

## ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТИРИСТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Буткеев Н.Е., Нестеров С.А.

ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск  
Тел. (8342) 290-605, e-mail: [nesterov@mrsu.ru](mailto:nesterov@mrsu.ru)

**Аннотация.** В статье представлены результаты разработки виртуальных лабораторных стендов для исследования тиристорных электроприводов постоянного тока с реверсивными преобразователями в режимах отдельного и совместного управления. Программное решение задачи выполнено в системе MATLAB. Приведены функциональные схемы моделей и некоторые результаты исследования. Виртуальные стенды позволяют исследовать статические и динамические характеристики привода, а также напряжения и токи в силовой схеме преобразователя. **Ключевые слова:** тиристорный электропривод постоянного тока, реверсивный тиристорный преобразователь, виртуальная лабораторная установка, система MATLAB.

Целью настоящей работы является создание виртуальной лабораторной установки для исследования реверсивного тиристорного электропривода постоянного тока с отдельным и совместным управлением. Целесообразность создания такой установки обусловлена тем фактом, что изготовление реального лабораторного стенда является весьма затратным, а существующие комплекты лабораторных практикумов не предусматривают исследование реверсивных электроприводов. В то же время широко применяемая в настоящее время система моделирования Matlab [1] создает широкие возможности моделирования машинно-вентильных систем и исследования их характеристик.

Схема реверсивного электропривода постоянного тока (рис. 1) включает в себя двухкомплектный тиристорный преобразователь на базе двух трехфазных мостов  $B_1$  и  $B_2$ , двигатель постоянного тока с независимым возбуждением  $M$ , сглаживающий реактор  $L$ , а также реакторы  $L_1$  и  $L_2$  для ограничения уравнивающих токов. [2].

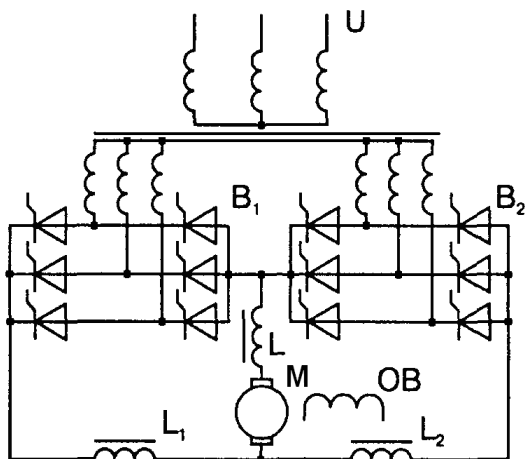


Рис. 1

Электромагнитный момент на валу двигателя определяется средним током на выходе управляемого выпрямителя. Поэтому в первом приближении управляемый выпрямитель можно считать непрерывным регулируемым источником напряжения. Тогда его динамические характеристики могут быть представлены апериодическим звеном с постоянной времени

$$T_{VB} = \frac{2\pi}{\omega m} = \frac{1}{mf}.$$

Схема модели машины постоянного тока представлена на рисунке 2. Цепь якоря представлена

на ее активным сопротивлением  $R_a$ , индуктивностью  $L_a$  и ЭДС обмотки якоря  $E_{FCEM}$  (управляемый источник напряжения). Величина ЭДС обмотки якоря вычисляется по выражению

$$E = K_E \cdot \omega,$$

где  $\omega$  — скорость двигателя, а  $K_E$  — коэффициент пропорциональности, зависящий от величины тока возбуждения:

$$K_E = L_{af} \cdot I_f,$$

где  $L_{af}$  — взаимдуктивность обмотки якоря и обмотки возбуждения двигателя, а  $I_f$  — ток обмотки возбуждения.

Цепь возбуждения машины представлена на схеме активным сопротивлением  $R_f$  и индуктивностью  $L_f$  обмотки возбуждения.

