

## РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛОГОВОГО ПРОТОТИПА ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫМ СТЕНДОМ

Грибинник М. Д., Шеремет А. И.

Разработана имитационная модель для аналогового прототипа цифровой системы управления лабораторным стендом. Лабораторный стенд предназначен для исследования работы двигателя постоянного тока независимого возбуждения с цифровой системой управления при различных механических нагрузках. Представлена структурная схема линеаризованной двухконтурной системы электропривода, выполненного по принципу подчиненного регулирования. Полученные результаты моделирования удовлетворяют требованиям к системе управления, поставленным при разработке лабораторного стенда.

Розроблено імітаційну модель для аналогового прототипу цифрової системи управління лабораторних стендом. Лабораторний стенд призначений для дослідження роботи двигуна постійного струму незалежного збудження з цифровою системою управління при різних механічних навантаженнях. Представлена структурна схема лінеаризованої двохконтурної системи електроприводу, виконаного за принципом підлеглого регулювання. Отримані результати моделювання задовольняють вимогам до системи управління, поставленим при розробці лабораторного стенду.

A simulation model for the analog prototype digital laboratory management system stand was designed. Laboratory stand is for engine operation research DC independent excitation with a digital control system with different mechanical loads. It is a block diagram of a linearized dual-actuator system constructed by the principle of the subordinate regulation. These simulation results meet the requirements of the control system put in the development of the laboratory stand.

Грибинник М. Д.

Шеремет А. И.

студент ДГМА  
gribinnik12@gmail.ru

канд. техн. наук, доц. каф. ЭСА ДГМА

УДК 62-523

Грибинник М. Д., Шеремет А. И.

## РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛОГОВОГО ПРОТОТИПА ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫМ СТЕНДОМ

В настоящее время цифровые системы управления применяются повсеместно. В промышленности сейчас трудно представить эффективную, быстродействующую, качественную и энергосберегающую технику без использования цифровых контрольно-измерительных систем и цифровых систем управления в целом. В электроприводах наиболее распространенными являются системы подчиненного регулирования, в которых необходимо производить цифровую обработку аналоговых сигналов для основных параметров контролируемого объекта – скорости, тока и напряжения, а также выполнять их графическое отображение [1].

Для исследования цифровых систем управления электроприводами постоянного тока в лабораторных условиях необходимо использовать специальное оборудование. Лабораторный стенд – это комплекс оборудования, предназначенного для экспериментального изучения физических явлений и технических параметров объекта управления [2].

Лабораторный стенд предназначен для исследования работы двигателя постоянного тока независимого возбуждения с цифровой системой управления при различных механических нагрузках. Кинематическая схема стенда представлена на рис. 1.

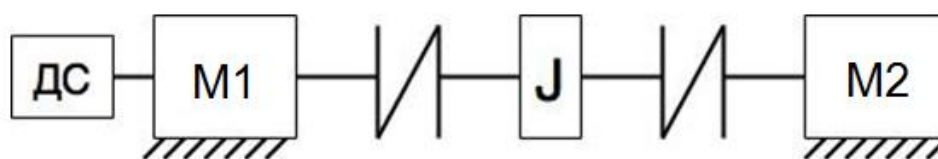


Рис. 1. Кинематическая схема экспериментального стенда

На схеме видно, что исследуемый двигатель М1 посредством жесткой связи соединен с другим двигателем М2, который создает нагрузку различной величины, необходимой для проведения экспериментов. Датчик скорости ДС измеряет скорость вращения исследуемого двигателя, а также определяет направление вращения ротора двигателя. Представленная кинематическая схема является типовой для различных станков и оборудования, что дает студентам, осуществляющим опыты на стенде, знания в использовании и эксплуатации промышленного оборудования, а также практические навыки работы с электроприводом [3].

Целью работы является разработка имитационной модели для аналогового прототипа цифровой системы управления двигателем постоянного тока, применяемом в лабораторном стенде.

Осуществление поставленной цели достигается путем решения следующих задач:

- теоретический анализ, рассмотрение двигателя постоянного тока как объекта управления в современном представлении;
- расчет маховиков, которые необходимы для имитации смены момента инерции за счет подсоединения двигателя рабочего механизма нагрузки;
- моделирование выбранного двигателя постоянного тока в программной среде MATLAB Simulink в соответствии с проведенными расчетами;
- вычисление необходимых параметров и построение механических характеристик для разрабатываемого лабораторного стенда;
- проведение экспериментальных исследований.

