

Ю. В. Афанасьев, Е. А. Полихач, И. И. Ямалов, Д. Р. Фаррахов

ПРИМЕНЕНИЕ АСИНХРОННОГО ПРИВОДА ДЛЯ ИМИТАЦИИ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЩЕПРОМЫШЛЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ

В статье описан способ имитации механических характеристик общепромышленных механизмов с помощью частотно-регулируемого асинхронного привода. Показана возможность построения управляющих алгоритмов для нестандартных испытаний, эффективного создания различных типов нагрузки. Представлена упрощенная реализация, которая служит для демонстрации возможностей частотно-регулируемого асинхронного привода. *Частотно-регулируемый асинхронный привод; АВВ; системы управления; механические характеристики*

ВВЕДЕНИЕ

Стремление предельно удешевить привод, особенно для массовых применений в бытовой технике (пылесосы, стиральные машины, холодильники, кондиционеры и т. д.), привело к отказу от датчиков механических переменных и переходу к системам бездатчикового управления, где для оценки механических координат привода (положения, скорости, ускорения) используются специальные цифровые наблюдатели.

При проектировании таких систем возникает необходимость натуральных испытаний для оценки алгоритмов управления. Это может оказаться дорогостоящим мероприятием. Ручное управление нагрузкой в некоторых случаях не позволяет достичь требуемой точности. В этом случае актуальным становится использование автоматизированных методов проведения испытаний.

Асинхронный электропривод находит применение в технологических установках, транспортных элементах систем, установках непрерывной подачи энергетических носителей.

Современные электроприводы переменного тока с частотным и векторным управлением конкурентоспособны по точности, быстродействию и диапазонам регулирования скорости по отношению к высокоточным электроприводам постоянного тока. На сегодня частотно-регулируемый асинхронный привод является наиболее быстро развивающейся областью электрического привода. Предпосылками такого роста называют [1, 2]:

- простоту настройки и обслуживания;

- низкую стоимость разработки;
- гибкость и возможность расширения функционала при минимальных затратах;
- универсальность преобразователей частоты для широкого спектра типоразмеров двигателей;
- уменьшение количества деталей, компактный дизайн;
- надежность конечного продукта;
- снижение стоимости полупроводниковых элементов как следствие развития технологий изготовления;
- возможность реализации энергоэффективных решений.

Так, применение разработанного стенда на предприятии ОАО «УАПО» позволило увеличить производительность испытательной станции более чем в 3 раза, повысить качество результатов испытаний и улучшить условия труда операторов.

ТИПОВЫЕ ОБЩЕПРОМЫШЛЕННЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Несмотря на многообразие частных разновидностей машин и механизмов, можно выделить ограниченное число механизмов, выполняющих в различных конкретных установках одинаковые функции и работающих в одном и том же режиме. Все эти механизмы являются типовыми и предъявляют к электроприводу и его системе управления ряд характерных общих требований при любом конструктивном исполнении.

На рис. 1 показаны механические характеристики некоторых рабочих машин. Характери-

стика 1 соответствует машинам с рабочим органом резания.

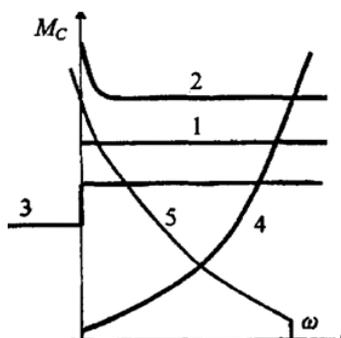


Рис. 1. Механические характеристики производственных механизмов

Характеристика 2 отвечает условиям работы машин, где момент сопротивления определяется, главным образом, силами трения (транспортёры, конвейеры и др. машины). Характеристика 3 относится к грузоподъемным механизмам, где момент сопротивления движению создается, главным образом, силой тяжести.

Для турбомеханизмов (центробежных и осевых насосов, вентиляторов и компрессоров) момент на валу механизма существенно зависит от скорости – характеристика 4. Для вентиляторов эта зависимость носит квадратичный характер.

Характеристикой 5, близкой к гиперболе, обладают намоточные устройства и другие машины, для которых технологически необходима работа с постоянством мощности.

Таким образом, механические характеристики большинства производственных механизмов можно разделить на четыре категории [3]:

- постоянный момент;
- момент, прямо пропорциональный скорости;
- момент, пропорциональный квадрату скорости;
- момент, обратно пропорциональный скорости.

