

Теория автоматического управления:

МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, ЛАБОРАТОРНЫЕ СТЕНДЫ

Андрей Качалов, к. т. н.

Рустам Хусаинов, к. т. н.

Николай Барбашин

rzh@susu.ac.ru

На сегодня при изучении систем автоматического регулирования (САР) в рамках таких дисциплин, как «Теория автоматического управления» (ТАУ), основное внимание уделяют компьютерному имитационному моделированию и изучению виртуальных моделей динамических систем, которые, несмотря на свою методическую ценность, лишены наглядности и имеют ряд допущений, определяющих их расхождение с реальными системами.

Конечно, можно создать математическую модель реальной системы с большой точностью, но такие модели весьма громоздки и сложны для понимания и проведения лабораторных работ. Совсем другое дело — физическая модель, выполненная при помощи устройств, имитирующих поведение реального объекта. Обычно физическая модель представляет собой блочную структуру, параметры элементов которой и взаимосвязь между ними позволяют добиться соответствия характеристик модели с реальным объектом, поскольку они имеют одну и ту же качественную природу.

При физическом моделировании, основой которого является теория подобия, сохраняются особенности проведения эксперимента с соблюдением оптимального диапазона изменения соответствующих физических параметров.

Для лучшего понимания процессов, протекающих в САР, необходимо наглядно продемонстрировать различия математической модели, модели физической и реального физического объекта. К тому же методически интересен не только математический синтез, но и процесс настройки реальной САР, который включает множество аспектов.

В связи с тем, что лабораторная база большинства вузов сильно изношена, курс ТАУ переведен, в основном, на компьютерное моделирование в современных пакетах имитационного моделирования.

Специалистами ООО НПП «Учтех-Профи» разрабатывается линейка лабораторных стендов по теории управления, с помощью которых делается возможным изучение курса ТАУ на базе:

- системы управления «Широтно-импульсный преобразователь — двигатель постоянного тока» (ШИП–ДПТ);
- системы регулирования уровня жидкости;
- системы регулирования температуры;
- системы позиционирования на базе пневмопривода.

Лабораторный стенд «Теория автоматического управления» на базе системы ШИП–ДПТ (рис. 1) представляет собой систему, в основу которой за-



Рис. 1. Лабораторный стенд «Теория автоматического управления»

ложена описанная идея последовательного перехода от компьютерного моделирования до настройки и исследования реальной САР.

Согласно общей концепции, принятой при производстве стендов в ООО НПП «Учтех-Профи», стенд состоит из модулей, каждый из которых содержит набор элементов, объединенных по смысловому признаку. Он содержит следующий набор средств для снятия статических и динамических характеристик систем и их элементов:

- Функциональный генератор, производящий генерацию сигналов специальной формы с заданной частотой и амплитудой.
- Персональный компьютер с платой аналогового ввода-вывода, оснащенный специальным фирменным программным обеспечением Delta Profi, позволяющим производить осциллографирование, регистрацию аналоговых сигналов, а также генерировать сигналы специальной формы.
- Модуль «Измеритель АЧХ», который предназначен для измерения в ручном режиме частотных характеристик исследуемой системы. Данный прибор выдает на исследуемый объект гармонический сигнал регулируемой амплитуды и частоты, принимает выходную координату системы и раскладывает ее на активную и реактивную составляющие.

Рассмотрим более подробно отдельные модули лабораторного стенда. Модуль «Типовые динамические звенья» содержит универсальные звенья первого и второго порядка с передаточными функциями типа:

$$W_1(p) = k_1 \times \frac{T_1 p + D_1}{T_2 p + D_2},$$

$$W_2(p) = \frac{k_2}{T_3^2 p^2 + 2\xi T_3 p + 1},$$

где: коэффициенты k_1, k_2 изменяют коэффициенты усиления; переменные D_1 и D_2 принимают значения 0 или 1; T_1, T_2, T_3 определяют постоянные времени соответствующих каналов регуляторов.

В зависимости от значения параметров передаточной функции $W_1(p)$ можно получить следующие типовые звенья первого порядка:

- пропорциональное звено ($T_1 = 0, T_2 = 0$);
- интегратор ($T_1 = 0, D_1 = 0, D_2 = 0$);
- дифференциатор ($T_2 = 0, D_1 = 0, D_2 = 0$);
- аperiodическое звено первого порядка ($T_1 = 0, D_1 = 1, D_2 = 1$);
- реально-дифференцирующее ($D_1 = 0, D_2 = 1, T_2 = 0$);
- изодромное ($D_2 = 0$);
- идеально-форсирующее ($T_2 = 0, D_2 = 1$);
- реально-форсирующее ($D_1 = 1, D_2 = 1$).

