

И.В. ХОМЕНКО, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ", Харьков
С.Н. ТИХОНРАВОВ, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ", Харьков

МЕТОДЫ КОСВЕННОГО КОНТРОЛЯ ЭКСЦЕНТРИЧНОСТИ ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

У результаті експериментальних і теоретичних досліджень впливу ексцентриситету повітряного зазору на рівні струмів від вищих гармонік магнітного поля розроблений ряд взаємодоповнюючих методів непрямого контролю статичного ексцентриситету.

В результате экспериментальных и теоретических исследований влияния эксцентриситета воздушного зазора на уровни токов от высших гармоник магнитного поля разработан ряд взаимодополняющих методов косвенного контроля статического эксцентриситета.

Введение. Эффективность любых методов контроля эксцентриситета воздушного зазора асинхронных электродвигателей (АД) определяется:

- чувствительностью диагностических параметров к изменению неравномерности воздушного зазора (НВЗ);
- подверженностью диагностических параметров влиянию дестабилизирующих факторов;
- корректностью тарировочных кривых при переходе от одного электродвигателя к другому в пределах типоразмера.

Цель работы – анализ методов косвенного контроля эксцентриситета воздушного зазора.

Проведенные исследования позволили разработать несколько взаимодополняющих методов косвенного контроля НВЗ [1].

Первый метод заключается в том, что о величине статического эксцентриситета судят по уровню основных симметричных составляющих токов зубцовой частоты. Метод предполагает:

- подключение электродвигателя к трехфазной сети;
- измерение и контроль показателей качества электроэнергии;
- работу АД на холостом ходу;
- выделение и измерение основной симметричной составляющей зубцовой частоты.

Основные симметричные составляющие токов зубцовой частоты выделяются соответствующими фильтрами симметричных состав-

ляющих и селективным фильтром.

Достоинства метода:

- высокая чувствительность диагностического параметра к изменению неравномерности воздушного зазора;
- высокая эффективность контроля НВЗ при изменении статического эксцентриситета от нуля до 40 %, что обусловлено незначительным влиянием сетевых симметричных составляющих (совпадающих с порядком зубцовых гармоник АД) на уровни симметричных составляющих зубцовой частоты;
- возможность контроля НВЗ в широком диапазоне мощностей при различной полюсности АД;
- отсутствие необходимости частичной разборки электродвигателя, подключения дополнительных датчиков, сочленения с нагрузочными устройствами и создания специальных режимов работы;
- простота и малое время контроля одного электродвигателя (не более 3 мин).

К недостаткам следует отнести:

- существенное влияние дестабилизирующих реакторов на диагностический параметр;
- необходимость теоретического или экспериментального получения тарфировочных кривых влияния статического эксцентриситета на уровни основных симметричных составляющих зубцовой частоты для каждого типоразмера АД;
- отсутствие аналитической зависимости, позволяющей учитывать влияние на диагностический параметр технологических факторов (овальность расточки статора, изгиб пакета статора, смещение листов при сборке пакета статора).

Второй метод косвенного контроля НВЗ состоит в том, что величину статического эксцентриситета определяют по уровню неосновных симметричных составляющих. Метод предполагает:

- подключение АД к трехфазной сети;
- измерение и контроль показателей качества электроэнергии;
- работу электродвигателя на холостом ходу;
- выделение и измерение неосновных симметричных составляющих зубцовой частоты.

Выделение неосновной симметричной составляющей токов зубцовой частоты производится при помощи соответствующих фильтров симметричных составляющих и селективного фильтра. Возможность подключения нулевого провода к общей точке "звезды" фазных обмоток статора позволяет повысить достоверность и упростить техническую реализацию предлагаемого метода косвенного контроля эксцен-

тричности воздушного зазора.

Достоинства рассматриваемого метода:

- высокая чувствительность диагностического параметра к изменению эксцентricности воздушного зазора;
- возможность контроля НВЗ в широком диапазоне мощностей при различной полюсности АД;
- отсутствие необходимости частичной разборки электродвигателя, подключения дополнительных датчиков, сочленения с нагрузочными устройствами и создания специальных режимов работы;
- простота и малое время контроля одного электродвигателя (не более 3 млн).

Недостатки рассматриваемого метода:

- влияние дестабилизирующих факторов на диагностический параметр;
- необходимость теоретического или экспериментального получения гарфировочных кривых влияния статического эксцентриситета на уровни неосновных симметричных составляющих зубцовой частоты для каждого типоразмера АД;
- отсутствие аналитической зависимости, позволяющей учитывать влияние на диагностический параметр технологических факторов (овальность расточки статора; изгиб пакета статора, смещение листов при сборке пакета статора).

Третий метод косвенного контроля статического эксцентриситета заключается в том, что диагностический параметр нормируется пропорционально общему энергетическому уровню зубцовых гармоник магнитного поля электрической машины[2] и представляется в виде суммы квадратов амплитуд фазных токов зубцовой частоты

$$I_{za}^2 + I_{zb}^2 + I_{zc}^2 = f(e)$$

Выделение фазных токов зубцовой частоты осуществляется при помощи датчиков тока, включенных в фазы сети питания, и селективного фильтра.

Метод предполагает:

- подключение АД к трехфазной сети;
- измерение и контроль показателей качества электроэнергии;
- работу электродвигателя на холостом ходу;
- выделение и измерение фазных токов зубцовой частоты;
- формирование диагностического параметра в виде суммы квадратов фазных токов зубцовой частоты.

