

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД С ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫМ КОМПЛЕКСОМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ВОЗВРАТНО- ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

А.Н. ЦВЕТКОВ, А.Р. САФИН, Р.Р. ГИБАДУЛЛИН, И.В. ИВШИН

Казанский государственный энергетический университет

В статье описаны новые технические решения при разработке испытательного стенда для исследования экспериментальных образцов электрических машин возвратно-поступательного действия и программно-аппаратный комплекс управления. При разработке стенда использован кривошипно-шатунный механизм для создания возвратно-поступательного движения с гидравлическим приводом. Разработанный программно-аппаратный комплекс позволяет управлять стендом и электрической машиной возвратно-поступательного действия благодаря обработке большого количества входных и выходных сигналов различного назначения. Датчики, интегрированные в состав стенда, позволяют составить полную картину процесса испытания и получать данные с высокой точностью измерения. Гибкость алгоритма управления стендом и объектом исследования позволяет проводить широкий спектр испытаний различного электротехнического оборудования.

Ключевые слова: машина возвратно-поступательного действия, испытательный стенд, кривошипно-шатунный механизм, программно-аппаратный комплекс, алгоритм управления.

В рамках Федеральной целевой программы по теме "Разработка экспериментального образца обратимой электрической машины возвратно-поступательного действия мощностью 10–20 кВт для тяжелых условий эксплуатации" разработан и создан испытательный стенд (ИС) для проведения исследований экспериментальных образцов электрической машины возвратно-поступательного действия (ЭМВПД).

При конструировании линейных машин неизбежно возникает проблема выбора материалов, технических решений и построения систем управления. Одним из путей решения данной проблемы являются полигонные испытания, которые эффективны, но требуют большой трудоемкости и материальных затрат. Актуальным источником информации для разработки алгоритмов управления, а также для оценки соответствия параметров разрабатываемой ЭМВПД поставленным условиям являются испытания на стендах. Научные основы создания ИС позволяют максимально приблизить испытания ЭМВПД в лабораторных условиях к реальным полигонным испытаниям [1].

К механической части разрабатываемого ИС были предъявлены жесткие требования, такие как скорость перемещения транслятора (ТР) до 15 м/с; перемещение ТР в пределах от 50 до 120 мм; частота колебания ТР до 100 Гц; усилие, измеряемое на ТР, до 11 кН. Электрическая часть стенда должна иметь нагрузочную способность до 10 кВт, и обеспечивать стабильным питанием систему управления режимами работы испытываемой машины с силой тока до 200 А. Система управления стендом должна обладать способностью быстрой обработки большого объема информации, вырабатывать управляющие воздействия на все узлы стенда, а также определять: положение ТР испытываемой машины, скорость его перемещения, температуру основных узлов, вырабатываемое напряжение и мощность, усилие создаваемое на ТР ЭМВПД. Кроме этого ИС должен создавать тяжелые условия эксплуатации при воздействии температуры до +150 °С.

Реализация предъявленных требований стала возможной благодаря применению оригинальных научно-технических решений и разработке программно-аппаратного комплекса (ПАК) [2].

Используемые ранее ИС имели в качестве приводного элемента, создающего возвратно-поступательные действия, пневмо- и гидроцилиндры. Основные недостатки этих устройств – ограниченные скорости перемещения до 5 м/с, а также затруднения при обеспечении точности остановки в крайних точках.

Разработанный кривошипно-шатунный механизм с гидроприводом лишен перечисленных недостатков и способен обеспечить скорость перемещения свыше 15 м/с при частоте колебаний до 100 Гц. Применение в качестве привода гидравлического двигателя позволяет получить максимальный крутящий момент во всем диапазоне скоростей вращения [3].

Функциональная схема ИС показана на рис. 1, внешний вид ИС – на рис. 2.

Перед проведением испытаний ЭМВПД 5 закрепляется на испытательном столе и соединяется электрически с блоком коммутации (БК) 20.

