

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ТОКОВ СТАТОРА БЕСКОЛЛЕКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

С.В. Леонов, к.т.н., доцент,  
Д.Е. Растрепин, студент гр. 8Е81.  
Томский политехнический университет  
E-mail: der@tpu.ru

## Введение

Бесколлекторные двигатели постоянного тока (БДПТ) являются альтернативой классическим двигателям постоянного тока, находя всё большее применение в связи с появлением надежных и одновременно недорогих модулей управления. Хотя БДПТ является более надёжным устройством с точки зрения его конструкции, тем не менее, ставится вопрос об анализе параметров электродвигателя в ходе работы и предупреждении аварийных режимов в связи с возможным изменением свойств постоянных магнитов или нарушением электрической изоляции обмоток. Последнее обстоятельство особенно актуально при использовании БДПТ в составе привода электротранспортных систем, а также в составе автономных робототехнических мобильных комплексов.

В соответствии с результатами ряда исследований [1, 2] процесс старения узлов электродвигателя можно идентифицировать по появлению в спектре гармоник тока статора новых составляющих, отражающих в том числе и степень деградации свойств материалов. С научной точки зрения вызывает интерес проведение таких же исследований для БДПТ.

## Экспериментальная часть

В состав экспериментальной установки входит следующее оборудование: микроконтроллер STM32F103, измерительный шунт  $R = 0.1$  Ом, бесколлекторный двигатель постоянного тока с следующими характеристиками:  $P_{\text{ном}} = 180$  Вт,  $U_{\text{ном}} = 270$  В,  $J = 21 \times 10^{-3}$  кг  $\times$  м<sup>2</sup> сопротивление на фазу статора  $R_c = 10$  Ом, индуктивность на фазу статора  $L_c = 62.28 \times 10^{-3}$  Гн, количество пар полюсов постоянных магнитов  $p = 2$ .

Методология получения спектрального состава фазных токов статора при различных режимах: моделирование аварийного режима работы путем изменения нагрузки или введением в цепь статора дополнительного сопротивления; оцифровка и формирование массива токовых сигналов с датчиков тока при помощи АЦП микроконтроллера STM32; передача сформированного массива через USB Virtual COM Port на персональный компьютер, где над каждой выборкой производится быстрое преобразование Фурье (БФП) в программном комплексе Matlab.

Ниже на рисунке 1 приведена структурная схема экспериментальной установки.

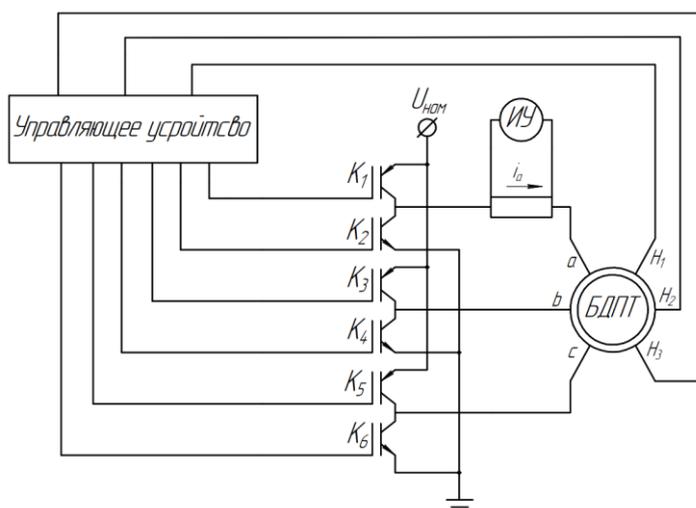


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки.

К – транзисторные ключи; а, b, с – фазы статора; Н – датчики Холла; ИУ – измерительное устройство, микроконтроллер STM32F103

## Результаты

На рисунке 2 приведены спектры тока одной из обмоток статора при изменении нагрузки на валу (холостой ход, нагрузка).

