

3. Akhmedov A. P. Combination of real and virtual laboratory works in the educational process of students / A. P. Akhmedov, S. B. Khudoyberganov, N. P. Yurkevich // Actual problems of modern natural science: Mater. XI Resp. scientific-methodological seminar, Minsk, December 3, 2020. 2020 г. – Minsk, 2020. – С. 91–95.

4. Strebkov, D. S. Technology of Large-Scale Solar Energetics / D. S. Strebkov (in Russian) // Light and Engineering. – 2008. – Vol. 16, № 4. – С. 5–11.

5. The charger charges with the help of the sun // Ctek [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.ctek.ru/news/zaryadnoe-ustrojstvo-zaryazhaet-pri-pomoshhi-solnca.html>. – Access date: 20.07.2019.

6. Solar charge controller LS1024R / LS1524R / LS2024R: manual [Electronic resource]. – Access mode: http://www.sunyour.ru/files/EP_LSxx24R_instruction_ru_.pdf. – Access date: 10.05.2020.

7. Solar charging stations for electric cars // Inside care lectronics [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.insidecarelectronics.com/solnechnie-zaryadnie-stancii-dlya-elektromobiley/>. – Date of access: 12.03.2020.

8. Kutbidinov, O. M. Experimental Research of Utilized Oils of Traction Transformers / O. M. Kutbidinov, D. T. Yusupov, Sh. A. Samadov, E. S. Abdullaev // International Journal of Advanced Research in Science: Engineering and Technology. – 2021. – Vol. 8, Issue 3. – P. 1–6.

УДК 629.4.012

Функциональная диагностика системы управления асинхронным тяговым приводом электровоза

Файзуллаев Ж. С.

Ташкентский государственный транспортный университет
Ташкент, Республика Узбекистан

Функциональный контроль и диагностирование электровозов представляет собой актуальное направление исследования, находящегося на стыке технической диагностики и современной теории управления. Система управления электровозов переменного тока является сложным динамическим объектом, имеющим различные взаимосвязи между управляемым электрооборудованием, предназначенным для регулирования его режима работы, то есть перехода от одной установившейся скорости к другой, сопровождаемой изменяющимся тяговым моментом.

С точки зрения технической диагностики различные режимы электровоза требуют правильности их функционирования в данный момент реального времени, то есть оперативности получения информации о перехо-

Из структурной схемы видно, что кроме четырехквadrантного преобразователя 4QS система имеет датчики постоянного и переменного тока, и напряжения, частоты вращения ТАД, а также БУВП и БВыч момента ТАД, БУАИ, блоками управления РМ, ДН и ДТ.

В целом система управления ТАД имеет два контура регулирования. Первый контур – это контур регулирования угла момента ТАД $\Delta\theta = \theta_{\text{зад}} - \theta$ с подчиненным контуром регулирования частоты вращения статора $\omega = \omega_2 - \omega_s$, который управляет блоком управления автономного инвертора АИ(7).

На рис. 1 показан второй контур регулирования момента с подчиненными контурами регулирования постоянного напряжения U_d и тока I_d между входным преобразователем ВП(4) и инвертором АИ. Задатчик этого контура формирует сигнал M_3 , который сравнивается со значением M_d на выходе вычислительного устройства Выч(8), определяемый по формуле [2]:

$$M_d = \frac{3}{2} p_1 (\Psi_{1\alpha} i_{1\beta} - \Psi_{1\beta} i_{1\alpha}), \quad (1)$$

где p_1 – число пар полюсов; $\Psi_{1\alpha}, \Psi_{1\beta}$ – проекции векторов потокосцепления Ψ и тока статора I_1 , соответственно.

Сигнал с регулятора момента РМ(1) через регулятор напряжения РН(2) и регулятор тока, блок управления напряжения БУВП(3) идет на входной преобразователь ВП(4), который подает сигнал на автономный инвертор АИ(7), питающий трехфазный ТАД(9). В этот контур входят датчики тока ДТ(5) и напряжения ДН(6), устанавливающие обратную связь контура.