Для проведения испытаний в режиме генератора ЭМВПД 5 через разъемную муфту (РМ) 4 и кривошипно-шатунный механизм (КШМ) 3, преобразующий вращательное движение привода в возвратно-поступательное, соединяется с гидромотором 2. Для проведения испытаний в режиме электродвигателя ЭМВПД 5 через РМ и датчик силы (ДС) 8 соединяются с гидроцилиндром (ГЦ) 9. Давление жидкости в гидросистеме гидромотора 2 и ГЦ 9 создается гидростанцией 1. Выделяемая в ЭМВПД 5 тепловая энергия, отводится системой охлаждения, состоящей из насоса 11, емкости охлаждающей жидкости 12, трубопроводов 13, вентилей 15, радиатора 16, вентилятора 17 и электроцилиндра 27. Система управления 19 на основе сигналов с температурных датчиков (Т1 – Т4) 6, смонтированных внутри возвратно-поступательной электрической машины 5 и на входном и выходном патрубках системы охлаждения, вырабатывает управляющий сигнал на электроцилиндр 27 о расходе воды через рубашку охлаждения ЭМВПД.

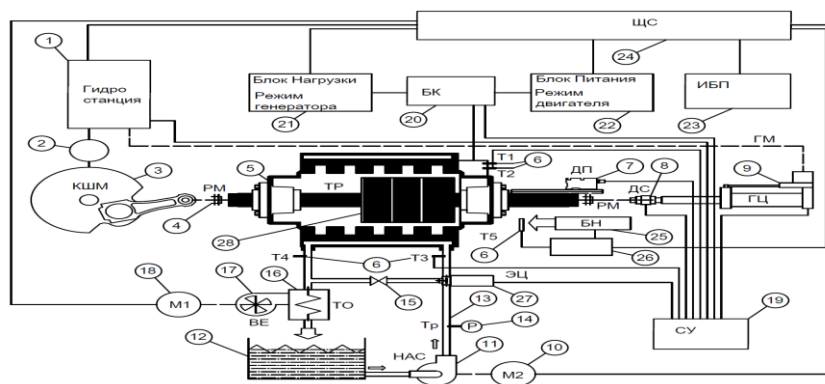


Рис. 1. Функциональная схема ИС: 1 – гидравлическая станция; 2 – гидромотор привода кривошипно-шатунного механизма; 3 – кривошипно-шатунный механизм; 4 – разъемная муфта; 5 – исследуемый объект; 6 – датчики температуры; 7 – датчик положения транслятора; 8 – датчик силы; 9 – гидравлический цилиндр; 10 – электродвигатель насоса; 11 – насос системы охлаждения; 12 – накопительная емкость охлаждающей жидкости; 13 – трубопроводы системы охлаждения; 14 – манометр контроля давления; 15 – вентили; 16 – радиатор системы охлаждения; 17 – вентилятор радиатора; 18 – двигатель привода вентилятора; 19 – система контроля и управления стенда; 20 – блок коммутации для режимов генератора и двигателя; 21 – блок нагрузки; 22 – блок питания для режима двигателя; 23 – Источник бесперебойного питания; 24 – щит силовой; 25 – блок нагрева исследуемого образца; 26 – терморегулятор блока нагрева; 27 – электроцилиндр; 28 – транслятор



Рис. 2. Внешний вид ИС

Для создания тяжелых условий работы ЭМВПД 5 служит блок нагрева 25, обеспечивающий тепловое воздействие температурой до 150°C. Точность поддержания температуры обеспечивается электронным терморегулятором.

ПАК, входящий в состав системы управления, предназначен для управления процессом испытания ЭМВПД в режимах «генератор» и «двигатель» [4]. ПАК, на основе заложенного в него алгоритма и данных, полученных от датчиков, интегрированных в стенд и объект испытания, вырабатывает управляющие сигналы для исполнительных механизмов. Комплекс осуществляет сбор и хранение информации о параметрах объекта испытания, а также вводит ограничения на воздействие с целью защиты узлов и механизмов от повреждения.