Системы электропривода с подчиненным регулированием получили первоначальное применение в электроприводах постоянного тока и нашли широкое применение в современной промышленности [4].

Функциональная схема лабораторного стенда представлена на рис. 2.

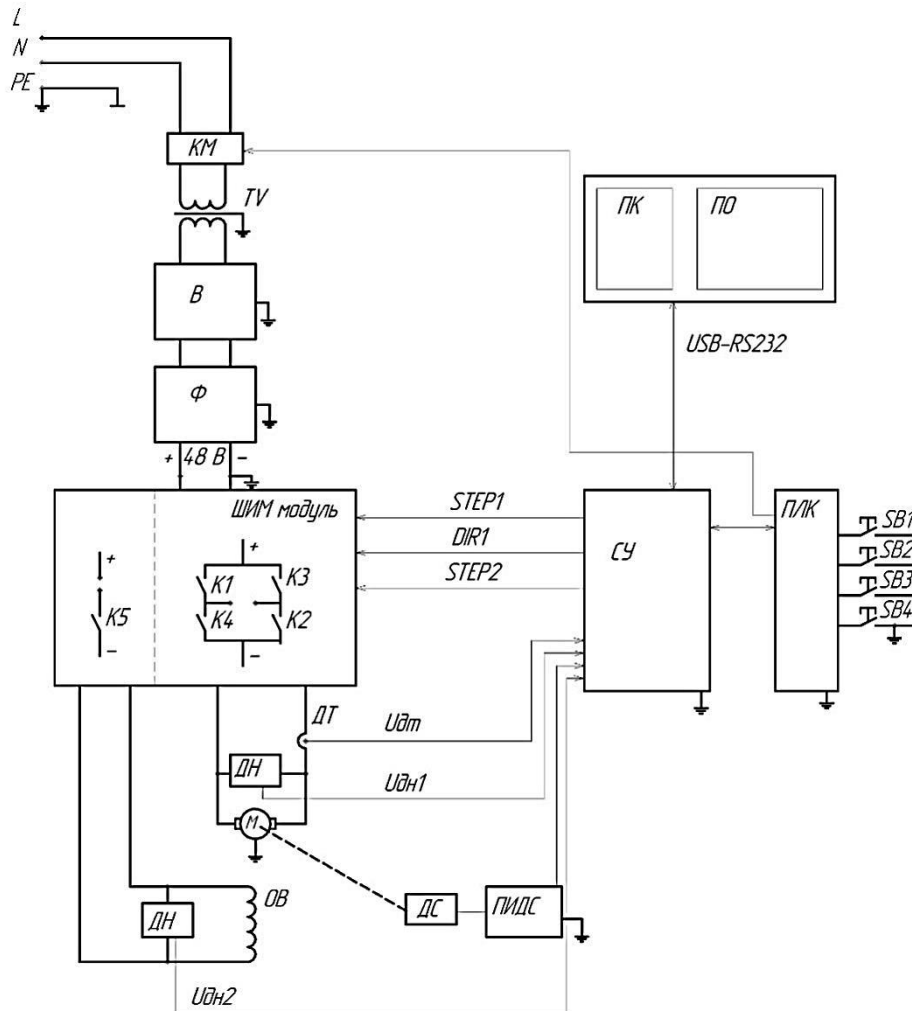


Рис. 2. Функциональная схема лабораторного стенда

На рис. 2 приняты следующие обозначения:

- ДН – датчик напряжения;
- ДТ – датчик тока;
- ДС – датчик скорости;
- ПЛК – программируемый логический контроллер;
- В – выпрямительный мост;
- Ф – фильтр;
- ПК – персональный компьютер;
- SB1 – SB4 – кнопки управления;
- М – двигатель постоянного тока независимого возбуждения;
- ОВ – обмотка возбуждения двигателя постоянного тока независимого возбуждения;
- $U_{дн}$  – напряжение на выходе датчика напряжения;
- $U_{дт}$  – напряжение на выходе датчика тока;
- К1 – К4 – ключи H-моста;
- К5 – ключ, коммутирующий обмотку возбуждения;

– TV – трансформатор.