Кроме этого, в зависимости от величины коэффициента ξ передаточной функции $W_2(p)$ можно получить одно из типовых звеньев второго порядка:

- консервативное звено ($\xi = 0$);
- фильтр Бесселя ($\xi = 0,383$);
- фильтр Баттерворта ($\xi = 0,707$);
- фильтр Чебышева ($\xi = 0,866$);

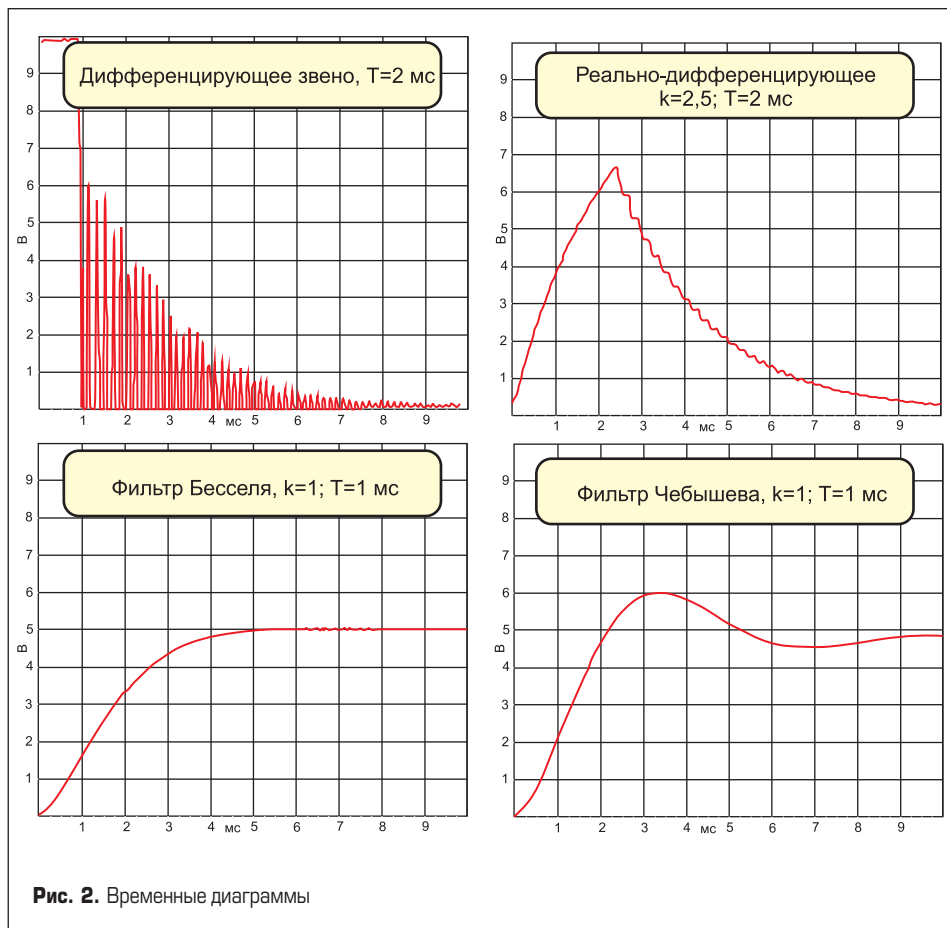


Рис. 2. Временные диаграммы

- аperiodическое звено 2-го порядка ($\xi = 1$). Временные диаграммы некоторых звеньев приведены на рис. 2.

Модуль «Система ШИП-ДПТ» (рис. 3) содержит реверсивный полупроводниковый преобразователь с элементами управления, построенный на базе MOSFET и предназначенный для управления электродвигателем постоянного тока. Также в модуле располагаются датчики напряжения, тока, скорости, элементы изменения параметров якорной цепи, несущей частоты полупроводникового преобразователя, нагрузочная машина —

источник реактивного момента нагрузки. К модулю подключается электромашинный агрегат, состоящий из двигателя, нагрузочной машины, датчика скорости и комплекта сменных маховиков. Малые мощность и жесткость механической характеристики электродвигателя позволяют сделать опыты по исследованию замкнутых систем регулирования наглядными и показательными, что очень важно при проведении лабораторных работ по теории автоматического управления.