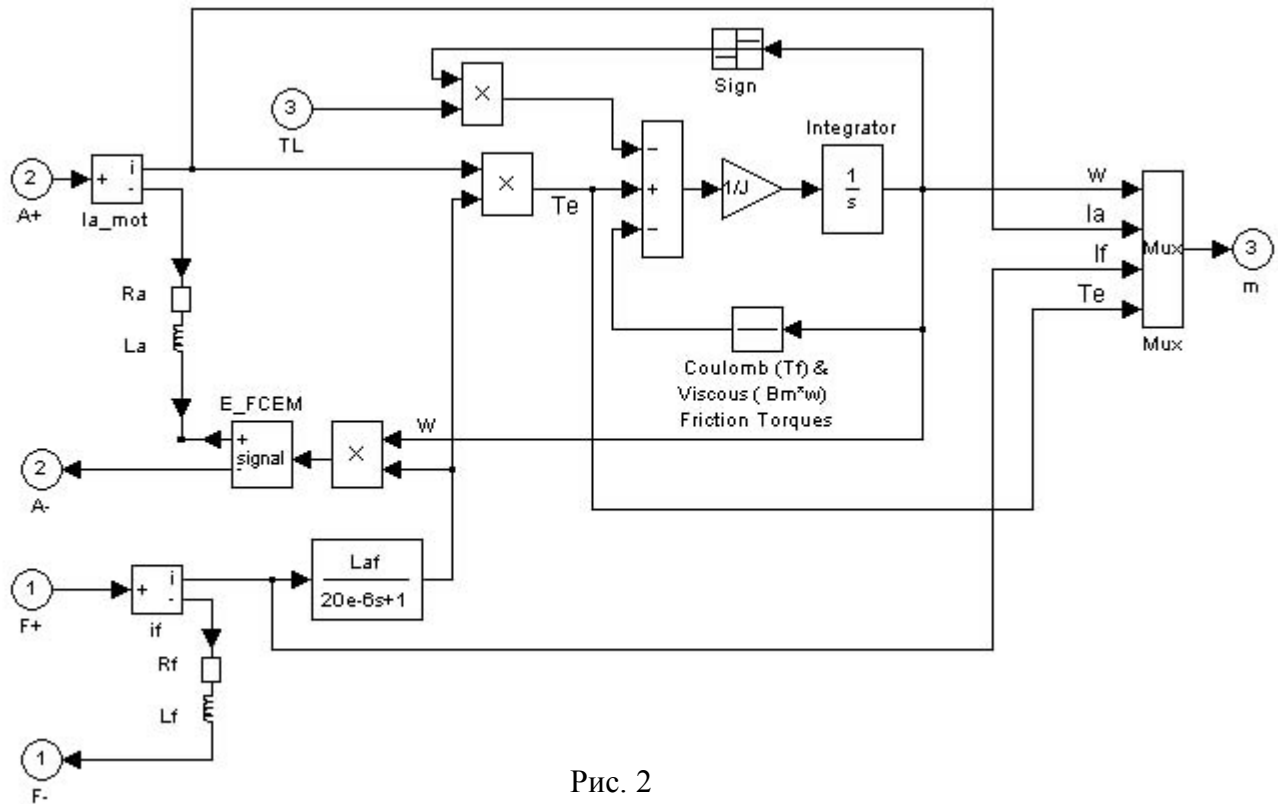


Рис. 2

Механическая часть модели вычисляет скорость двигателя в соответствии с уравнением:

$$T_E = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + \text{sign}(T_L),$$

где  $T_E$  — электромагнитный момент двигателя,  $B$  — коэффициент вязкого трения, а  $T_L$  — коэффициент сухого трения.

Величина электромагнитного момента вычисляется в соответствии с выражением:

$$T_E = K_T \cdot I_a,$$

где  $I_a$  — ток якоря, а  $K_T$  — коэффициент пропорциональности между электромагнитным моментом и током якоря. Можно считать  $K_T = K_E [1]$ .

Модель реверсивного управляемого выпрямителя можно построить с помощью блока Universal Bridge из библиотеки Power Electronics. Этот блок позволяет выбирать количество плеч моста (от 1 до 3), вид полупроводниковых приборов и направление выводов.

Виртуальная лабораторная установка тиристорного электропривода с отдельным способом управления вентильными комплектами представлена на рисунке 3. В ее состав входят:

- трёхфазный источник напряжения, состоящий из трёх блоков AC Voltage Source из библиотеки Power System Blockset/Extras/Electrical Sources;
- источник постоянного напряжения V2 для питания обмотки возбуждения из библиотеки Power System Blockset/Extras/Electrical Sources;
- блок машины постоянного тока DC Machine из библиотеки Power System Blockset/Machines;

- два трёхфазных мостовых выпрямителя Universal Bridge (Thyristor 1 и Thyristor 2) из библиотеки Power Electronics;
- два блока управления Synchronized 6-Pulse Generator из библиотеки Power System Blockset/Extras/Control Blocks;
- блоки задания угла регулирования  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  из библиотеки Simulink/Sources;
- блок задания момента нагрузки Moment из библиотеки Simulink/Sources.