Передаточная функция контура регулирования момента с учетом пренебрежения постоянных времени T_i блоков 3, 7, 5, 6 ввиду их малости то есть $T_{\text{БУВП}} \ll T_{\text{ВП}}, T_{\text{аи}} \ll T_{\text{ВП}}, T_{\text{ДТ}} \ll T_{\text{ВП}}$ и $T_{\text{ДН}} \ll T_{\text{ВП}}$ после несложных эквивалентных преобразований представляется в виде

$$W_{\text{КМ}}(p) = \frac{(1 + pT_{\text{ВП}})^2(1 + pT_{\text{ВП}})}{[(1 + pT_{\text{РМ}})(1 + pT_{\text{ВП}})]^2 - (1 + pT_{\text{РМ}})^2(1 + pT_{\text{ВП}})K_{\text{ДТ}}K_{\text{БУВП}}K_{\text{ВП}} - T_x}, \quad (2)$$

где $T_x = (1 + pT_{\text{ВП}})K_{\text{ВЫМ}}K_{\text{РМ}}K_{\text{АИ}}K_{\text{БУВП}}K_{\text{ВП}}$.

Приведенная передаточная функция ПФ контура регулирования частоты статора $\omega_1 = \omega_2 + \omega_s$, которую реализует блок управления инвертором БУАИ, с учетом значений малого порядка выражается в виде

$$W_0(p) = \frac{(1 + pT_{\text{PY2}})(1 + pT_{\text{ВЫЧ}})(1 + pT_{\text{ТАД}}) + T_y}{(1 + pT_{\text{БУАИ}})(1 + pT_{\text{ТАД}})(1 + pT_{\text{PY2}})(1 + pT_{\text{ВЫЧ}})} - \frac{(1 + pT_{\text{БУАИ}})(1 + pT_{\text{ТАД}})K_{\text{PY2}} \cdot K_{\text{ВЫЧ}} \cdot K_{\text{БУАИ}} \cdot K_{\text{АИ}}}{(1 + pT_{\text{БУАИ}})(1 + pT_{\text{ТАД}})(1 + pT_{\text{PY2}})(1 + pT_{\text{ВЫЧ}})}, \quad (3)$$

где $T_y = (1 + pT_{\text{PY2}})(1 + pT_{\text{ВЫЧ}})(1 + pT_{\text{БУАИ}})K_{\text{БУАИ}} \cdot K_{\text{АИ}} \cdot K_{\text{ДЧВ}} \cdot K_{\text{ВП}}$.

Передаточные функции (3), (4) имеют четвертый порядок и отражают динамику системы регулирования ТАД в режиме тяги.

Известно, что с целью упрощения порядка математической модели системы контроля и диагностирования, например, до второго порядка используется три подхода: методы ортогональных редукций, дискретизации и линеаризации [4, 5].

Методы ортогональной редукции предусматривают уменьшение размерности исходной модели путем аппроксимации исходной передаточной функции ПФ некоторой другой, близкой к ней ПФ, например, вычеркиванием переменных, ортогонально описанной в пространстве состояния. В соответствии с этим сначала находят матрицы A , b , c описания исходной системы в некотором базисе пространства состояния [3, 4]:

$$\dot{X} = AX + bu; \quad y = cX. \quad (4)$$

Здесь $X(t)$ связана с матрицами A , b равенством $X(t) = e^{At}b$. Такое описание дает возможность создать упрощенную диагностирующую математическую модель объекта, путем простого отбрасывания части переменных состояния. Несомненный интерес функционального диагностирования для сложных динамических объектов представляет метод избыточных переменных, который дает возможность минимизации размерности ПФ схемы, если известны сигналы измерительных датчиков на входе и выходе объекта диагностирования [5, 6].

Схема функционального диагностирования системы управления ТАД электровоза в режиме тяги целесообразно строить с использованием метода ортогональной редукции совместно с методом избыточных переменных как своеобразную динамическую модель, совмещающую простоту первого и точность второго метода (рис. 2).