Модуль «Модель системы ШИП-ДПТ» представляет собой упрощенную модель

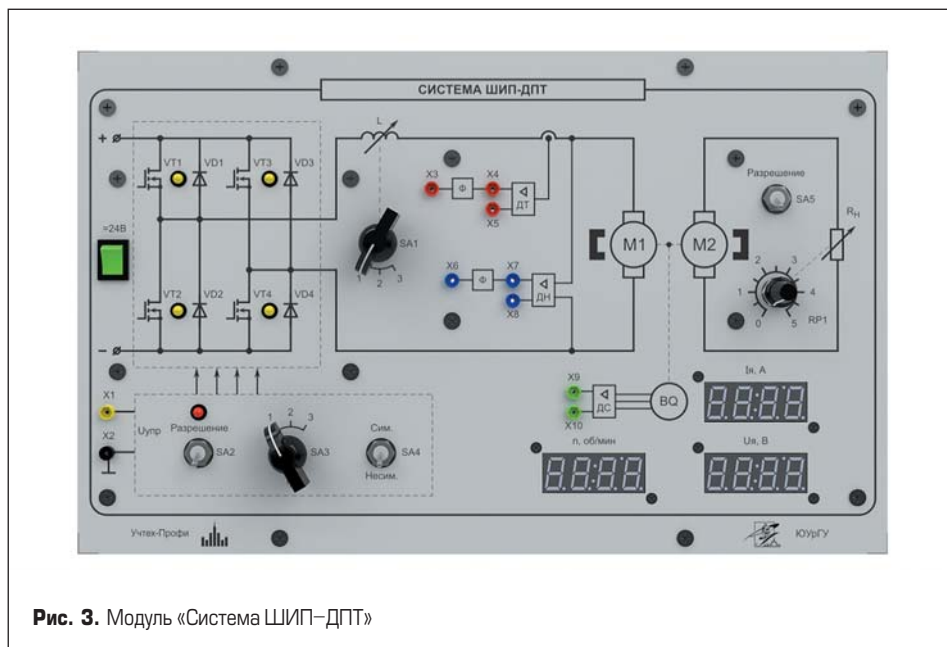


Рис. 3. Модуль «Система ШИП-ДПТ»

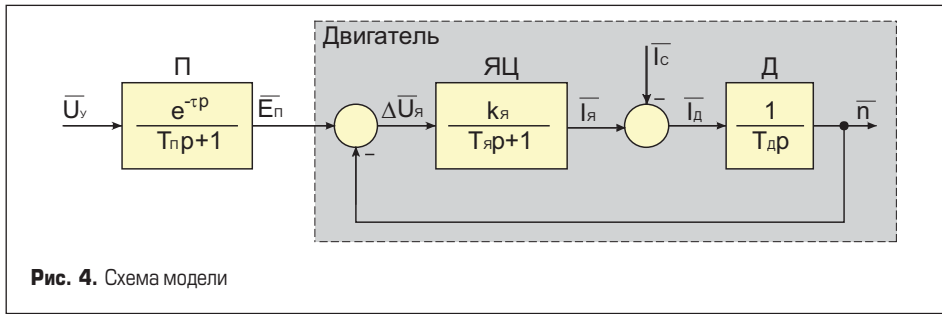


Рис. 4. Схема модели

системы ШИП–ДПТ лабораторного стенда, реализованную на базе элементов аналоговой электроники. Модель построена по схеме, представленной на рис. 4.

Полупроводниковый преобразователь представлен как звено «П», в котором учитывается чистое запаздывание преобразователя и постоянная времени системы управления; якорная

цепь электродвигателя представлена аperiodическим звеном «ЯЦ»; маховые массы двигателя представлены интегратором «Д». Все параметры модели имеют возможность изменения, при этом при определенной комбинации переключателей параметры модели соответствуют параметрам реальной системы ШИП–ДПТ. Это дает возможность студентам произвести сравнительный анализ характеристик реальной системы и ее физической модели, а также смоделировать эту систему с помощью одного из пакетов имитационного моделирования, сравнить и объяснить различия. Для примера приведены осциллограммы разгона электропривода под нагрузкой, снятые на реальном электроприводе (рис. 5б) и его модели (рис. 5а).