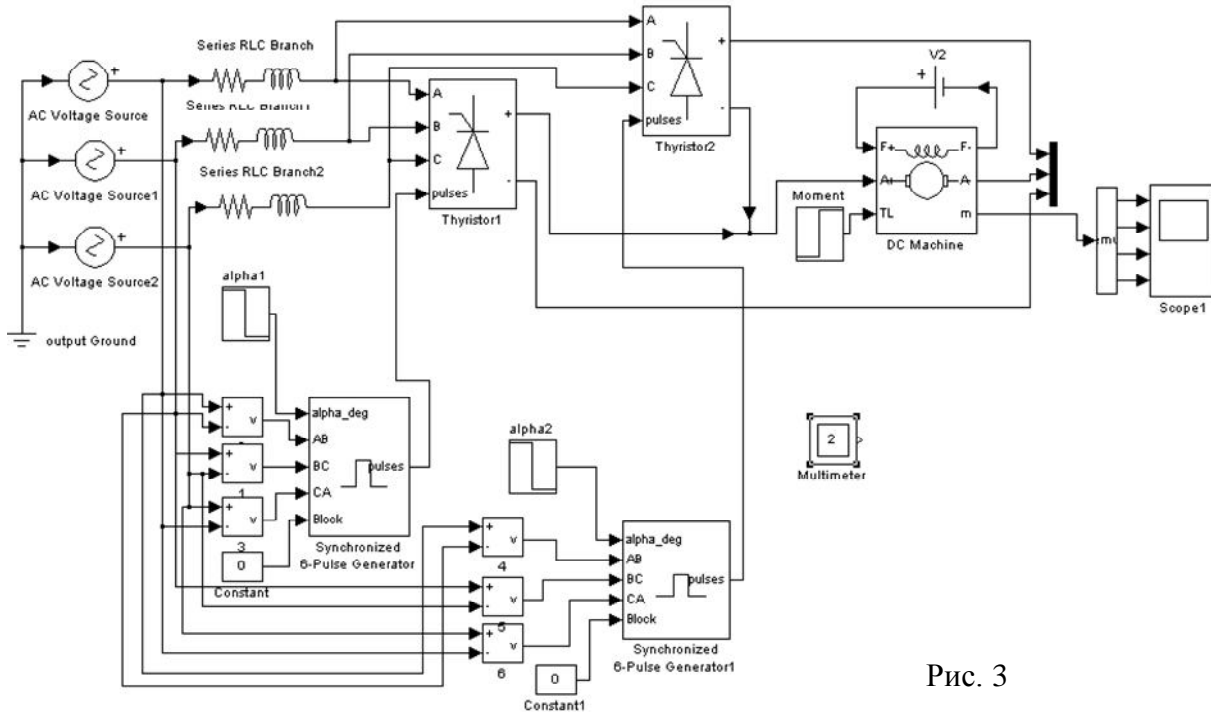


Рис. 3

Осциллограммы, полученные при исследовании электропривода на основе двигателя 2ПН-90М, показаны на рисунке 4.

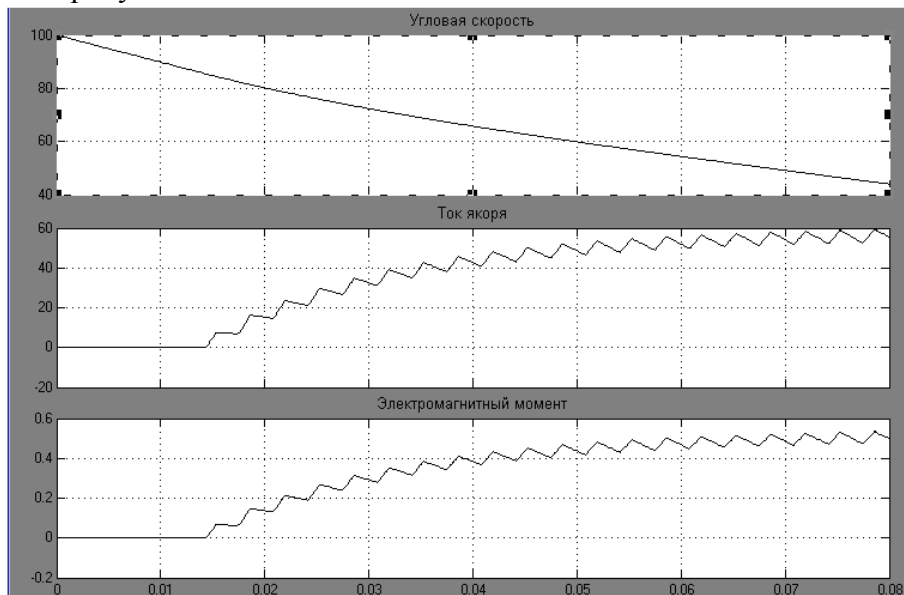


Рис. 4

Виртуальная лабораторная установка тиристорного электропривода с раздельным способом управления представлена на рисунке 5.

