспорта

Коэффициент избытка воздуха α является важным диагностическим параметром работы дизельного двигателя. С величиной α связаны как экономические, так и экологические показатели дизеля.

При поочередном отключении цилиндров дизеля по изменению α можно обнаружить цилиндры с недостаточной цикловой подачей топлива или неполным сгоранием поступающего в цилиндр топлива. Измерение α удобнее всего осуществлять на основании измерения концентрации свободного кислорода в отработавших газах. В настоящее время существует достаточно большое количество стационарных и портативных газоанализаторов, позволяющих измерять концентрацию свободного

кислорода в отработавших газах с относительной погрешностью 1 %. В предположении, что дизельное топливо имеет постоянный элементарный состав была получена формула для расчета коэффициента избытка воздуха

$$\alpha = \frac{32,5O_2 - 105}{5000O_2 - 105}, \quad (1)$$

где O_2 – объемная концентрация кислорода в сухих ОГ.

Получим расчетные выражения для диагностирования нарушений цикловой топливоподачи дизеля. Суммарный коэффициент избытка воздуха определяется соотношением (в случае работы всех цилиндров)

$$\alpha_n = \frac{\sum_{i=1}^n m_i^{\text{ВОЗД}}}{14,5 \sum_{i=1}^n m_{\text{Ц}_i}^{\text{ТОПЛ}}}, \quad (2)$$

где $m_i^{\text{ВОЗД}}$ – масса воздушного заряда, кг; $m_{\text{Ц}_i}^{\text{ТОПЛ}}$ – масса топлива, впрыскиваемого за один цикл, кг; n – число цилиндров дизеля; i – номер цилиндра.

В случае отключения одного цилиндра формула (2) приобретет вид

$$\alpha_{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i^{\text{ВОЗД}}}{14,5 \sum_{i=1}^{n-1} m_{\text{Ц}_i}^{\text{ТОПЛ}}}. \quad (3)$$

Выразим из (2) и (3) суммарную массу воздушного заряда $\sum_{i=1}^n m_i^{\text{ВОЗД}}$. Исходя из предположения о неизменности расхода воздуха через дизель при отключении одного цилиндра, приравняем (2) и (3) по значению $\sum_{i=1}^n m_i^{\text{ВОЗД}}$. После ряда преобразований получим формулу для расчета относительной неравномерности подачи дизельного топлива

$$\frac{m_{\text{Ц}_i}^{\text{ТОПЛ}}}{m_{\text{Ц}_E}^{\text{ТОПЛ}}} = \frac{\alpha_{(n-1)} - \alpha_n}{\alpha_{(n-1)E} - \alpha_n}, \quad (4)$$

где $m_{\text{Ц}_E}^{\text{ТОПЛ}}$, $\alpha_{(n-1)E}$ – соответственно цикловая подача топлива и коэффициент избытка воздуха при отключении цилиндра, принятого за базовый; $m_{\text{Ц}_i}^{\text{ТОПЛ}}$, $\alpha_{(n-1)i}$ – соответственно цикловая подача топлива и коэффициент избытка воздуха при отключении i -го цилиндра.

Формула (4) получена в предположении о том, что суммарная цикловая подача топлива $(n-1)$ цилиндров не изменяется при отключении различных цилиндров дизеля. На реальном дизеле цикловая подача топлива по отдельным цилиндрам всегда несколько отличается. Для оценки пределов применения данной методики была разработана модель, имитирующая процесс измерения неравномерности подачи топлива по цилиндрам дизеля типа 10Д100 при поочередном отключении цилиндров и измерении коэффициента избытка воздуха.

Моделирование режима номинальной нагрузки и номинальной частоты вращения коленчатого вала дизеля (15-я позиция контроллера машиниста) дизеля 10Д100 осуществлено в среде табличного процессора Excel. Выполнено моделирование для трех случаев распределения цикловой подачи топлива по цилиндрам: равномерное по всем цилиндрам, неравномерное по всем цилиндрам и с существенным отклонением подачи топлива по одному цилиндру. Неравномерное распределение цикловой подачи топлива реализовывалось при помощи генератора случайных чисел, встроенного в табличный процессор. Исследование данной модели показало, что при заданной погрешности измерения концентрации кислорода в отработавших газах можно обнаружить отклонение цикловой подачи топлива в отдельный цилиндр десятицилиндрового дизеля, если оно выше 20 %.