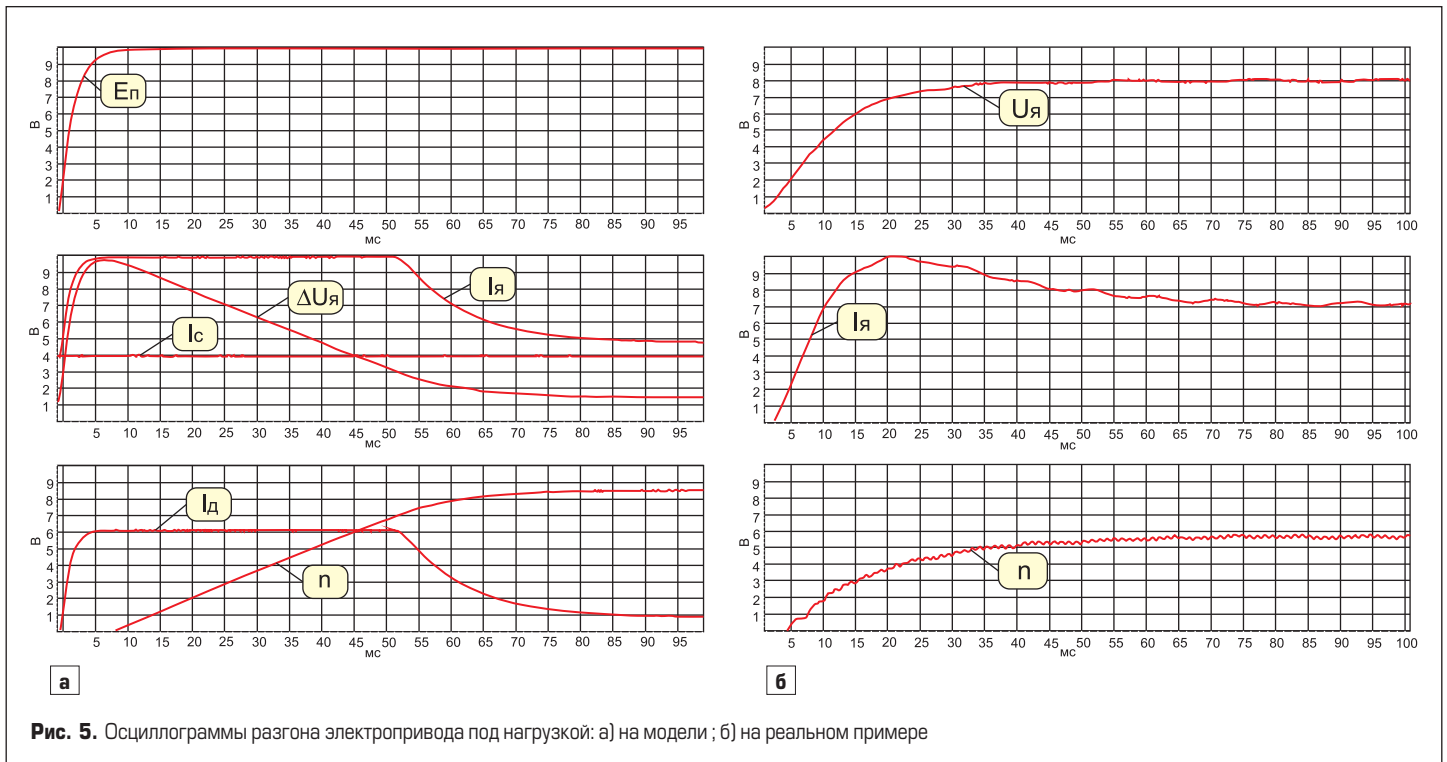


Рис. 5. Осциллограммы разгона электропривода под нагрузкой: а) на модели ; б) на реальном примере