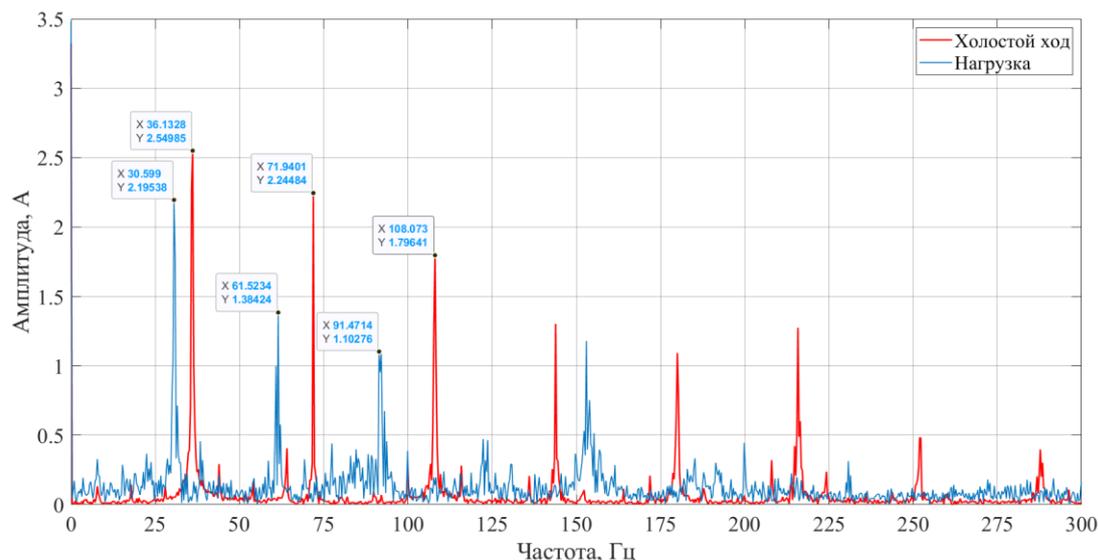


Рис 2. Гармонический состав тока обмотки статора при различной нагрузке

Данный спектр является качественной характеристикой момента нагрузки на валу ротора, определить который можно по смещению гармоник, относительно холостого хода. Так при прикладывании к валу момента сопротивления происходит смещение первой гармоники на 6 Гц, второй на 10 Гц и т.д.

Таким образом, анализируя степень смещения гармоник относительно номинального режима или режима холостого хода можно реализовать метод экспресс-диагностики энергетических свойств БДПТ с целью своевременного выявления неисправности и определения сроков последующего сервисного обслуживания.

## Заключение

Вышеописанное исследование токовых спектров позволяет обнаружить изменение свойств двигателя в ходе работы, позволяя оценить остаточный ресурс электродвигателя, сравнивая полученный спектр с эталонным для выбранного режима работы и типа двигателя. Один из возможных путей получения эталона является сбор статистических данных на основе моделирования двигателя.

Необходимо отметить, что быстроедействие современных микроконтроллеров и наличие аналого-цифровых преобразователей позволяет проводить БПФ в реальном времени, таким образом, данный метод анализа может лечь в основу системы диагностики остаточного ресурса БДПТ, диагностируя изменения в ходе всего цикла работы двигателя, не требуя отключения оборудования или установки дополнительных датчиков.

## Список использованных источников

1. Кодкин В. Л., Аникин А. С., Балденков А. А. Спектральный состав тока ротора асинхронного двигателя — показатель его эффективности // Омский научный вестник. 2019. № 5 (167). С. 39–45.
2. Беляев П. В., Головский А. П. Диагностика неисправностей асинхронных двигателей на ранних стадиях повреждения // Динамика систем, механизмов и машин. 2020. № 3. С. 36–23.
3. Петухов В.С., Соколов В.А. Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока // Новости ЭлектроТехники. 2005, № 1(31), С. 50-52.