Основой ПАК является контроллер *NI Compact RIO-9074* (промышленный процессор реального времени с тактовой частотой 400 МГц для приложений сбора, анализа данных и управления, имеющий в своем составе: 8-ми слотовое шасси с ПЛИС на 2млн. вентилей для обеспечения гибкого тактирования и синхронизации, два *Ethernet* порта стандарта *10/100BASE-T*, порт *RS232* для подключения периферийных устройств) *Compact RIO-9066* производства *National Instruments*. Данный модуль обеспечивает работу ИС в обоих режимах, а также позволяет отладить алгоритм управления ЭМВПД в режиме двигателя. При испытании ЭМВПД в режиме генератора осуществляется поддержание заданной частоты колебаний транслятора по данным датчика положения 7 путем воздействия на пропорциональный клапан сервопривода гидравлической станции 1, одновременно ведется контроль напряжения и тока, вырабатываемых генератором. При испытании ЭМВПД в режиме двигателя вырабатываются сигналы управления силовыми ключами, на основе *IGBT* транзисторов, входящих в блок коммутации 20, и осуществляется измерение усилия, создаваемого транслятором двигателя, по данным датчика силы 8, при этом осуществляется управление положением ГЦ 9, что позволяет измерить усилие в различных точках положения транслятора.

Функциональная схема ПАК показана на рис. 3.

ПАК решает следующие задачи:

1. При испытании ЭМВПД в режиме генератора осуществляется поддержание заданной частоты колебаний транслятора по данным датчика положения путем воздействия на пропорциональный клапан сервопривода гидравлической станции, одновременно ведется

контроль напряжения и тока, вырабатываемых генератором. Функцию поддержания частоты колебания выполняет алгоритм, основанный на ПИД-регуляторе с обратной связью. Благодаря этому достигается высокая точность поддержания частоты.

2. При испытании ЭМВПД в режиме двигателя вырабатываются сигналы управления силовыми ключами, на основе IGBT транзисторов, входящих в блок коммутации, и осуществляется измерение усилия, создаваемого транслятором двигателя по данным датчика силы, при этом осуществляется управление положением ГЦ, что позволяет измерить усилие в различных точках положения транслятора. Функцию измерения усилия в разных точках положения транслятора выполняет алгоритм, основанный на замкнутой системе автоматического поддержания усилия либо измерения максимального усилия, создаваемого ЭМВПД, в зависимости от регламента испытаний.

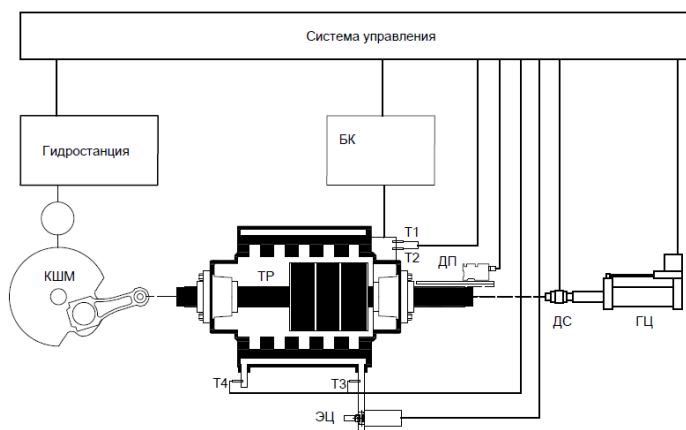


Рис. 3. Функциональная схема программно-аппаратного комплекса

Блок-диаграмма программы управления ИС показана на рис. 4. На рис. 5 показан внешний вид системы контроля и управления, отображаемый на рабочем месте оператора (рис. 6).