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД

Стенд изготовлен на кафедре электромеханики УГАТУ по заказу ФГУП «УАПО» и предназначен для стендовых испытаний электрических машин мощностью до 6 кВт. На данный момент стенд используется преимущественно для испытания взрывозащищенных асинхронных двигателей типов АИМ-А, 1АС, 2ДАТ габаритов 56–100 мм.

Разработанный стенд представляет собой универсальную расширяемую платформу, построенную с применением современной элементной базы и цифровых технологий обработки информации. В стенде используется преобразователь частоты с системой прямого управления моментом и рекуперацией энергии торможения в сеть. Стенд является технологическим элементом системы управления качеством выпускаемой продукции предприятия ОАО «УАПО».

Стенд соответствует требованиям, предъявляемым к оборудованию, предназначенному для испытаний по программам ГОСТ 183-74 для машин бытового и общепромышленного применения, техническим условиям и специальным программам и методикам испытаний электрических машин, применяемых во взрывоопасных средах и на предприятиях атомной промышленности [2].

Помимо проведения приемо-сдаточных, исследовательских, периодических, инспекционных и сертификационных испытаний электрических машин номинальной мощностью до 6 кВт, оформления и печати протокола испытаний и паспорта на ЭМ, возможности стенда включают имитацию механических характеристик основных типов исполнительных механизмов.

Конструкция стенда и структура управляющей программы позволяют расширять набор стандартных программ испытаний. Также созданы удобные инструменты для подготовки индивидуальных программ для исследовательских и других типов испытаний.

Основные компоненты стенда – асинхронный двигатель под управлением частотного преобразователя АВВ ACS-800, а также управляющая программа на ПК, которая определяет режимы работы преобразователя и производит сбор и обработку информации с датчиков, а также реализует интерфейс пользователя.

Подробное описание конструкции, возможностей и работы стенда приведено в [4, 2].

Для имитации механических характеристик ключевой особенностью данного частотного преобразователя (ЧП) является наличие адаптивного программирования (АП) – возможности заранее задать сложный алгоритм работы привода и сократить таким образом время отклика системы.

Алгоритм работы задается в виде блок-схемы в программе DriveAP или через меню привода. АП позволяет использовать различные

параметры привода в качестве входных параметров, а также выполнять над ними различные операции: арифметические; логические; сравнения.

Для управления программой реализованы блоки:

- счетчики – циклический счетчик, цифровой потенциометр;
- события – текстовый вывод об ошибках, предупреждениях;
- фильтр низкой частоты;
- ПИ-регулятор;
- ступенчатое изменение сигнала;
- регистр хранения;
- таймеры.

Для имитации механической характеристики производственного механизма используется адаптивная программа с дискретностью 10 мс. В этом режиме соответствующая адаптивная программа задается с компьютера до начала испытаний. Во время испытаний ЧП создает нагрузку и управляет исполнительными механизмами в соответствии с заложенным алгоритмом.

Компьютер получает всю текущую информацию о системе и сохраняет результаты измерений в базу данных. На основании полученных данных программа формирует протокол испытаний.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СТЕНДА

Адаптивная программа составлялась в пакете DriveAP 2.1. Измерения проводились с помощью OPC-сервера DriveWindow с дискретностью 100 мс.

Во всех экспериментах значение частоты вращения считывается из регистра 1.02 «Speed». В регистре могут храниться только значения от 0 до 20000, где значение 0 соответствует ограничению минимальной частоты вращения, а значение 20000 соответствует ограничению максимальной частоты вращения. Поскольку все вычисления в адаптивной программе производятся с 24-разрядными знаковыми целыми числами (signed int24), во избежание выхода за пределы разрядности частота вращения приводится к выражению в об/мин. В нашем случае частота вращения ограничена 4000 об/мин. При этом максимальному значению регистра «Speed» 20000 соответствует 4000 об/мин. Таким образом, коэффициент приведения значения регистра к выражению в об/мин составляет 1/5 (BLOCK 1 на всех блок-схемах).