При подаче напряжения на трансформатор поступает напряжение переменного тока 220 В. На вторичной обмотке трансформатора образуется напряжение 48 В. При помощи выпрямительного моста переменный ток преобразуется в пульсирующий и далее, проходя через фильтр, на выходе образуется постоянный ток. После чего поступает на ШИМ-модуль, который состоит из четырех ключей для управления непосредственно двигателем и еще одного – для управления обмоткой возбуждения. Для измерения и регулирования значения тока в якорной цепи размещен датчик тока, который передает сигнал на систему управления. Аналогичным образом подключены датчики напряжения и скорости вращения. Система управления посредством интерфейса USB – RS-232, связана с персональным компьютером, который загружает необходимую программу работы двигателя. В соответствии с этой программой система управления при помощи каналов связи STEP1, STEP2, DIR1 задает нужную частоту работы ШИМ-модуля. Система управления также связана двусторонней связью с ПЛК, который также может задавать режимы работы системы.

Структурная схема двухконтурной системы электропривода приведена на рис. 3.

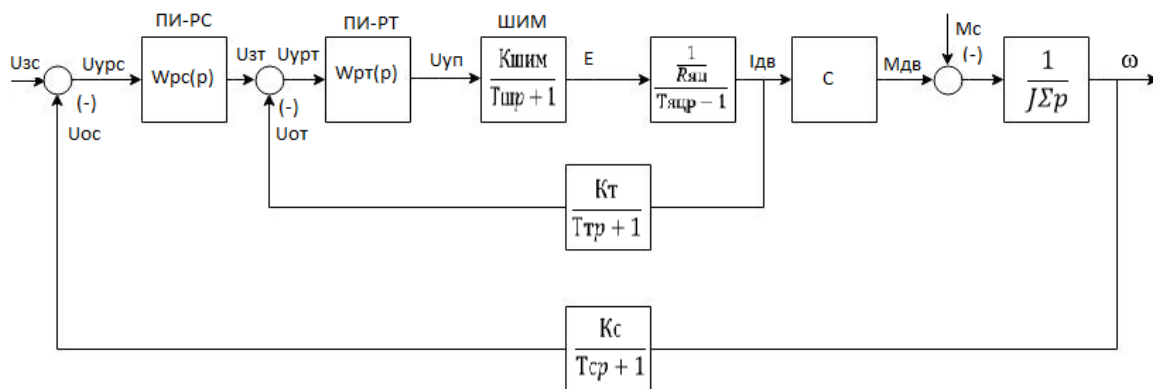


Рис. 3. Структурная схема линейризованной двухконтурной системы электропривода, выполненного по принципу подчиненного регулирования

ШИМ-модуль представлен апериодическим звеном с коэффициентом передачи  $K_{шум}$  и постоянной времени  $T_{шп}$ . Датчики тока и скорости также представлены апериодическими звеньями с коэффициентами передачи  $K_m$  и  $K_c$  и постоянными времени  $T_m$  и  $T_c$  соответственно [5].

На рис. 3 приняты следующие обозначения:

- коэффициент передачи ШИМ – модуля  $K_{шум}$ ;
- коэффициент обратной связи по току  $K_m$ ;
- максимальное напряжение задания на ток двигателя  $U_{зтmax}$ ;
- максимально допустимый ток якоря двигателя  $I_{двmax}$ .

С пропорционально-интегральным регулятором тока статическая погрешность регулирования тока стремиться к нулю, так как такой регулятор теоретически имеет бесконечно большой коэффициент усиления.

Электропривод с ПИ-регулятором скорости имеет меньшее быстродействие при отработке управляющего воздействия, но в нем теоретически отсутствует погрешность поддержания скорости при изменении момента на валу двигателя. Динамические провалы скорости при скачкообразном изменении нагрузки на валу двигателя присущи обоим типам регуляторов.

Динамическая погрешность электропривода с ПИ-регуляторами скорости и тока не равна нулю на всех этапах разгона двигателя. Ток якоря двигателя превышает значение  $I_{max}$  в

первые моменты времени протекания переходных процессов в электроприводе за счет инерционностей в контуре тока [6].

