

ИЗМЕРЕНИЕ ТЯГОВО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛОКОМОТИВОВ С АСИНХРОННЫМ ПРИВОДОМ

Кузнецов Андрей Альбертович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая электротехника» Омского государственного университета путей сообщения. 644046. Россия. Омск. пр. Маркса, 35 +7(3812)31-06-88, kuznetsova.a.omgups@gmail.com

Бакланов Александр Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав электрических железных дорог» Омского государственного университета путей сообщения. 644046. Россия. Омск. пр. Маркса, 35 +7(3812)31-06-88, baklanov.a.a@omgups.ru

Глухих Виталий Андреевич – аспирант кафедры «Теоретическая электротехника» Омского государственного университета путей сообщения. 644046. Россия. Омск. пр. Маркса, 35, зам. начальника тягово-энергетической лаборатории Западно-Сибирской железной дороги. Новосибирск. Россия, vagluxix@mail.ru.

Аннотация. Основным критерием для определения критических норм масс грузовых и пассажирских поездов является проведение тягово-энергетических испытаний посредством сертифицированных измерительно-вычислительных комплексов (ИВК). Вагоны тягово-энергетических лабораторий, при помощи которых выполняются измерения, представляют собой переоборудованные пассажирские вагоны купейного типа.

В условиях обновления локомотивного парка все более широкое распространение получают микропроцессорные схемы управления тяговым приводом, что усложняет применение существующих ИВК. В статье рассматриваются особенности измерений на локомотивах нового поколения с асинхронным приводом.

Ключевые слова: локомотивы железных дорог, асинхронный привод, измерения энергетических параметров, тяжеловесное движение.

MEASUREMENTS TRACTION AND ENERGY PARAMETERS OF LOCOMOTIVES WITH ASYNCHRONOUS ACTUATOR

Kuznetsov Andrey Albertovich – doctor of science, professor, chief of “Theoretical Electrical Engineering” department of Omsk State Transport University. 644046. Russia. Omsk. pr. Marksa, 35. tel. +7(3812)31-06-88. e-mail. kuznetsova.omgups@gmail.com

Baklanov Alexandr Alexeevich – candidate of sciences, docent of “Electrical Transport” department of Omsk State Transport University. 644046. Russia. Omsk. pr. Marksa, 35. tel. +7(3812)31-06-88. e-mail. baklanovvaa@omgups.ru

Gluhih Vitaliy Andreevich – post graduate student of “Theoretical Electrical Engineering” department of Omsk State Transport University. Engineer of JSC Russian Railways. 644046. Russia. Omsk. pr. Marksa, 35. tel. +7(3812)31-06-88. e-mail. vagluxix@mail.ru

Abstract. The main criterion for determining the critical norms of masses of freight and passenger trains is the conduct of traction and energy tests through certified measuring and computing systems (MCS). Traction-energy laboratories, which used for measurements, represents converted passenger carriages of a compartment type.

At the present time, in the conditions of updating the locomotive fleet, microprocessor-based traction drive control schemes are becoming increasingly widespread, which complicates the use of existing MCS. Paper devoted to measurement features of new locomotives generation based on asynchronous drive.

Key words: locomotives of railways, asynchronous drive, measurement of energy parameters, heavy traffic.

Одной из важнейших задач повышения эффективности перевозочного процесса является развитие тяжеловесного движения и применение полигонных технологий. Для реализации стабильного роста грузопотока необходимо обоснованное повышение норм масс грузовых поездов. При условии постоянной потребности в увеличении норм масс требуется наиболее детальный и точный анализ режимов эксплуатации подвижно состава с целью количественной оценки лимитирующих факторов и предупреждения недопустимых издержек на его ремонт.

Для увеличения объективности в оценке режимов эксплуатации локомотивов проводятся тягово-энергетические испытания с привлечением сертифицированных лабораторий. При проведении испытаний определяется возможность вождения поездов необходимой массы, или определяется максимальная критическая норма массы с учетом особенностей профиля пути и текущего состояния инфраструктуры в целом. После окончания экспериментальных поездок, и в соответствии с заключением тягово-

энергетической лаборатории проводится временная эксплуатация локомотивов с вновь установленной критической нормой массы поезда для определенного участка, по истечении трехмесячного срока Дирекцией тяги принимается решение о внесении изменений в действующий приказ «Об установлении норм масс и длин грузовых и пассажирских поездов».

