

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Завьялова О.Ю. Разработка и исследование высокоточных регуляторов электромеханических исполнительных органов систем ориентации и стабилизации космического аппарата: дис. канд. техн. наук: 05.09.03. Томск, 2013.
2. Завьялова О.Ю., Казанцев Ю.М. Синтез регулятора маховичного электромеханического исполнительного органа // Изв. Том. политехн. ун-та. 2012. Т.320, № 4. С. 162–166.

**ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ КОММУТАТОРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ РЕДУКЦИЕЙ**

Пенкина Т.Ю., Курбатов Е.М.

Научный руководитель: Малышенко А.М., профессор, д.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

Акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва»

Россия, г. Железногорск Красноярского края, ул. Ленина, 52, 662972

E-mail: pentan-1987@mail.ru

**DEVELOPMENT OF THE SWITCH BOARD'S MODEL FOR CONTROL OF THE SYNCHRONOUS MOTOR WITH AN ELECTROMAGNETIC REDUCTION**

Penkina T.Y., Kurbatov E.M.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Malishenko A.M.

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

JSC Academician M.F. Reshetnev Information Satellite Systems

Russia, Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, Lenin str., 52, 662972

E-mail: pentan-1987@mail.ru

*Рассматриваются компоненты системы наведения антенн, разработанные предприятием АО «ИСС» им. академика М.Ф. Решетнёва» для серии современных космических аппаратов «Луч-5». Рассматривается схема управления синхронным двигателем с электромагнитной редукцией индукторного типа с расщеплёнными обмотками. Решается задача исследования гармонического состава сигнала коммутатора в каждой полупазе двигателя, при помощи разложения сигнала в ряд Фурье. Исследование проводится в математическом пакете MathCad. Результаты представлены в виде графиков положительных полуволн сигнала с разным набором точек. Предложена аналитическая модель коммутатора для управления синхронным двигателем с электромагнитной редукцией, включающая в себя: источник тока, сопротивление нагрузки, сопротивление шунта и индуктивность обмотки двигателя. Модель позволяет модифицировать сигналы, что необходимо для дальнейших исследований системы наведения антенн спутника.*

*Components of the antennas guidance system are developed JSC Academician M.F. Reshetnev Information Satellite Systems for series of modern spacecrafts «Loutch-5» have been considered. The control's scheme of the synchronous motor with an electromagnetic reduction of inductor-type with the split windings have been considered. The research problem of harmonious structure of the switchboard's signal in each semi-phase of the motor by means of the signal's decomposition of the signal in Fourier series have been solved. The research is conducted in a mathematical package MathCad. Results are presented in the view of diagrams of positive signal's half waves with different set of points. The analytical switchboard's model for control of the synchronous motor with an electromagnetic reduction, which including current source, load resistance, resistance of the shunt and inductance of the motor's winding have been introduced. The model allows to modify signals, that is necessary for further researches of the satellite's antennas guidance system.*

В настоящее время для обмена информацией с низколетящих объектов на космический аппарат (КА) устанавливается система наведения антенн (СНА) [1]. Для управления антеннами серии спутников «Луч-5», разрабатываемых АО «ИСС», используется трёхфазный синхронный электродвигатель с электромагнитной редукцией (СДЭР) индукторного типа, схема которого представлена на рис. 1.

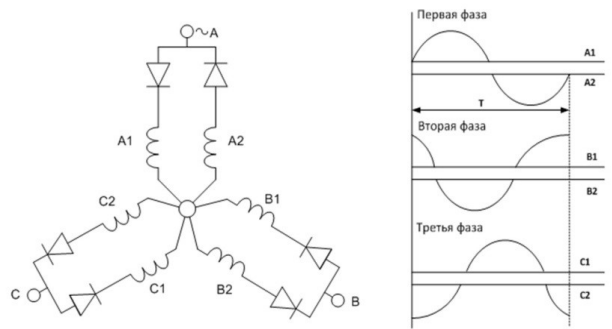


Рис. 1. Схема СДЭР

Питание обмоток двигателя осуществляется от генератора тока, схема которого представлена на рис. 2.