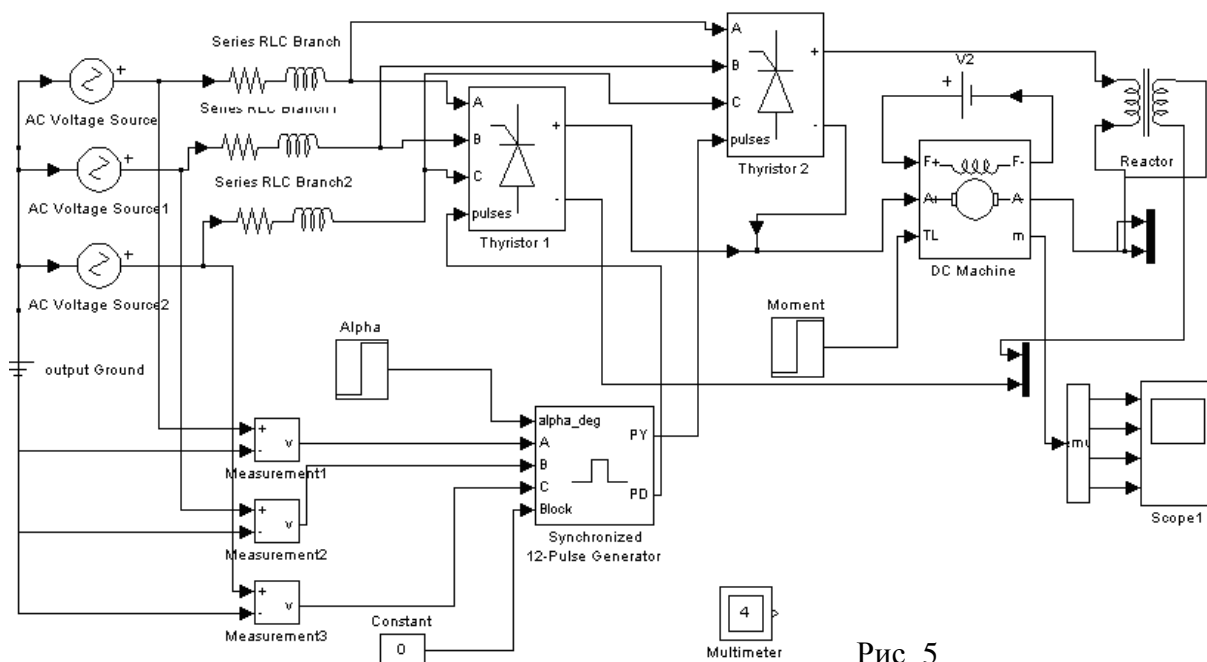


Рис. 5

Отличие данной лабораторной установки от установки, показанной на рисунке 3, состоит в том, что для ограничения уравнительных токов в схему включены два магнитно-связанных уравнительных реактора. Они реализованы с помощью модели трансформатора из библиотеки Sim Power System/Elements. Кроме того, управление тиристорными мостами осуществляется общим блоком управления Synchronized 12-Pulse Generator из библиотеки SimPowerSystems/Extra Library/Control Blocks. Следует отметить, что такая система управления позволяет исследовать только совместный способ управления с линейным согласованием, когда соотношение между углами регулирования определяется выражением  $\alpha_1 + \alpha_2 = \pi$ . Чтобы исследовать режимы с нелинейным согласованием, следует использовать два отдельных генератора импульсов, как в установке на рисунке 3. Если требуется исследовать поведение системы с токоограничивающими реакторами без магнитной связи, можно реактор на базе трансформатора заменить двумя отдельными реакторами.

На рисунке 6 показаны осциллограммы напряжений и токов на элементах силовой схемы реверсивного преобразователя, полученные в процессе исследования электропривода на основе двигателя 2ПН-90М.

Описанные виртуальные лабораторные установки снабжены удобным пользовательским интерфейсом, позволяющим задать параметры преобразователя и двигателя, а также режимы работы электропривода.