Современные тягово-энергетические лаборатории представляют собой пассажирский вагон купейного типа, переоборудованный под специальный технический вагон, оснащенный измерительной системой «Магистраль-МС» разработанной специалистами Ростовского государственного университета путей сообщения. Данная система регистрирует сигналы с датчиков частотой 10 Гц. При проведении испытаний по действующей методике необходимо производить регистрацию таких параметров как токи якорей тяговых электродвигателей (ТЭД), токи обмоток возбуждения ТЭД, суммарный ток локомотива, напряжение на якорях ТЭД, напряжение контактной сети, подача песка под колесные пары, линейная скорость каждой колесной пары, сила тяги на автосцепке. Однако из-за особенностей конструктивного исполнения скоростемеров систем управления и безопасности локомотивов (КЛУБ-У, САУТ, УСАВП, БЛОК), использующих в своем составе датчик пути и скорости (ДПС), установленный в буксы колесных пар, современным тягово-энергетическим лабораториям не представляется возможным получение данных о скорости вращения и проскальзывания всех колесных пар локомотивов как с асинхронными двигателями, так и с двигателями постоянного тока, имеющимися средствами (собственными, съемными ДПС), без вмешательства в работу упомянутых систем. Так же важной проблемой является низкая частота регистрации эксплуатируемых в настоящее время измерительно-вычислительных комплексов, что является препятствием в оценке качественных показателей эксплуатации локомотивов с асинхронным приводом. Нерешенной задачей, как следствие, является и определение температуры обмоток ТЭД.

Неполный анализ режимов работы современных локомотивов, таких как 2ЭС10, приводит к сезонной (как правило, январь-февраль) «валовой» отставке локомотивного парка на ремонт. Что становится лимитирующим фактором роста объема грузоперевозок.

Наиболее оптимальным решением поставленных задач является разработка универсального комплекса, позволяющего регистрировать скорости, токи и напряжения как асинхронных двигателей, так и двигателей постоянного тока без применения стандартных ДПС, а именно применение так называемого «бездатчикового» определения скорости вращения двигателя. Так же для определения температуры обмоток ТЭД необходимо и построение математической модели всех двигателей, участвующих в тяге. Данные задачи могут быть решены построением на базе технических и программных средств National Instruments универсального измерительно-вычислительного комплекса с использованием технологии наблюдателей угловой скорости двигателя.

Существует несколько наиболее распространенных принципов, благодаря развитию микропроцессорной техники, используемых в наблюдателях скорости асинхронного двигателя:

- оценка скорости на основе уравнений Люенбергера;
- вычисление скорости на основе фильтра Калмана;
- наблюдатели на основе скользящего режима;
- использование адаптивной модели;
- вычисление скорости с использованием нейронных сетей.

Наблюдатели на основе уравнений Люенбергера относятся к детерминированным, так как они могут быть применены к динамическим объектам в условиях отсутствия случайных внешних воздействий, что является ограничением при использовании в измерительных системах тягового электропривода подвижного состава.

При использовании наблюдателей на основе фильтра Калмана приходится пренебрегать нелинейностью системы электропривода, в результате получается

неполноценное описание модели асинхронного привода. Стоит отметить, что бездатчиковые системы с наблюдателем на основе фильтра Калмана чувствительны к изменению параметров электродвигателя и зашумленности сигналов, получаемых с датчиков тока и напряжения. Так же, при получении данных с 8-ми и более тяговых двигателей расчеты в реальном времени требуют больших вычислительных ресурсов измерительной системы.

Что касается наблюдателей на основе скользящего режима, то они требуют гораздо меньшей вычислительной мощности системы и не используют в своих вычислениях уравнений ротора, что дает независимость от изменяющегося в широком диапазоне сопротивления ротора, однако важнейшим недостатком является невозможность работы на околонулевых скоростях, это связано с тем, что наблюдатель работает по принципу ЭДС, которую невозможно выделить на низкой скорости.

