

УДК 621.313.8

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО СОСТАВА ТОКОВ БЕСКОЛЛЕКТОРНОГО
ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ**

Д.Е. Растрепин

Научный руководитель: доцент, к.т.н. С.В. Леонов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

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

E-mail: der@tpu.ru

**RESEARCH OF THE HARMONIC COMPOSITION OF CURRENTS OF A BRUSHLESS DC
MOTOR WITH PERMANENT MAGNETS**

D.E. Rastrepin

Scientific Supervisor: Associate professor, Ph.D., S.V. Leonov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: der@tpu.ru

***Abstract.** The article provides an overview of the spectral composition of the BLDC stator currents obtained by simulating the motor in the MATLAB Simulink software package. The spectrum was obtained using the fast Fourier transform (FFT). The simulation results can become a source of statistical data for the creation of diagnostic systems for such engines and the subsequent basis for control modules that determine the remaining engine life during operation.*

Введение. Бесколлекторные двигатели постоянного тока (БДПТ) являются альтернативой классическим двигателям постоянного тока, находят всё большее применение в связи с появлением дешёвых модулей управления. Хотя БДПТ является более надёжным с точки зрения конструкции, тем не менее ставится вопрос об анализе параметров электродвигателя в ходе работы и предупреждении аварийных режимов в связи с изменением свойств постоянных магнитов или нарушения 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 [3], отражающих в том числе и степень деградации свойств материалов. С научной точки зрения вызывает интерес проведения таких же исследований для БДПТ. Так в данной работе проводится исследование на основе моделирования в программном пакете MATLAB Simulink.

Экспериментальная часть. В экспериментальной части работы исследуется модель построенная в MATLAB Simulink, структурная схема приведена на рис. 1. Полученный цифровой двойник описывает образец БДПТ со следующими характеристиками: $P_{ном} = 180$ Вт, $\Phi = 0,7$ Вб, сопротивление на фазу статора $R_C = 10$ Ом, индуктивность на фазу статора $L_C = 62,28 \cdot 10^{-3}$ Гн-количество пар полюсов постоянных магнитов $p = 2$. Ниже на рисунке 1 приведена структурная схема модели в Simulink.

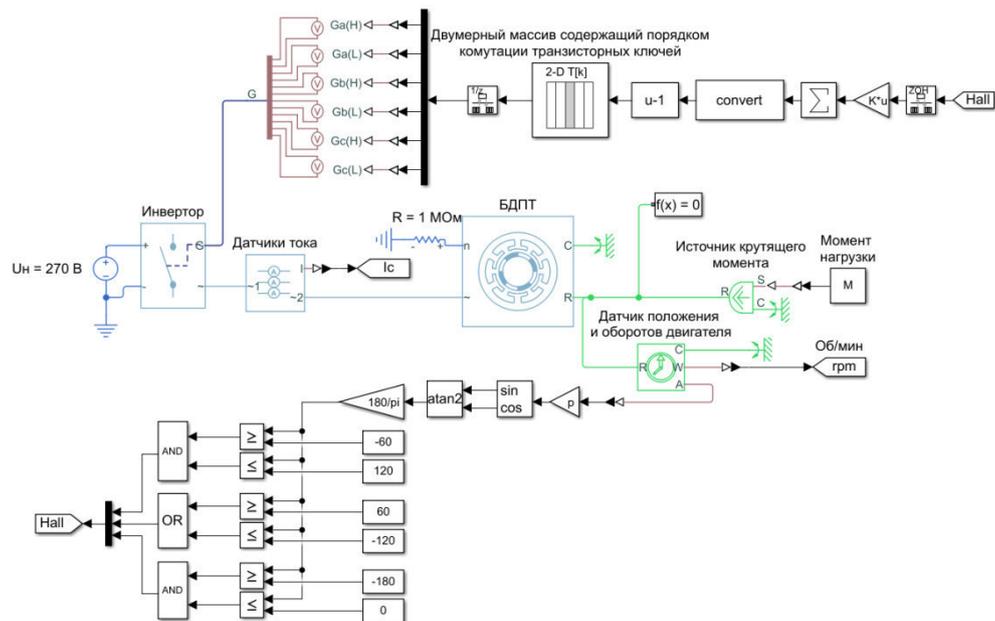


Рис. 1. Структурная схема модели в программном комплексе MATLAB Simulink

Методология получения спектрального состава фазных токов статора:

- исследование режимов работы при изменении величины основного магнитного потока с целью симуляции «старения» параметров высококоэрцитивных постоянных магнитов;
- формирование массивов фазных токов статора для анализа гармонического состава посредством быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Результаты моделирования. На рис 2. изображены спектры фазных токов статора БДПТ при изменении нагрузки на валу (холостой ход, номинальный режим и режим двукратной перегрузки).

Одним из наиболее существенных факторов, влияющих на режимы работы БДПТ, является величина основного магнитного потока, величина которого напрямую связана с магнитными свойствами используемых в конструкции ротора высококоэрцитивных постоянных магнитов (Ni-Fe-B).