Уравнения моментов нагрузки

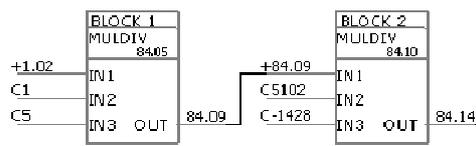
| Тип нагрузки | Уравнение момента | Значения коэффициентов |
|------------------------------------|-----------------------|---|
| Прямо пропорциональная скорости | $M_c = cn$ | $c = M_n / n_n = 10000/2800 = 3,57$ |
| Пропорциональная квадрату скорости | $M_c = cn^2$ | $c = M_n / n_n^2 = 10000/2800^2 = 1/784$ |
| Обратно пропорциональная скорости | $M_c = c / n$ | $c = M_n \cdot n_n = 10000 \cdot 2800 = 28 \cdot 10^6$ |
| Постоянная | $M_c = c_1 + c_2 / n$ | $c_1 = M_n = 10000$ $c_2 / n \rightarrow 0$ при $n \geq n_0$; $c_2 / n = 0,5M_n$ при $n \rightarrow 0$ |

Задание момента записывается в регистр 3 «Ref 2», в котором может храниться значение от 0 до 10000. Значению 10000 соответствует 100% от максимального ограничения задания момента. Во всех экспериментах, кроме нагрузки с постоянным моментом, задание момента ограничено номинальным моментом двигателя. В опыте с постоянным моментом ограничение задания составляет 200% от номинального момента для имитации большого пускового момента. Таким образом, значение момента, рассчитанное в Н·м, должно приводиться к соответствующему значению регистра «Ref 2». Для этого номинальный момент выражается как $M_n = 10000$.

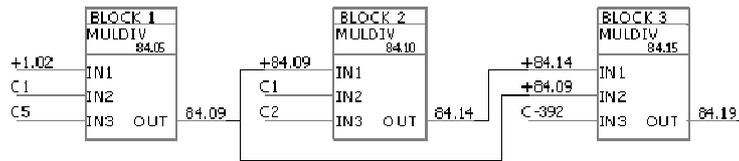
Как видно из таблицы, в случае с гиперболической нагрузкой, значение коэффициента не годится для 24-разрядных вычислений. Поэтому вычисление задания момента разбито на два этапа, на каждом из которых результаты вычислений не превышают $2^{23} - 1$. Обработка результатов измерений производилась по методике, изложенной в [5]. Вид адаптивной программы в DriveAP 2.1, а также графики с результатами экспериментов представлены на рис. 2–4.

ВЫВОДЫ

Проведенное в работе исследование показывает, что развитие систем асинхронного ЭП с микропроцессорным управлением по типу разработанного стенда позволяет путем создания новых программных алгоритмов синтезировать электропривод с широким набором эксплуатационных характеристик, что в свою очередь позволяет удовлетворить требования, предъявляемые к современным технологическим объектам.

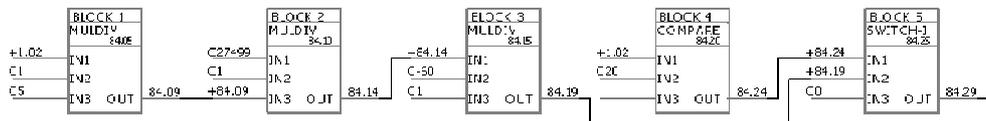


Линейная нагрузка

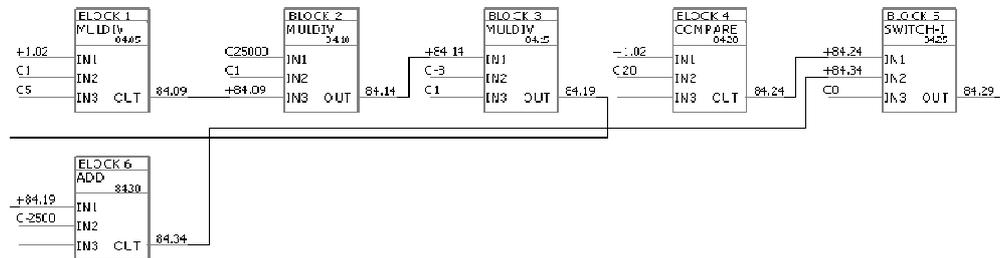


Вентиляторная нагрузка

Рис. 2. Блок-схемы управляющих программ для имитации линейной и вентиляторной нагрузки