Данного недостатка лишен наблюдатель на основе адаптивной модели, использующие нетрадиционный метод определения положения ротора, в этом методе в качестве переменной состояния используется ток статора, в традиционных методах – ЭДС и потокосцепление. Однако данные наблюдатели очень чувствительны к изменению сопротивления статора, связано это с тем, что данный параметр входит в операцию интегрирования. Таким образом, для обеспечения достаточной точности такого рода наблюдателей требуется измерение сопротивления статора в реальном времени.

В последние годы при разработке набирает популярность такой непараметрический метод как построение обучаемых искусственных нейронных сетей. Они не имеют априорного строгого математического описания для конкретного объекта исследования. Благодаря этому они позволяют с высокой точностью производить вычисление произвольной непрерывной функции, т.е. сколь угодно точно аппроксимировать функцию, произведенную любой непрерывной системой. Поэтому нейронные сети нашли широкое применение в качестве эмуляторов и наблюдателей для различных систем управления.

Один из вариантов построения наблюдателя угловой скорости на основе искусственных нейронных сетей (ИНС) для асинхронного электропривода с тиристорным регулятором напряжения представлен на рис. 1.

На рис. 1 приняты следующие обозначения РС – регулятор скорости; БП – блок преобразования; ИНС – искусственная нейронная сеть, ТРН – тиристорный регулятор напряжения; k_{OC} – коэффициент обратной связи контура скорости; $\omega_{зд}$ – задание на скорость; $\omega'_{инс}$ – оценка скорости ИНС; I_A, I_b, I_c – фазные значения токов; U_a, U_b, U_c – фазные значения напряжений.

Входными сигналами для ИНС являются токи и напряжения, которые нормируются в блоке преобразования (БП). Особых ограничений к выбору количества и вида входных связей для ИНС нет, но одним из главных требований при построении таких наблюдений является наличие связи или зависимости между входными и выходными данными.

Выходной сигнал нейросети $\omega'_{инс}$ перемножается на коэффициент k_{OC} , затем сравнивается с сигналом задания $\omega_{зд}$ и текущая ошибка обрабатывается регулятором скорости (РС). На выходе РС формируется нужное управляющее воздействие, которое поступает в ТРН. В итоге, на обмотки АД подается необходимое напряжение для отработки заданной скорости [5].

Вычисление скорости с использованием нейронных сетей обладает высокой точностью оценки скорости двигателя [1, 3]. Помимо этого ИНС обладает устойчивостью при изменении параметров двигателя. С использованием нейронной сети можно дополнительно оценить ряд других переменных двигателя [4]. Достоинством ИНС является так же самообучаемость и возможность использования в качестве нейроконтроллеров при управлении сложными динамическими объектами. Недостаток ИНС – сложность их алгоритмов, но за счет постоянного развития микропроцессорной техники и программного обеспечения данный недостаток является не столь актуальным.

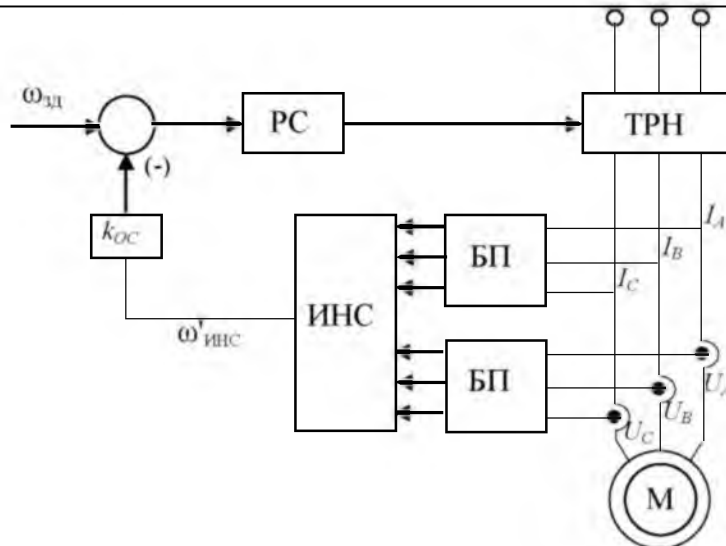


Рис. 1. Функциональная схема электропривода с нейросетевым датчиком

Большое значение в современной промышленности получили электропривода, управляемые от персонального или промышленного компьютера, а следственно и важным является и программное обеспечение, посредством которого это управление достигается.