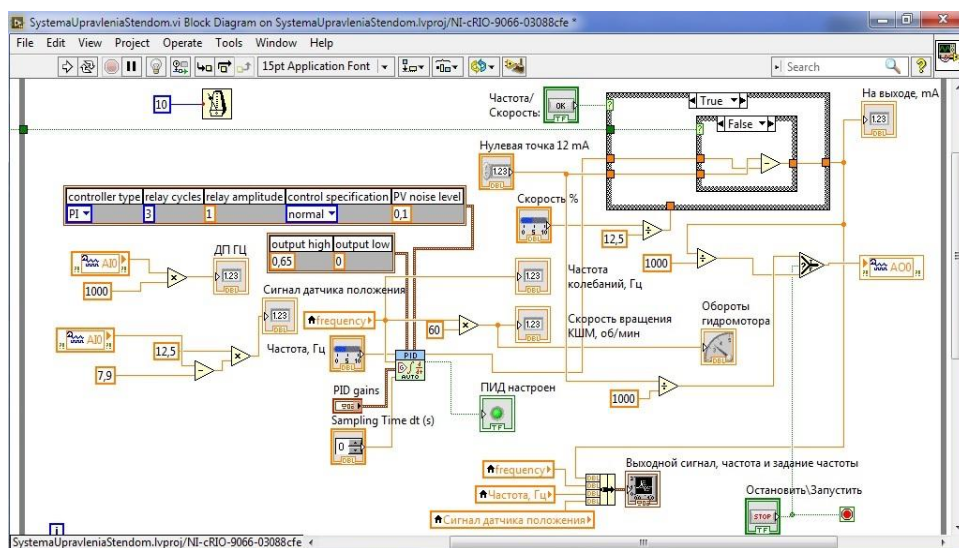


Рис. 4. Блок-диаграмма программы управления ИС

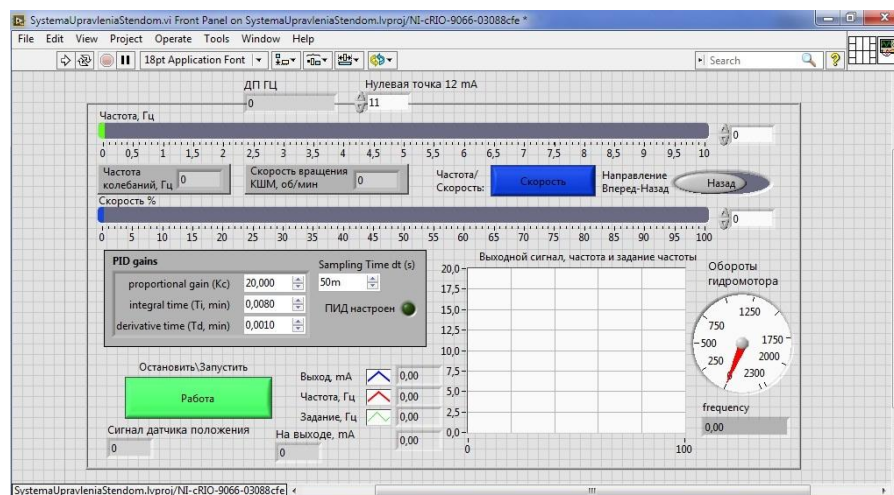


Рис. 5. Рабочее окно программы управления ИС



Рис. 6. Рабочее место оператора

Алгоритм управления ЭМВПД в режиме двигателя основан на формировании широтно-импульсных управляющих сигналов в виде синусоиды со смещением фаз. Скорость изменения управляющих сигналов зависит от положения транслятора двигателя и токовой нагрузки источника питания.

Особое значение имеет включенный в состав алгоритма управления блок защиты, позволяющий своевременно реагировать на параметры, вышедшие за допустимые пределы, и тем самым исключить возможность повреждения объекта испытания и стенда.

Построенные и отлаженные на ИС алгоритмы управления вошли в состав устройства управления двигателем-генератором.

Разработанный и созданный ИС прошел полный цикл испытаний, которые показали соответствие характеристик ИС предъявляемым требованиям. Вошедший в состав ИС ПАК применим для управления ИС, и дает возможность получать полный спектр характеристик ЭМВПД. Кроме этого, гибкость и универсальность ПАК позволяет решать на ИС целый ряд научно-практических задач при испытании различного вида оборудования.