По структурной схеме, представленной на рис. 3, разработаем модель в программной среде MATLAB Simulink. Для построения модели вычисляем необходимые параметры передаточных функций элементов схемы:

$$K_{рт} = \frac{T_{\varepsilon}}{2\tau \cdot K_{пшм} \cdot K_{т} \cdot K_{\partial 1}} = \frac{0,0023}{2 \cdot 0,0003141 \cdot 4,8 \cdot 1,5 \cdot 0,34} = 1,4934,$$

$$K_{пшм} = \frac{48}{10} = 4,8,$$

$$K_{т} = \frac{10}{\lambda \cdot I_{ном}} = \frac{10}{2,2 \cdot 3} = 1,5,$$

$$K_{\partial 1} = \frac{1}{R_{я}} = \frac{1}{2,937} = 0,34048,$$

$$W_{рт} = K_{рт} \frac{1 + T_{ур}}{T_{ур}},$$

$$T_u = T_{\varepsilon} + \tau = 0,002614 \text{ с},$$

$$\tau = T_{пшм} = \frac{2\pi}{f_{шм}} = \frac{2 \cdot 3,14}{20000} = 0,0003141 \text{ с},$$

$$T_{\varepsilon} = \frac{L_{я}}{R_{я}} = \frac{0,006893}{2,9375} = 0,0023 \text{ с},$$

$$K_{с} = \frac{10}{\omega_{н}} = \frac{10}{523} = 0,019,$$

$$K_{рс} = \frac{1}{4\tau \cdot K_{с} \cdot \frac{1}{K_{\Phi}}} = \frac{1}{4 \cdot 0,0003141 \cdot 0,019 \cdot \frac{1}{0,078}} = 3154,38.$$

На основе проведенных расчетов моделируем работу системы в MATLAB Simulink [7] (рис. 4).

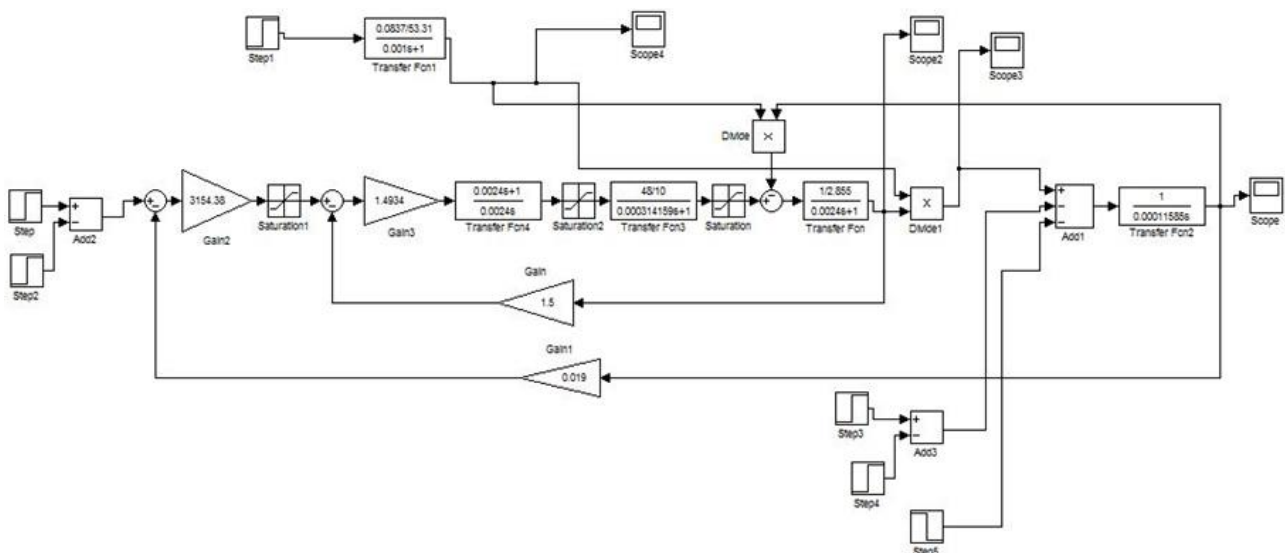


Рис. 4. Модель аналогового прототипа системы управления электроприводом

На выходе системы получаем переходные функции по скорости (рис. 5), току якорной цепи (рис. 6) и моменту (рис. 7).