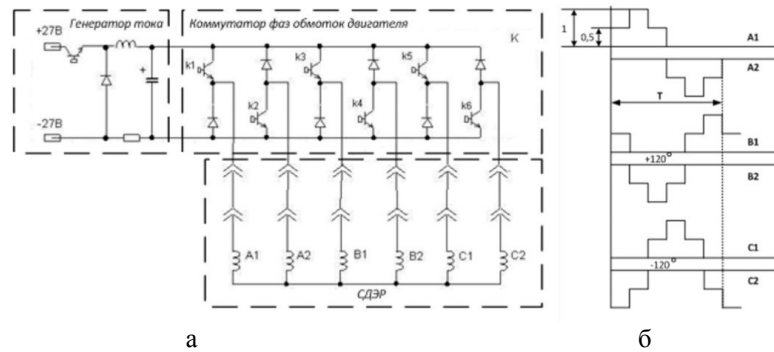


Рис. 2. Схема подключения электродвигателя к коммутатору  
а-схема подключения, б-диаграмма тока в ключах коммутатора

С целью замены дискретного сигнала коммутатора аналитическим выражением, была поставлена задача исследования гармонического состава сигнала в каждой полуфазе двигателя при помощи разложения в ряд Фурье [2].

В работе рассматривается сигнал, представленный наборами в 36 и 72 точки до 18 гармоники. С целью минимизации трудозатрат все расчёты выполняются при помощи программного пакета MathCad [3]. На рис. 3 и 4 представлены результаты исследования для положительной полуволны сигнала в 36 и 72 точки.

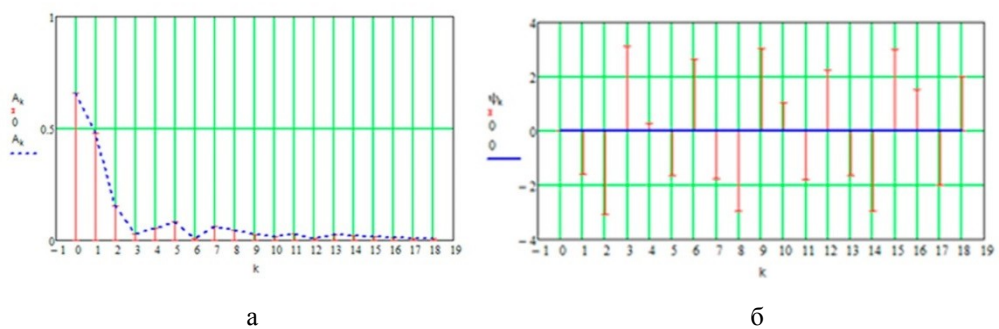


Рис. 3. Гармонический состав положительной полуволны сигнала (36 точек)  
а – амплитуда гармоник; б – фаза гармоник

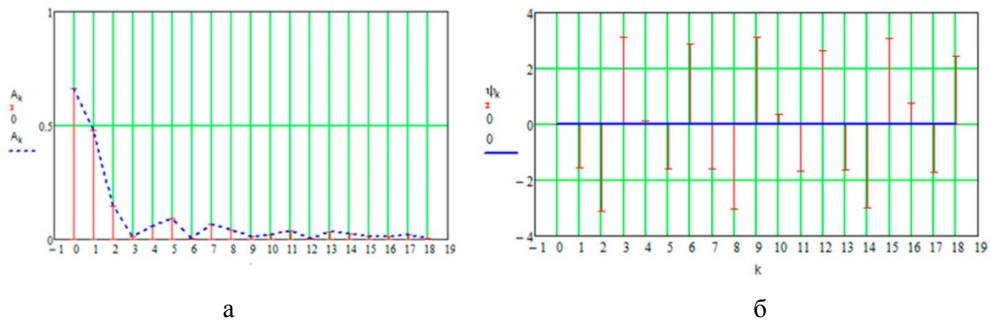


Рис. 4. Гармонический состав положительной полуволны сигнала (72 точки)

*a* – амплитуда гармоник; *б* – фаза гармоник

Аналогично получены результаты исследования для отрицательных полуволн с разным набором точек.

Основной вклад спектрального синтеза определяет гармонический ряд до шестой гармоники, что позволяет провести усечение с целью упрощения модели (рис. 5).

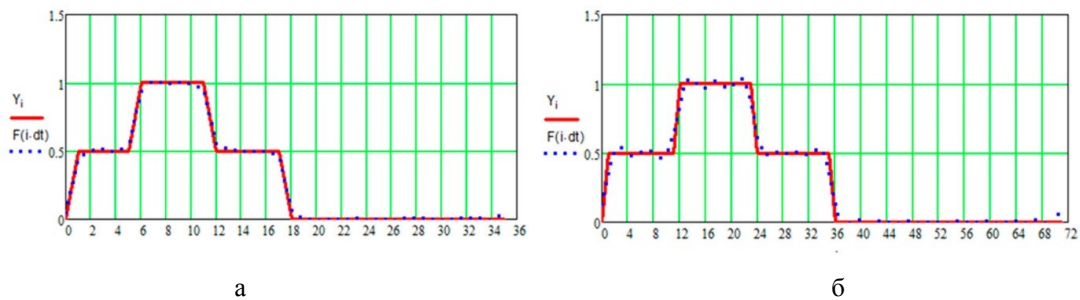
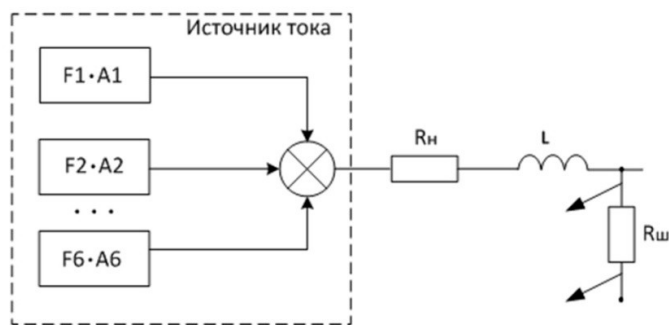