Гиперболическая нагрузка



Постоянная нагрузка

Рис. 3. Блок-схемы программ для имитации гиперболической и постоянной нагрузки

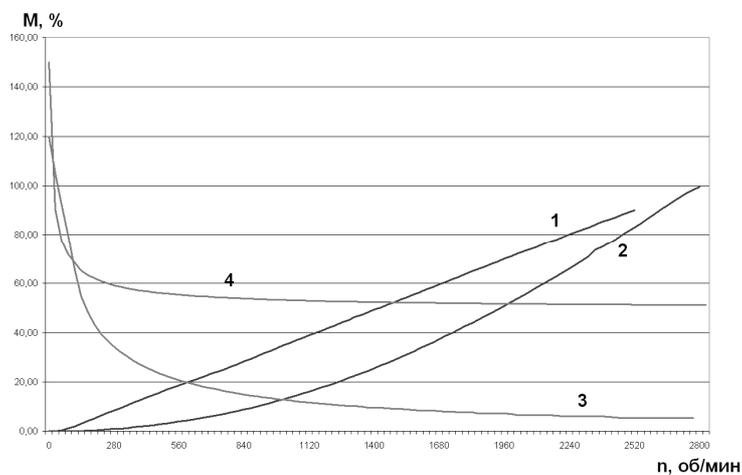


Рис. 4. Графики, полученные в ходе испытаний: 1 – линейная нагрузка; 2 – вентиляторная нагрузка; 3 – гиперболическая нагрузка; 4 – постоянная нагрузка с большим пусковым моментом

Разработанная система управления определила характеристики, функциональные возможности и эксплуатационные параметры испытательного стенда. Разработанная система обеспечивает:

- обработку ступенчатого задания на номинальный момент за 1–2 мс [6];
- астатическое регулирование момента на низких частотах вращения, включая нулевую скорость;
- минимальный отклик на изменение контролируемого параметра 10 мс.

Из приведенных графиков видно, что нагрузка, создаваемая приводом под управлением адаптивной программы, соответствует механическим характеристикам основных типов общепромышленных механизмов: отклонение момента нагрузки от расчетного составляет менее 1%. Таким образом, результаты экспериментальных исследований подтверждают возможность успешного использования частотно-регулируемого асинхронного привода в качестве нагрузочного устройства для испытания различных типов приводных двигателей и систем управления приводом.

Возможность использования адаптивной программы управления приводом в ЧП АBB ACS800 позволяет значительно расширить возможности нагрузочного устройства. Адаптивная программа позволяет снять часть нагрузки с системы управления на ПК, а также максимально сократить отклик системы на изменение входных данных.

Тем не менее, для имитации более сложных механических характеристик, описанных в [7], требуется иной подход в организации обратной связи и управлении нагрузкой.

Дальнейшее расширение возможностей стенда связано с разработкой и совершенствованием алгоритмов проведения испытаний и обработки экспериментальных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **McFate D.** Induction Motor Testing And Evaluation [Электронный ресурс] (http://iotech.bentech-taiwan.com/iotech/induction_motor.pdf).
2. **Фаррахов Д. Р.** Разработка автоматизированного стенда для испытания электрических машин: дисс.. на соиск. квалиф. магистра техники и технологии. Уфа, 2011. 99 с.
3. **Онищенко Г. Б.** Электрический привод: учеб. для вузов. М.: РАСХН, 2003. 320 с.
4. Автоматизированный стенд с интеллектуальным управлением / Ф. Р. Исмагилов [и др.] // Электроника, автоматика и измерительная техника: межвузовск. сб. науч. тр. Уфа: УГАТУ, 2011. С. 273–275.
5. **Эльясберг П. Е.** Измерительная информация: сколько ее нужно? Как ее обрабатывать? М.: Наука, Гл. ред. физ-мат литературы, 1983. 208 с.
6. АBB ACS800 Single drives catalogue. Rev.L.
7. **Ланграф С. В.** Асинхронный моментный электропривод с векторным управлением для имитации усилий запорной арматуры магистральных нефтепроводов: автореферат. Томск, 2007.

ОБ АВТОРАХ

Афанасьев Юрий Викторович, доц. каф. электро-механики. Дипл. инженер-электромеханик (УАИ, 1980). Канд. техн. наук по элементам и устройствам управления (УАИ, 1985). Иссл. в обл. конструирования электр. машин.

Полихач Евгений Александрович, ст. преп. той же каф. Дипл. магистр техники и технологии (УГАТУ, 2006). Канд. техн. наук по электротехн. комплексам и системам (УГАТУ, 2009). Иссл. в обл. магнито-электр. синхронных генераторов автономн. систем.

Ямалов Ильнар Илдарович, асп. той же каф. Дипл. магистр техники и технологии (УГАТУ, 2011). Иссл. в обл. высокоэффективных систем зажигания.

Фаррахов Данис Равилевич, асп. той же каф. Дипл. магистр техники и технологии (УГАТУ, 2011). Иссл. в обл. управляемых электромех. преобразователей энергии.