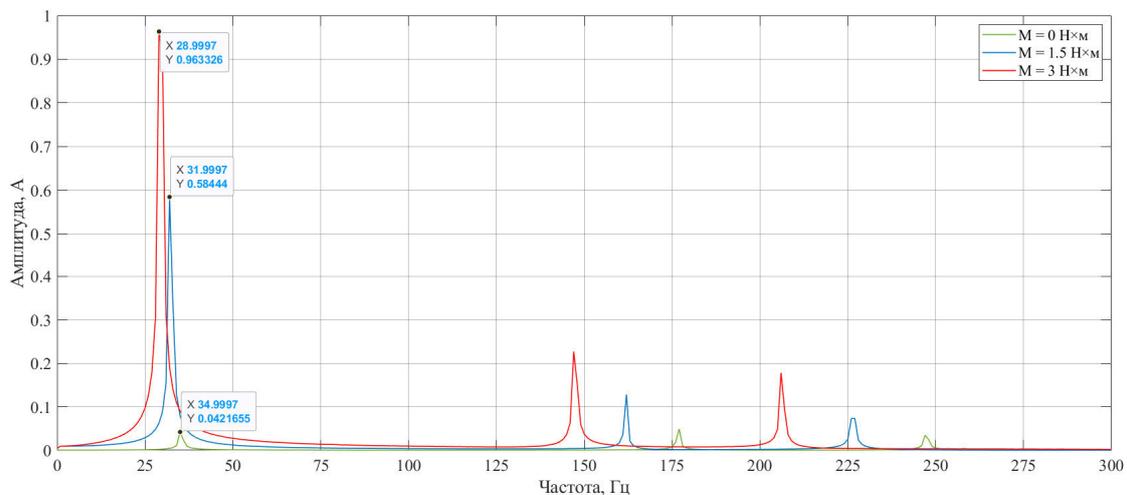


Рис. 2. Спектры фазных токов статора БДПТ при трёх характерных режимах работы:

M – момент нагрузки на валу

Влияние величины магнитного потока на гармонический состав токов отражено на рис. 3. Изменение магнитного потока на 10 % и 20 % относительно номинального $\Phi = 0,7$ Вб при номинальной нагрузке показывает смещение первой гармоники на 3 Гц и 7 Гц соответственно, пятой гармоники на 15 Гц и 33 Гц и т.д. Таким образом, анализируя степень смещения гармоник можно реализовать метод экспресс-диагностики энергетических свойств БДПТ с целью своевременного выявления неисправности и определения сроков последующего сервисного обслуживания.

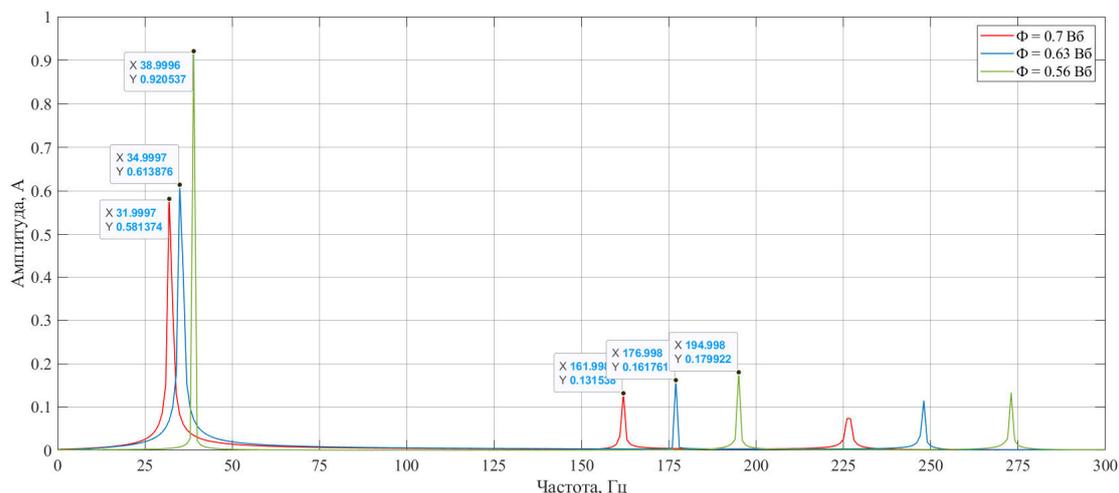


Рис. 3. Спектры фазных токов статора БДПТ при нескольких значениях величины магнитного потока:
 Φ – величина магнитного потока

Заключение. Вышеописанное исследование токовых спектров позволяет обнаружить деградацию свойств постоянных магнитов, позволяя оценить остаточный ресурс электродвигателя. Моделирование позволяет значительно ускорить получение статистических данных для последующего формирования алгоритмов автоматической диагностики БДПТ, которые после могут быть внедрены в модули управления электродвигателем.

Необходимо отметить, что быстроедействие современных микроконтроллеров и наличие аналого-цифровых преобразователей позволяет проводить БПФ в реальном времени, таким образом, тем самым позволяет диагностировать изменения в ходе всего цикла работы двигателя, не требуя отключения оборудования или установки дополнительных датчиков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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.