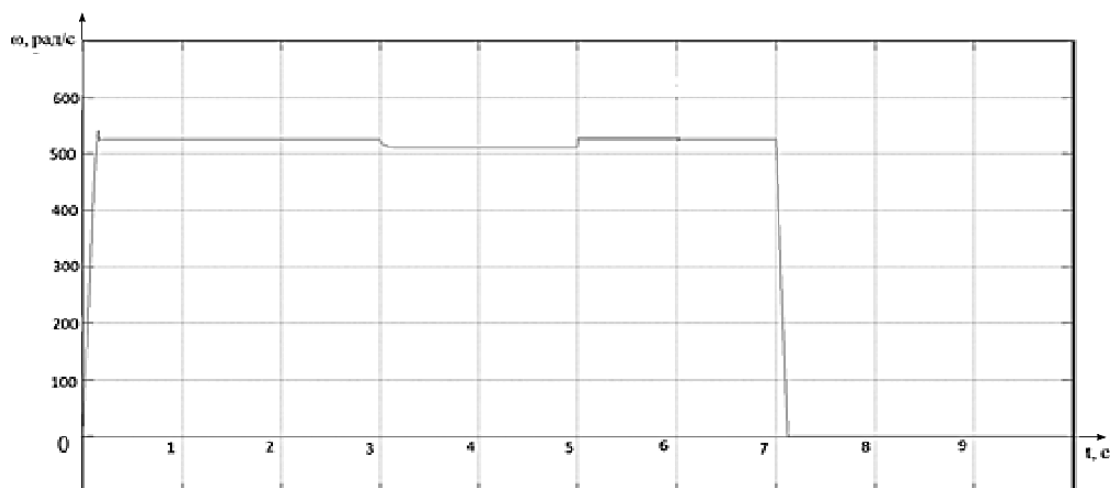


Рис. 5. Переходная функция по скорости

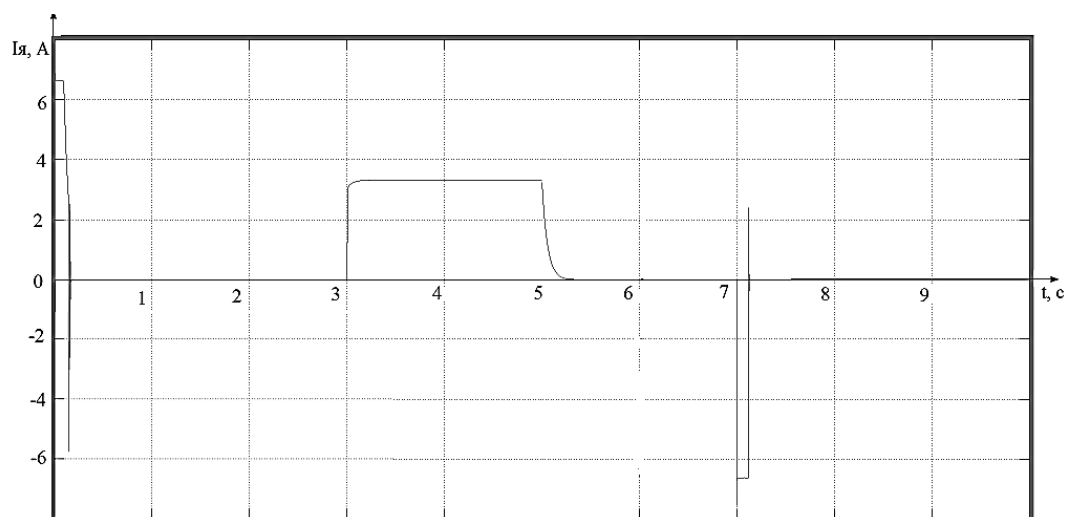


Рис. 6. Переходная функция по току якорной цепи

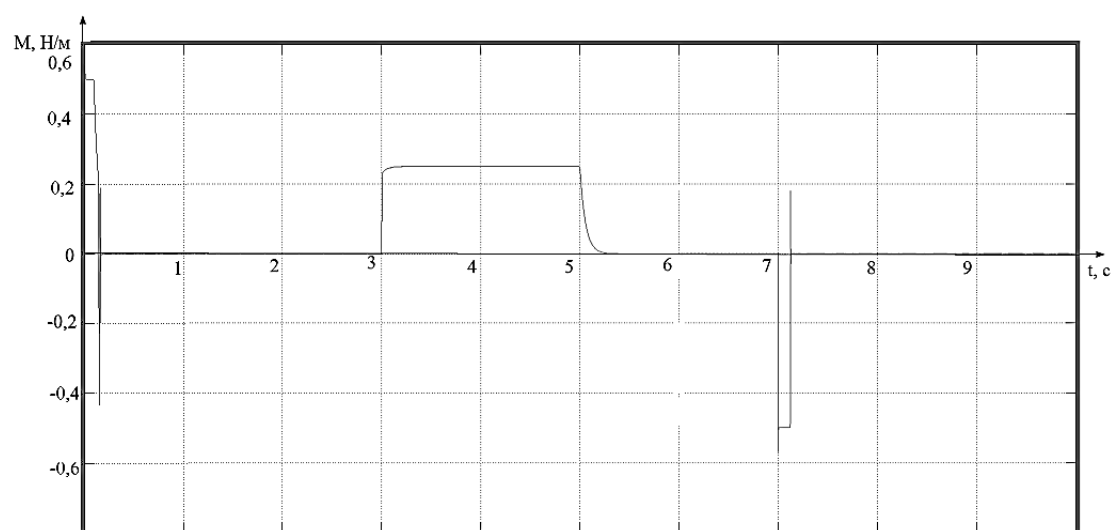


Рис. 7. Переходная функция по моменту

Таким образом, полученные результаты моделирования подтвердили правильность проведенных расчетов и показали работоспособность системы в динамике (при набросе нагрузки, останове и на холостом ходе).

Важной проблемой при моделировании является обеспечение качества регулирования, характеризующие точность и плавность протекания переходного процесса. Для оценки качества системы используют прямые и косвенные показатели. Прямые показатели применяют при наличии графика переходного процесса, который получен экспериментальным путем или посредством моделирования. Во всех других случаях целесообразно использовать косвенные показатели, которые вычисляются по коэффициентам характеристического полинома или по частотным характеристикам.

По полученным данным в ходе эксперимента определяем прямые показатели качества моделируемой системы.

Время регулирования определяет длительность переходного процесса и характеризует быстродействие системы:

$$t_p = 0,12 \text{ с.}$$

Перерегулирование

$$\sigma = \frac{y_{\max} - y_{\text{уст}}}{y_{\text{уст}}} \cdot 100\% = \frac{540 - 520}{520} \cdot 100\% = 3,85\%.$$

Перерегулированием называется максимальное отклонение управляемой величины от заданного значения и выраженной в процентах.

Колебательность

$$\mu = \frac{y_{\max}}{y_{\text{уст}}} = \frac{540}{520} = 1,04.$$

Колебательность процесса характеризуется числом колебаний управляемой величины за время регулирования.

Степень затухания

$$\zeta = 1 - e^{-\frac{2\pi}{\mu}} = 1 - e^{-\frac{2\pi}{1,04}} = 0,997.$$