LabView – это приложение для разработки программ, аналогичное по функциональному назначению C, BASIC или LabWindows фирмы National Instruments. Однако, когда для создания кода эти системы программирования используют языки, основанные на текстовых командах, тогда как в LabView используется графический язык программирования, называемый «G», с помощью которого программа создается в виде блок-схемы. Использование LabView в решении поставленных задач возможно практически без опыта программирования. Терминология, программы и идеи, использованные в LabView, знакомы всем учёным и инженерам. Кроме того, для описания действий в LabView в основном используются графические символы, а не текст.

В работе [2] представлено решение задачи по разработке нейросетевого наблюдателя асинхронного привода, по средствам проведения экспериментальных исследований и обучения нейронной сети с использованием среды программирования LabView, работающей совместно с платой сбора данных PCI 6024E фирмы National Instruments.

Разработанное прикладное программное обеспечение в среде графического программирования LabView имеет два основных окна: лицевую панель (рис. 2) и окно блок-диаграмм (рис. 3)

Лицевая панель программы состоит из таких блоков как группа кнопок и индикаторов для обеспечения работы программы, отвечающих за частоту и время снятия экспериментальных данных, осциллографы и панели выбора снимаемых каналов, позволяющих включать и отключать каналы для записи и отображения на осциллографах, как в демонстрационном режиме, так и в режиме записи. Окно блок-диаграмм состоит из блоков, позволяющих графически программировать в программной среде LabView.

В результате проведения проверки работоспособности разработанного в работе [4] нейросетевого наблюдателя угловой скорости ротора асинхронного электропривода по схеме ТРИ - АД на компьютеризированной экспериментальной установке доказано, что интегральная погрешность оценивания нейросетевого наблюдателя угловой скорости во всех режимах не превышает 5%, что является приемлемым в поставленной задаче.

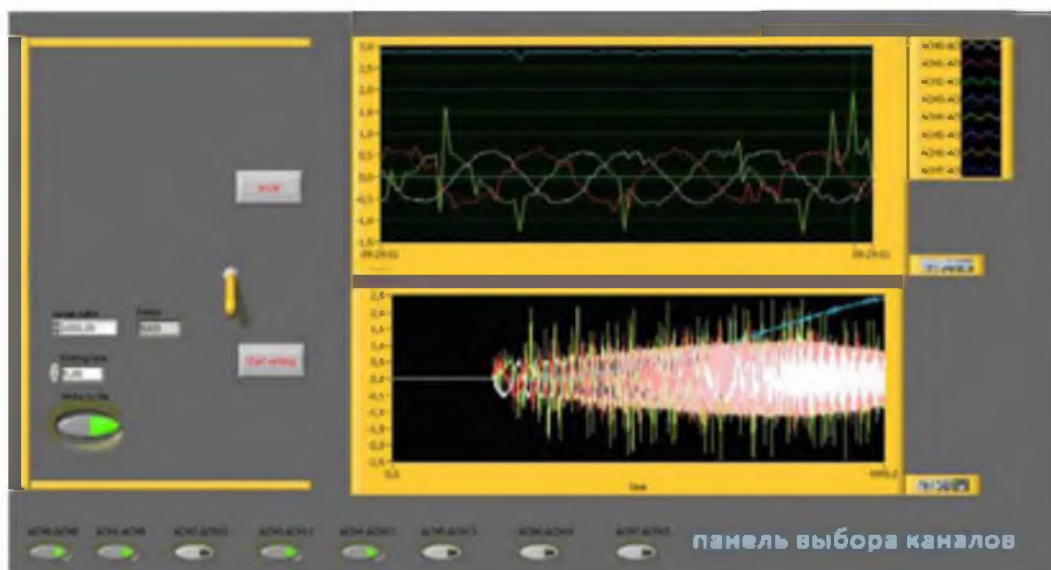


Рис. 2. Пользовательский интерфейс программы LabView.