Рис.5. Спектральный синтез сигнала с учётом 0, 1, 2, 3, 4, 5 и 6 гармоник

*a* – положительная полуволна в 36 точек; *б* – положительная полуволна в 72 точки

Сопоставление приведённых графиков показывает, что увеличение количества точек не влияет на гармонический состав сигнала, что позволяет в дальнейшем рассматривать сигнал количеством в 36 точек.

Таким образом, полученный спектральный анализ и синтез дискретного сигнала позволяет составить аналитическую модель коммутатора для управления СДЭР (рис.6).



$F1, F2...F6$  - управляющие частоты;  $A1, A2...A6$  - амплитуды полуволн сигнала;

$Rн$  - сопротивление нагрузки;  $L$  - индуктивность обмотки двигателя;  $Rш$  - сопротивление шунта.

Рис. 6. Аналитическая модель коммутатора для управления СДЭР

Рассматриваемая модель позволит меня спектральный состав модифицировать сигналы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пенкина Т.Ю. Построение модели синхронного двигателя с электромагнитной редукцией индукторного типа // 12-я международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии» (Томск, 11-14 ноября 2014 г.): сборник трудов. Томск: Издательство ТПУ.- т.1, 2014. С.351–352.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. М.: Высшая школа, 1996. - 580 с.
3. Майер Р.В. Изучение метода гармонического анализа и синтеза с помощью пакета MathCad. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docviewer.yandex.ru/?url=http%3A%2F%2Fmaier-gv.glazov.net%2FGarmanaliz.pdf&name=Garm-analiz.pdf&lang=ru&c=5642aacace95>, (дата обращения 06.10.2015).

#### **МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С МАССИВНЫМ ФЕРРОМАГНИТНЫМ РОТОРОМ В РЕЖИМЕ МИНИМАЛЬНОГО СКОЛЬЖЕНИЯ**

Плеханов М.С.

Закрытое акционерное общество «Томский приборный завод»

Россия, г. Томск, ул. Высоцкого, 28, стр. 3, 634040

Научный руководитель: Голиков А.Н., зав. лабораторией кафедры ТПС ИНК ТПУ

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия г. Томск, пр. Ленина 30, 634050

E-mail: plehanovms@tpu.ru

#### **MODEL OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC ENGINE WITH MASSIVE FERROMAGNETIC ROTOR IN MINIMUM SLIP MODE**

Plekhanov M.S.

Close corporation "Tomsk Instrument Plant"

Russia, Tomsk, Vysotsky str., 28, bul. 3; 634040

Scientific Supervisor: Golikov A.N., head of the laboratory of Instrument making department

Tomsk Polytechnic University

Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: plehanovms@tpu.ru

*Рассматривается модель асинхронного электродвигателя с массивным ферромагнитным ротором. Принцип работы электродвигателя основан на взаимодействии магнитного поля вихревых токов, наведенных на поверхности ротора с вращающимся магнитным полем статора. Объект исследования – натурный макет электродвигателя с экспериментально установленными рабочими характеристиками. Цель исследования – оценка характеристик электродвигателя при допущении разгона ротора в режим минимального скольжения, характерного для асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором при неизменных параметрах питающего напряжения. Модель полностью соответствует исходным геометрическим, электрическим и конструктивным параметрам натурального макета. Моделирование произведено в программной среде COMSOL 5.0 методом конечных элементов в модуле расчета магнитных полей постоянных и переменных электрических токов. В результате исследования получена механическая характеристика исследуемого привода, установлены зависимости фазного и поверхностного токов от скорости вращения ротора, что может быть использовано при разработке алгоритмов управления электроприводами подобной конструкции.*

*The model of an asynchronous engine with a massive ferromagnetic rotor is examined. The principle of work this engine based on the interaction of the magnetic field of the surface currents induced on the surface of the rotor with the rotating magnetic field of the stator. The object of study – real model of the engine with the experimentally established features. The purpose of research - to evaluate the features of the engine assuming the*