Полученные результаты моделирования удовлетворяют требованиям к системе управления, поставленным при разработке лабораторного стенда.

## ВЫВОДЫ

Создание лабораторного стенда невозможно без предварительного исследования всех особенностей его функционирования на имитационной модели. Проведение лабораторных практикумов с применением разрабатываемого исследовательского оборудования является ключевой особенностью образовательного процесса по техническим дисциплинам. В ходе лабораторных работ будущие инженеры приобретут навыки работы с действующим оборудованием, с подобием которого им придется столкнуться в будущей профессиональной деятельности.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В. А. Елисеева и А. В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983г. – 616 с.
2. Марущак Я.Ю. Синтез електромеханічних систем з послідовним та паралельним коригуванням: Навч. посібник / Я. Ю. Марущак. – Львів: Видавництво національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 208 с.
3. Солодовников В. В. Теория автоматического управления техническими системами: учеб. пособие / В. В. Солодовников, В. Н. Плотников, А. В. Яковлев. – М.: Изд-во МГТУ, 1993. – 492 с.
4. Мирошник И. В. Теория автоматического управления. Нелинейные и оптимальные системы / И. В. Мирошник. – СПб.: Питер, 2006. – 272 с.
5. Управление вентилями электроприводами постоянного тока / Е. Д. Лебедев, В. Е. Неймарк, М. Я. Пистрак, О. В. Слежановский. – М.: Энергия, 1970. – 199 с.
6. Ключев В. И. Теория электропривода / В. И. Ключев. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
7. Андриевский Б. Р. Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке MATLAB / Б. Р. Андриевский, А. Л. Фрадков – СПб.: Наука, 2000 – 475 с.

Статья поступила в редакцию 29.09.2016 г.