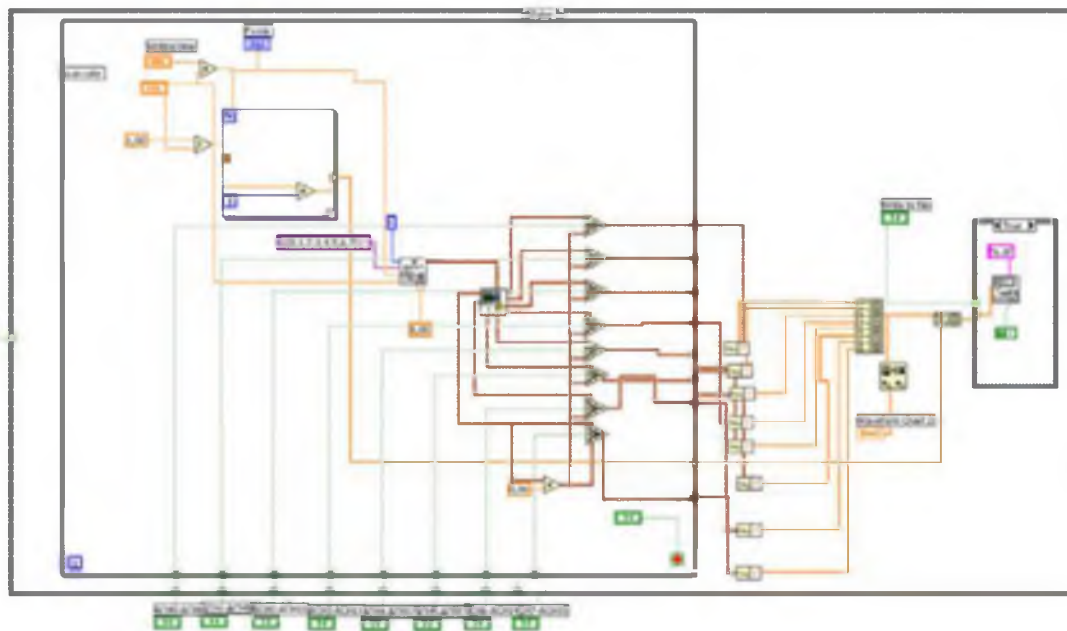


Рис. 3. Окно графического программирования программы LabView

Выводы: в статье рассмотрены особенности тягово-энергетических измерений на локомотивов новых серий с асинхронным приводом, поступающих в эксплуатацию на Российские железные дороги;

указаны отличия при создании измерительно вычислительных комплексов при использовании с частотно регулируемые приводами для изменения скорости движения;

показаны пути реализации наблюдателей скорости, выполненных на основе анализа измеренных параметров тока и напряжения на асинхронном двигателе;

приведенные технические решения позволят провести диагностирование энергетических параметров электроподвижного состава и системы тягового электроснабжения при организации тяжеловесного движения поездов.

Список литературы

1. Бакланов А. А., Есин Н. В., Шиялков А. П. Эффективность применения электровозов двойного питания серии 2ЭВ120 на полигоне Междуреченск – Входная / сборник тр. III Всерос. научно-технич. конф. с международным участием «Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов» (10 ноября 2016 г.) – Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск 2016. – С. 22-28.
2. Козлова Л. Е. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Разработка нейросетевого наблюдателя угловой скорости ротора в электроприводе по схеме ТРН – АД. – Томск. 2015. – 144 с.
3. Козлова Л. Е., Глазырин А. С. Применение методов искусственных нейронных сетей идентификации параметров и координат асинхронного Электродвигателя // Электромеханические преобразователи энергии: Материалы IV Международной научно-технической конференции 13-16 октября 2009. – Томск. ТПУ. 2009. – С. 298-300.
4. Нестеровский А. В., Каширских В. Г. Динамическая идентификация параметров ротора асинхронного электродвигателя с помощью искусственной нейронной сети // Вестник Кузбасского государственного технологического университета. – 2004. №4(41). – С. 50-51.
5. Пат. №103260 РФ. МПК H02P 21/00 (2006.01), H02P 27/08 (2006.01). Устройство управления асинхронным двигателем/ Л. Е. Козлова, Т. А. Глазырина, А. С. Глазырин, С. В. Ланграф, В. В. Тимошкин, К. С. Афанасьев. Заявка № 2010135993; Оpubл. 10.02.2011.