Достоинства метода:

- высокая чувствительность диагностического параметра к изменению неравномерности воздушного зазора;

- высокая степень выявления АД с малыми значениями эксцентricности воздушного зазора;
- возможность контроля неравномерности воздушного зазора в широком диапазоне мощностей при различной полюсности АД;
- отсутствие необходимости частичной разборки электродвигателя, подключения дополнительных датчиков, сочленения с нагрузочными устройствами и создания специальных режимов работы;
- простота и малое время контроля одного электродвигателя (не более 5 мин).

Недостатки метода:

- существенное влияние дестабилизирующих факторов на диагностический параметр;
- необходимость теоретического или экспериментального получения тарфировочных зависимостей влияния статического эксцентриситета на информативный параметр;
- отсутствие аналитической зависимости, позволяющей учитывать влияние на диагностический параметр технологических факторов (овальность расточки статора, изгиб пакета статора, смещение листов при сборке пакета статора).

Четвертый метод косвенного контроля НВЗ основан на влиянии статического эксцентриситета на неосновные симметричные составляющие токов зубцовой частоты, что вызывает изменение сдвига Фаз между фазными токами зубцовой частоты с увеличением эксцентricности воздушного зазора. Диагностический параметр формируется в виде разности между максимальным и минимальным сдвигом Фаз фазных токов зубцовой частоты.

Метод предполагает:

- подключение АД к трехфазной сети питания;
- контроль симметрии напряжения питания;
- работу электродвигателя на холостом ходу;
- измерение сдвига фаз в трехфазной системе токов зубцовой частоты;
- формирование диагностического параметра в виде разности максимальной и минимальной величины сдвига фаз.

Выделение зубцовых гармоник тока осуществляется селективными фильтрами, измерение сдвига фаз между фазовыми токами - измерителями разности фаз.

Достоинства метода:

- высокая чувствительность диагностического параметра к изменению величины статического эксцентриситета;
- высокая эффективность контроля АД с малыми значениями

эксцентриситету воздушного зазора;

- независимость диагностического параметра от величины среднего зазора, от изменений величины напряжения и частоты трехфазной сети питания;
- возможность контроля НВЗ в широком диапазоне мощностей при различной полюсности АД;
- отсутствие необходимости частичной разборки электродвигателя, подключения дополнительных датчиков, сочленения с нагрузочными устройствами и создания специальных режимов работы;
- простота и малое время контроля одного электродвигателя (не более 5 мин).

Недостатки метода:

- влияние на диагностический параметр дестабилизирующих факторов определяемых не симметрией напряжения питания и различными видами асимметрии АД;
- необходимость теоретического или экспериментального получения тарифировочных зависимостей влияния статического эксцентриситета на диагностический параметр для каждого типоразмера АД.

В основу **последнего метода** косвенного контроля эксцентриситета воздушного зазора положено различное влияние величины статического эксцентриситета на основные и неосновные симметричные составляющие токов зубцовой частоты. Диагностический параметр формируется в виде отношения основной и неосновной симметричной составляющей тока зубцовой частоты. Метод предполагает:

- подключение АД в трехфазной сети питания;
- контроль симметрии напряжения питания;
- работу электродвигателя на холостом ходу;
- выделение и измерение основной и неосновной симметричной составляющей тока зубцовой частоты;
- формирование диагностического параметра в виде отношения основной и неосновной симметричной составляющей тока зубцовой частоты.

Выделение симметричных составляющих тока зубцовой частоты осуществляется фильтрами симметричных составляющих и селективным фильтром.

Достоинства метода:

- высокая чувствительность диагностического параметра и изменению величины статического эксцентриситета;
- влияние разброса величины среднего зазора на диагностический параметр не превосходит 20 % и уменьшается с уменьшением величины среднего зазора;

- независимость диагностического параметра от изменения величины напряжения в пределах от 300 до 400 В, от частоты трехфазной сети питания;
 - высокая эффективность контроля АД с малыми значениями эксцентricности воздушного зазора;
 - возможность контроля НВЗ в широком диапазоне мощностей при различной полюсности АД;
 - отсутствие необходимости частичной разборки электродвигателя, подключения дополнительных датчиков, сочленения с нагрузкой;
 - малое время контроля одного электродвигателя (не более 5 мин).
- Недостатки метода:

- влияние на диагностический параметр технологических факторов (овальность расточки статора, изгиб пакета статора, смещение листов при сборке пакета статора);
- необходимость теоретического или экспериментального получения тарифировочных зависимостей влияния статического эксцентриситета на диагностический параметр для каждого типоразмера АД.

Но сравнению с существующими аналогами предложенными методиками косвенного контроля НВЗ отличаются высокой эффективностью, универсальностью, технологичностью и простотой контроля. Кроме того, диагностические параметры последних двух методик не подвержены влиянию дестабилизирующих факторов (разброс величины среднего зазора, изменение величины напряжения питания, изменение направления плоскости эксцентриситета).

Вывод. Предлагаемые методы позволяют осуществлять косвенные контроль эксцентricности воздушного зазора в условиях производства и эксплуатации АД. Использование конкретного метода определяется практическими целями диагностики (например, выявить электродвигатели с величиной статического эксцентриситета выше 30 %), а также условиями эксплуатации АД (схемой соединения фазных обмоток статора, возможностью подключения к общей точке "звезды").

Список литературы: 1. *Скрыпин И.З., Тихонравов С.Н., Хоменко И.В.* Контроль неравномерности воздушного зазора асинхронных электродвигателей в производстве и эксплуатации // Электротехническое производство: Отраслевой информационный сборник, 1989. – № 7. 2. *Хоменко И.* Влияние неравномерности воздушного зазора на магнитное поле асинхронного двигателя // Вестник НТУ "ХПИ", 2001, – № 5. Энергетика и автоматизация энергоустановок. – С. 185-188.

Поступила в редколлегию 17.02.2009