

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

<https://doi.org/10.70728/conf.edu.v3.i4.025>

Пирматов Нурали Бердярович

*Профессор кафедры электромашин и приводов
Ташкентского государственного технического университета*

E-mail: npirmatov@mail.ru,

ORCID: 0000-0001-5212-2593

Бекишев Аллаберген Ергашевич

доцент кафедры «Электрические машины и приводы»

Ташкентского государственного технического университета

E-mail: allabergenbekisev@gmail.com,

ORCID: 0000-0003-3019-2050

Мамуров Алмас Жумабой угли

Ташкентский государственный технический университет,

магистрант кафедры «Электрические машины и приводы»

E-mail: almasmamurov11@gmail.com

АННОТАЦИЯ В данной статье проанализированы современные методы диагностики, направленные на оценку технического состояния синхронных двигателей и раннее выявление неисправностей. Рассмотрены конструктивные и электромагнитные свойства синхронных двигателей, характерные для них основные виды электрических, магнитных и механических неисправностей. Методы диагностики систематически проанализированы с точки зрения классических электрических и вибрационных методов, а также современных подходов, основанных на магнитных параметрах. В частности, освещены возможности, преимущества и ограничения бесконтактных методов диагностики, основанных на измерении внешнего магнитного поля. В результате проведенного анализа обосновано, что методы диагностики на основе внешнего магнитного поля являются перспективным направлением в онлайн-мониторинге синхронных двигателей, выявлении дефектов на ранней стадии и обеспечении надежной эксплуатации.

Ключевые слова: Синхронный двигатель, методы диагностики, мониторинг технического состояния, электрические машины, магнитная диагностика, внешнее магнитное поле, вибродиагностика, спектральный анализ тока, обнаружение дефектов, бесконтактное измерение.

ВВЕДЕНИЕ

Синхронные двигатели (СД) широко применяются в энергетике, металлургии, нефтегазовой и химической промышленности благодаря высокому коэффициенту

полезного действия, возможности регулирования коэффициента мощности и высокой перегрузочной способности. Принцип работы синхронного двигателя основан на взаимодействии вращающегося магнитного поля статора с магнитным полем ротора, скорость вращения которого строго равна синхронной скорости.

Конструктивно синхронные двигатели подразделяются на машины с **явнополюсным** и **неявнополюсным (цилиндрическим)** ротором. Явнополюсные роторы применяются, как правило, в тихоходных машинах большой мощности, а неявнополюсные — в быстроходных двигателях. Возбуждение ротора может осуществляться от контактных колец или с использованием бесконтактных систем возбуждения.

С электромагнитной точки зрения синхронный двигатель характеризуется выраженной анизотропией магнитной цепи, наличием продольной (d) и поперечной (q) осей, насыщением магнитопровода и существенным влиянием распределения магнитного потока на рабочие характеристики. Эти особенности определяют сложную структуру магнитного поля, часть которого выходит за пределы машины и формирует **внешнее магнитное поле**, несущее диагностическую информацию.

Основные виды повреждений и неисправностей синхронных двигателей В процессе эксплуатации синхронные двигатели подвержены различным видам повреждений, которые можно классифицировать следующим образом:

- **Электрические неисправности статора:** межвитковые замыкания, пробой изоляции, асимметрия фазных сопротивлений;
- **Неисправности обмотки возбуждения ротора:** обрывы, замыкания, деградация контактных колец;
- **Магнитные дефекты:** локальное насыщение, изменение магнитной проницаемости сердечника, размагничивание;
- **Механические повреждения:** эксцентриситет ротора, износ подшипников, несоосность вала;
- **Тепловые и вибрационные воздействия,** приводящие к ускоренному старению изоляции.

На ранних стадиях развития большинство дефектов не оказывает заметного влияния на электрические параметры, измеряемые стандартными средствами, однако вызывает локальные искажения магнитного поля машины.

Классические методы диагностики электрических машин. Классические методы диагностики синхронных двигателей основаны на анализе электрических, тепловых и механических параметров, включая:

- контроль токов и напряжений;
- спектральный анализ токов статора (MCSA);
- измерение сопротивления и изоляции обмоток;

- температурный контроль;
- вибродиагностику.