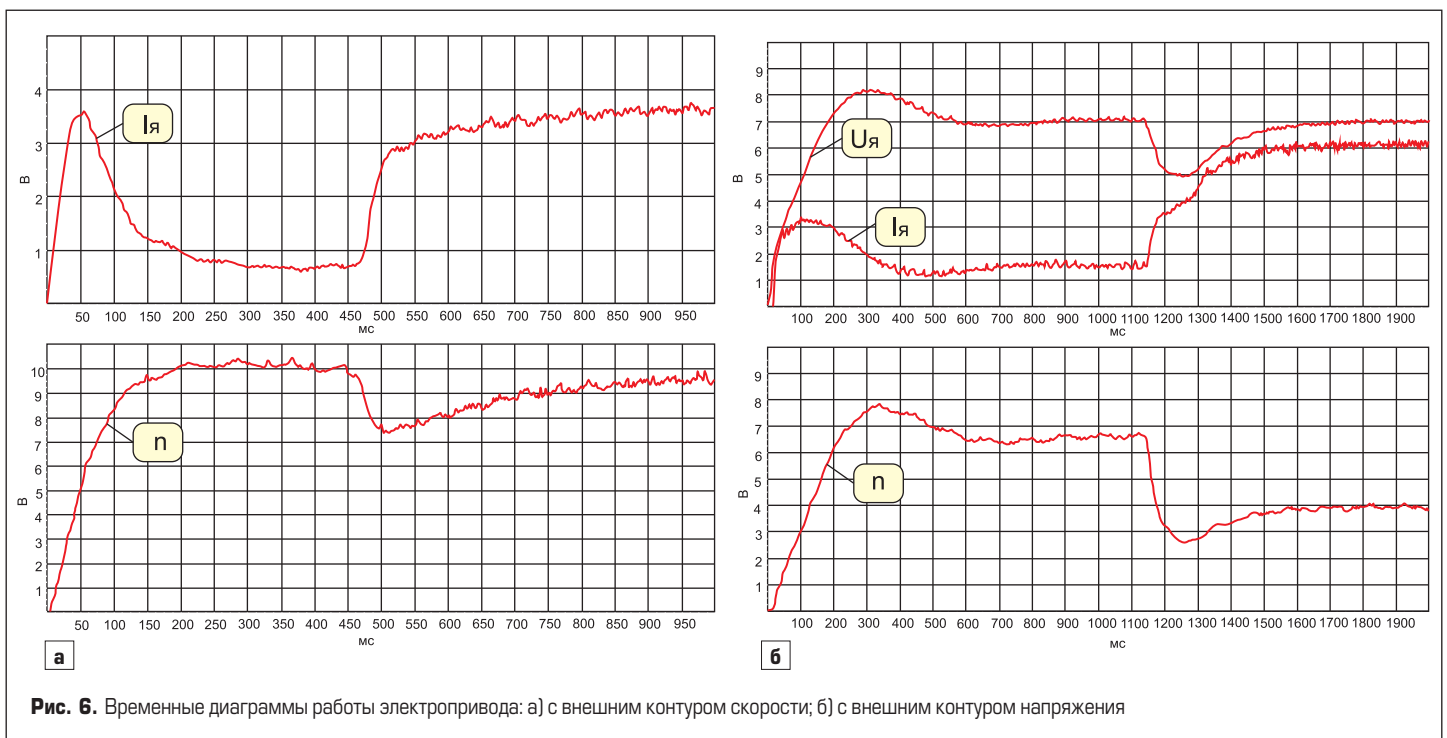


Рис. 6. Временные диаграммы работы электропривода: а) с внешним контуром скорости; б) с внешним контуром напряжения

Модуль аналоговых регуляторов содержит систему подчиненного регулирования, состоящую из двух последовательно соединенных пропорционально-интегральных регуляторов с изменяемыми параметрами. Модуль может быть использован при настройке замкнутой системы электропривода или при работе с моделью системы ШИП–ДПТ. Например, появляется возможность синтеза системы подчиненного регулирования с внутренним контуром тока и внешним контуром скорости или напряжения.

На временных диаграммах работы электропривода с внешним контуром скорости (рис. 6а) четко выражен участок наброса на-

грузки, сопровождающийся резким падением скорости и ее последующим вытягиванием на прежний уровень под действием ПИ-регулятора скорости. При работе системы регулирования с внешним контуром напряжения участок наброса нагрузки сопровождается динамической просадкой напряжения якорной цепи и его последующим выходом на установленный уровень. При этом скорость вращения вала двигателя падает (рис. 6б).

Таким образом, ООО НПП «Учтех-Профи» открывает новый класс лабораторных стендов по изучению систем автоматического регулирования и управления. Разработанный лабораторный стенд «Теория автоматического управле-

ния» начал поставляться в вузы учебных заведений РФ (Северный (Арктический) федеральный университет, Южно-Уральский государственный университет). Он позволяет студентам электротехнических специальностей вузов провести базовый курс лабораторных работ по изучению основ ТАУ, исследованию методов коррекции и построения замкнутых систем автоматического управления, осуществить сравнительный анализ характеристик математических и физических моделей с реальными объектами управления. В дальнейшем планируется дополнить стенды по ТАУ новыми физическими объектами электротехнического и неэлектротехнического профиля. ■