ИС обеспечивает частоту колебаний ТР ЭМВПД в диапазоне от 0 до 100 Гц за счет применения кривошипно-шатунного механизма в сочетании с гидравлическим двигателем марки SCM-047, при этом скорость перемещения ТР достигает 42 м/с ускорением до 25 м/с².

Точность определения положения ТР обеспечивается не только датчиком положения *CSLA1DJ*, но и алгоритмом уточнения положения, реализованным в ПАК, и составляет 0,1 мм. Использование прецизионного датчика (AC26) позволяет измерять усилия на трансляторе до 50 кН. Благодаря применению высоковольтных аналогово-цифровых преобразователей высокого разрешения, ИС измеряет напряжение на выводах ЭМВПД до 400 В с разрешением до 0,025 В и ток в нагрузке до 250 А с разрешением 0,02 А. Температурное воздействие на объект испытания изменяется в диапазоне от 30 до 150°C с точностью 0,1°C за счет применения электронного терморегулятора (*ОВЕН ТРМ1*) температуры. ПАК способен собирать, обрабатывать и хранить большой объем информации (до 16 Гбайт) за счет применения контроллера *NI Compact RIO-9074* с высокоскоростным двухядерным процессором.

Описанные технические решения, гибкость алгоритма управления стендом позволяют проводить испытания не только ЭМВПД, но и широкого спектра различного электротехнического оборудования.

Работа выполнена в рамках соглашения с Минобрнауки РФ от «20» октября 2014 г. № 14.577.21.0121. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57714X0121.

Summary

The paper describes new engineering solutions when developing a test bench for studying experimental models of reciprocating electrical machines, as well as the hardware-software control system. A crank mechanism was used when developing the bench to create hydraulically driven reciprocating motion. The designed hardware-software system allows for controlling the bench and the test subject due to a large number of inputs and outputs of various applications. The sensors integrated into the bench allow for constructing the complete picture of the test and receiving a sufficient amount of high-precision data. The high flexibility of the bench and the test subject control algorithm allows for conducting a wide range of various tests of electrical products.

Key words: reciprocating machine, test bench, crank mechanism, hardware-software system, control algorithm.

Литература

1. Цветков А.Н. Разработка испытательного стенда для электрических машин возвратно-поступательного действия, работающих в тяжелых условиях / А.Н. Цветков, Р.Ш. Мисбахов, Н.В. Денисова, Р.Р. Гибадуллин // Сборник материалов I Всероссийской научно-практической конференции «Энергетика и энергосбережение»: теория и практика (Кемерово, 3-5 декабря 2014г.). Кемерово, 2014.
2. Цветков А.Н. Схемные решения для разработки испытательного стенда для исследований обратной машины возвратно-поступательного действия / А.Н. Цветков, Р.Ш. Мисбахов, М.Ф. Низамиев, Р.Р. Гибадуллин // Сборник материалов научно-технической конференции и выставки инновационных проектов, выполненных вузами и научными организациями Приволжского федерального округа. Нижний Новгород, 2014. С. 34.
3. Цветков А.Н. Стенд для испытания обратимых электрических машин возвратно-поступательного действия/ А.Н. Цветков, Р.Р. Гибадуллин, А.М. Копылов, Л.В. Долманюк // Сборник материалов I Поволжской научно-практической конференции «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве». Казань, 2015. С.109.
4. Цветков А.Н. Разработка программно-аппаратного комплекса испытательного стенда для электрических машин возвратно-поступательного действия, работающих в тяжелых условиях / А.Н. Цветков, Р.Р. Гибадуллин, А.М. Копылов, Л.В. Долманюк // Сборник материалов I Поволжской научно-практической

конференции «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве». Казань, 2015. С.553.

Поступила в редакцию

12 апреля 2016 г.

Цветков Алексей Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» (ЭПП) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

Сафин Альфред Робертович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» (ЭПП) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

Гибадуллин Рамил Рифатович – аспирант 3 года обучения кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» (ЭПП) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Тел.: 8(952)0381364. E-mail: torianin@mail.ru.

Ившин Игорь Владимирович – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий» (ЭПП) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).