Они позволяют исследовать регулировочные, механические и скоростные характеристики электропривода в различных режимах и при разных способах управления, а также динамические свойства электропривода при сбросах и набросах нагрузки, при изменении скорости и направления вращения двигателя сигналами управления и могут служить полезным дополнением к имеющимся лабораторным практикумам по курсам «Основы преобразовательной техники», «Основы вентильного электропривода» и другим курсам цикла силовой электроники. Изменении знака момента на валу двигателя, изменении скорости и направления вращения двигателя сигналами управления и могут служить полезным дополнением к имеющимся лабораторным практикумам по курсам «Основы преобразовательной техники», «Основы вентильного электропривода» и другим курсам цикла силовой электроники.

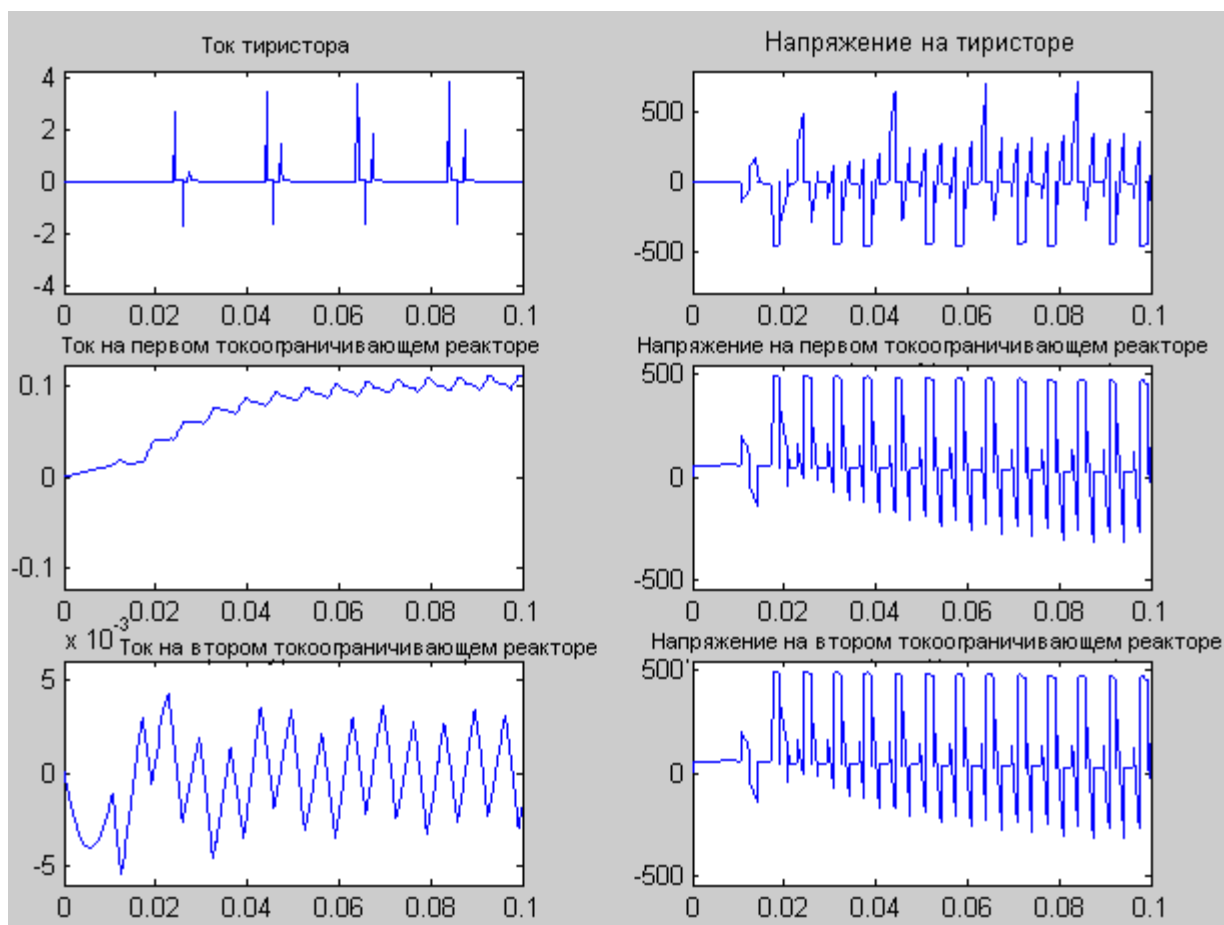


Рис. 6

### Литература

1. Герман-Галкин С.Г., Кардонов Г.А. Электрические машины: Лабораторные работы на ПК. – СПб.: Корона принт, 2003. — 256 с.
2. Зимин Е.Н., Кацевич В.Л., Козырев С.К. Электроприводы постоянного тока с вентильными преобразователями. — М.: Энергоиздат, 1981. — 192 с., ил.