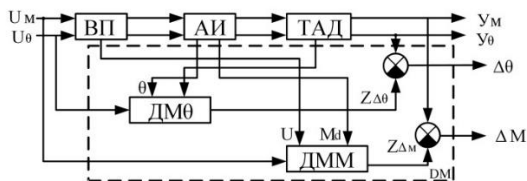


Рис. 2. Блок-схема контроля и диагностики САУ ТАД: ВП – входной преобразователь 4QS; АИ – автономный инвертор; ТАД – тяговый асинхронный двигатель; ДМ θ и ДММ – соответственно диагностирующие математические модели второго порядка контура регулирования момента M_θ и угла θ , синтезированные методом ортогональной редукции

Для работы схемы диагностируемой модели ДМ используются существующие датчики измерения входных сигналов ΔM , $\Delta \theta$, выходных сигналов U_M , U_θ , а также выходных сигналов промежуточных блоков [7]. Устройства контроля и диагностирования с использованием ПЭВМ формирует по вышеуказанным данным избыточные переменные $Z_{\Delta M}$ и $Z_{\Delta \theta}$, которые используются для проверки правильности функционирования:

$$\Delta_\theta = \sum_{i=1}^n m_i y_i - z_\theta = 0, \quad (5)$$

$$\Delta_M = \sum_{j=1}^n m_j y_j - z_M = 0, \quad (6)$$

где m_i , m_j – постоянные коэффициенты системы контроля.

Укажем, что контроль и диагностирование параметров и сигналов САУ ТАД производится при каждом изменении момента и частоты движения электровоза.

Функциональное диагностирование группы электрических аппаратов дает возможность корректировать сроки проведения ремонта электровоза, оно не заменяет плановую систему содержания, а является дополнением к ней и дает возможность определения технического состояния каждого блока САУ управления ТАД электровоза. Результаты моделирования упрощенной передаточной функции диагностируемой модели регулирования скорости электровоза подтвердили теоретические выводы о полноте, глубине и оперативности функционального контроля и диагностирования [8].

Литература

1. Буйносов, А. П. Техническая диагностика электроподвижного состава / А. П. Буйносов, К. А. Стаценко. – Екатеринбург: Изд-во Ур ГУПС, 2013. – 119 с.
2. Плакс, А. В. Системы управления электрическим подвижным составом / А. В. Плакс. – М.: Маршрут, 2005. – 360 с.
3. Бурков, А. Т. Электронная техника и преобразователи / А. Т. Бурков. – М.: Транспорт, 1999. – 464 с.
4. Мироновский, Л. А. Функциональное диагностирование динамических систем / Л. А. Милоновский // Автоматика и телемеханика. – 1998. – № 8. – С. 96–121.
5. Латышев, А. В. Диагностирование линейных динамических систем / А. В. Латышев // Автоматика и телемеханика. – 1991. – № 8. – С. 145–154.
6. Плакс, А. В. Расчет систем управления электрическим подвижным составом / А. В. Плакс, А. С. Мазнев. – Л.: ЛИИЖТ, 1986. – 73 с.
7. Akhmedov, A. P. Innovative public transport stop with autonomous power supply / A. P. Akhmedov, S. B. Khudoyberganov, N. P. Yurkevich // Инновационные технологии в водном, коммунальном хозяйстве и водном транспорте: материалы. респ. науч.-техн. конф., Минск, 20–21 мая 2021 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2021. – Р. 181–184.
8. Ахмедов, А. П. Методика совмещения реальных и виртуальных лабораторных работ в образовательном процессе студентов / А. П. Ахмедов, С. Б. Худойберганов, Ж. А. У. Очиллов // Точная наука. – 2019. – № 40. – С. 27–31.

УДК 621.314.212

Regression model of the dependence of the technical failure of traction transformers on air humidity

Yusupov D. T.¹, Kutbidinov O. M.²

¹Academy of science of the Republic of Uzbekistan
Institute of energy problems,

²Tashkent State Transport University
Tashkent, Republic of Uzbekistan

Collected data on the failure of traction transformers ODSE-5000/25B, which are in operation for 2017–2019 and air humidity in these years. Based on these data, a model has been developed that determines the dependence of the technical failure of traction transformers on air humidity. The conducted