Несмотря на широкое распространение, указанные методы имеют ряд ограничений. В частности, они часто требуют остановки оборудования, обладают ограниченной чувствительностью к начальным дефектам и не всегда позволяют локализовать неисправность. Кроме того, многие методы косвенно отражают состояние двигателя и подвержены влиянию нагрузки и режимов работы.

Методы диагностики на основе магнитных параметров. Методы магнитной диагностики базируются на анализе распределения магнитного потока и связанных с ним параметров. К ним относятся:

- измерение магнитного потока в зазоре;
- анализ магнитных гармоник;
- регистрация изменения индуктивностей;
- контроль магнитного сопротивления.

Особый интерес представляют методы, использующие **внешнее магнитное поле**, формируемое токами и магнитным потоком двигателя. Это поле содержит информацию о состоянии обмоток, симметрии магнитной цепи и наличии дефектов, при этом измерения могут выполняться бесконтактно с использованием датчиков Холла, индукционных катушек или магниторезистивных сенсоров.

Анализ преимуществ и ограничений диагностики по внешнему магнитному полю. Диагностика синхронных двигателей по внешнему магнитному полю обладает рядом существенных преимуществ:

- бесконтактность измерений;
- возможность онлайн-мониторинга;
- высокая чувствительность к ранним стадиям дефектов;
- применимость в условиях ограниченного доступа к машине.

В то же время данный подход имеет и ограничения, связанные с влиянием внешних электромагнитных помех, сложностью интерпретации сигналов, а также необходимостью разработки специализированных алгоритмов обработки и идентификации дефектов.

Таким образом, диагностика по внешнему магнитному полю требует комплексного подхода, сочетающего физическое моделирование, экспериментальные исследования и интеллектуальные методы анализа данных.

ВЫВОДЫ

В результате анализа установлено, что существующие методы диагностики синхронных двигателей не в полной мере обеспечивают раннее выявление дефектов и их локализацию в условиях реальной эксплуатации. Наиболее перспективным

направлением является использование внешнего магнитного поля как диагностического параметра.

В связи с этим в диссертационной работе ставятся следующие задачи:

- разработка математической модели внешнего магнитного поля синхронного двигателя с учётом дефектов;
- выявление диагностических признаков неисправностей на основе магнитных сигналов;
- разработка алгоритмов обработки и классификации;
- экспериментальная верификация предложенного метода;
- оценка точности и надёжности диагностики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Krause P.C., Wasynczuk O., Sudhoff S.D. *Analysis of Electric Machinery and Drive Systems*. IEEE Press, 2013.
2. Boldea I. *Synchronous Machines*. CRC Press, 2015.
3. Fitzgerald A.E., Kingsley C., Umans S.D. *Electric Machinery*. McGraw-Hill, 2014.
4. Tavner P., Penman J., Sedding H. *Condition Monitoring of Electrical Machines*. IET Press, 2008.
5. Vas P. *Parameter Estimation, Condition Monitoring, and Diagnosis of Electrical Machines*. Oxford University Press, 1993.
6. Nandi S., Toliyat H.A., Li X. Condition monitoring and fault diagnosis of electrical motors. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2005.
7. Benbouzid M.E.H. A review of induction motors signature analysis as a medium for faults detection. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2000.
8. Henaou H., Capolino G.A. External magnetic field monitoring for fault detection in electrical machines. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2005.
9. Faiz J., Ebrahimi B.M. Air-gap eccentricity fault diagnosis in synchronous machines. *IEEE Transactions on Magnetics*, 2006.
10. Pons-Llinares J., et al. Condition monitoring of electrical machines using external magnetic stray flux. *Sensors*, 2019.
11. Cardoso A.J.M., Saraiva E.S. Computer-aided detection of airgap eccentricity in electrical machines. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 1993.
12. Gieras J.F. *Electrical Machines: Diagnosis*. CRC Press, 2012.
13. Thomson W.T., Fenger M. Current signature analysis to detect induction motor faults. *IEEE Industry Applications Magazine*, 2001.
14. Li Y., Zhu Z.Q. Magnetic field based fault diagnosis of electrical machines. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2018.

International Conference on Education and Innovation

15. Cameron J.R., Thomson W.T. Vibration and current monitoring for electrical machine diagnosis. *IEE Proceedings*, 1986.

