

## ДИАГНОСТИКА И ВОПРОСЫ МОНИТОРИНГА ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

**Введение.** Асинхронные трехфазные двигатели широко применяются в различных механизмах в промышленности, транспорте, строительстве. Авария асинхронного двигателя приводит к остановке механизма, его простоям, нарушениям в технологическом процессе. Это приводит к повышенным экономическим затратам. На долю асинхронных двигателей приходится примерно 20...25 % аварий промышленных установок. Большинство аварий вызывается неправильным техническим обслуживанием асинхронных двигателей, или полным его отсутствием. В свою очередь, из всех возможных неисправностей асинхронного двигателя на долю подшипниковых узлов приходится до 30% отказов. Поэтому текущий контроль технического (мониторинг) состояния подшипниковых узлов асинхронных двигателей экономически оправдан и эффективен. Он позволяет своевременно выявить зарождающиеся неисправности и перевести их в категорию из внезапных в категорию постепенных отказов.

Известны методы виброконтроля подшипниковых узлов. Наряду с высокой эффективностью этого метода ему присущи отдельные недостатки. Например, невозможность непосредственного доступа к подшипниковому узлу для проведения виброизмерений, сильный вибрационный фон от работающих рядом механизмов. Предлагается метод контроля текущего технического состояния подшипниковых узлов асинхронного двигателя по спектральному составу потребляемого тока и напряжения. Измерения можно проводить как непосредственно на зажимах электродвигателя, так и в ближайшем электрошкафу.

**Постановка задач исследования.** Сущность метода заключается в определении характерных частот в спектре питающего тока (напряжения) асинхронного двигателя. В реальных машинах в воздушном зазоре, кроме основной гармоники, имеется большое число высших гармоник магнитного поля. Современное состояние измерительной и микропроцессорной техники позволяет произвести уверенное и точное измерение и анализ таких гармоник, имеющих малую амплитуду (до долей процента). Высшие гармоники принято делить на временные и пространственные. Временные гармоники определяются спектральным составом напряжения и нелинейным изменением вращающего момента на валу машины или частоты его вращения. Пространственные гармоники поля в воздушном зазоре появляются из-за нелинейности параметров машины и её конструктивных особенностей.

Механические дефекты на беговых дорожках колец подшипника, тел вращения, сепараторов вызывают притормаживание ротора, микроизменения его угловой частоты вращения и углового ускорения. Это приводит к изменению характера электромагнитного взаимодействия ротора и статора, к колебаниям вращающего электромагнитного момента. В спектре потребляемого тока появляются гармоники (характерные частоты), частота и амплитуда которых зависят в том числе и от текущего технического состояния подшипниковых узлов. Частота и амплитуда этих гармоник являются *диагностическими параметрами*.

Работающий подшипник качения генерирует механические колебания, кратные основной частоте вращения трехфазного электродвигателя. Эти частоты получили название *характерных частот*.

$$f = k_1 * f_n, \quad (1)$$

где:  $f$  – характерные частоты;  $k_1 = 1...5$  – коэффициенты;  $f_n$  – характерные частоты при наличии дефектов элементов подшипника.

Для подшипника качения можно рассчитать 4 характерные частоты, амплитуда которых для исправного и неисправного подшипниковых узлов сильно отличаются.

1. Частота перекачивания тел качения по наружному кольцу (частота №1 на рис. 1)

$$f_{нн} = (D_v / (D_v + D_n)) * N * f_r; \quad (2)$$

2. частота перекачивания тел качения по внутреннему кольцу (частота №2 на рис. 1))

$$f_{нв} = (D_n / (D_v + D_n)) * N * f_r \quad (3)$$

3. частота вращения тел качения (частота №3 на рис. 1)

$$f_{нм} = (D_{и} / D_{п}) * (D_n / (D_v + D_n)) * f_r \quad (4)$$

4. частота вращения сепаратора (частота №4 на рис. 1)

$$f_{nc} = (D_b / (D_b + D_n)) * f_r, \quad (5)$$

где:  $f_n$  – характерные частоты при наличии дефектов элементов подшипника;

$D_b$  – диаметр внутреннего кольца;

$D_n$  – диаметр наружного кольца;

$N$  – количество тел качения;

$D_{ш}$  – диаметр тел качения.

Потребляемый асинхронным двигателем ток контролируется тремя датчиками тока. Сигналы с них поступают на фильтр нижних частот. Он задерживает электрические сигналы с частотой ниже 400 Гц. Отфильтрованные сигналы после фильтра поступают на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) с коммутатором на входе. С его выхода оцифрованный сигнал поступает в компьютер. Программное обеспечение компьютера включает в себя программу спектрального анализа. Поступающая в компьютер информация анализируется, определяется частотный спектр сигналов. Полученная информация сохраняется и в дальнейшем сравнивается с последующими измерениями. Спектр потребляемого тока носит сложный характер, имеет много частот. Но наиболее интересно изменение амплитуды *характерных* частот, появление новых частот позволяет судить о техническом состоянии подшипникового узла.

**Материалы исследования.** В качестве примера рассмотрим подшипник средней серии 60305 с параметрами:

$D=72$  мм;  $d=30$  мм;  $B=19$ ;  $N=8$ ;  $D_b=38,7$  мм;  $D_n=63,3$  мм;  $f_r=1420$   $\text{min}^{-1}$ .

Характерные частоты будут равны:

$f_{nm} = 4311$  Hz;  $f_{nb} = 7049$  Hz;  $f_{nm} = 2772$  Hz;  $f_{nc} = 539$  Hz.

На рис. 1. показан спектр тока для исправного подшипникового узла (а) и неисправного (в).

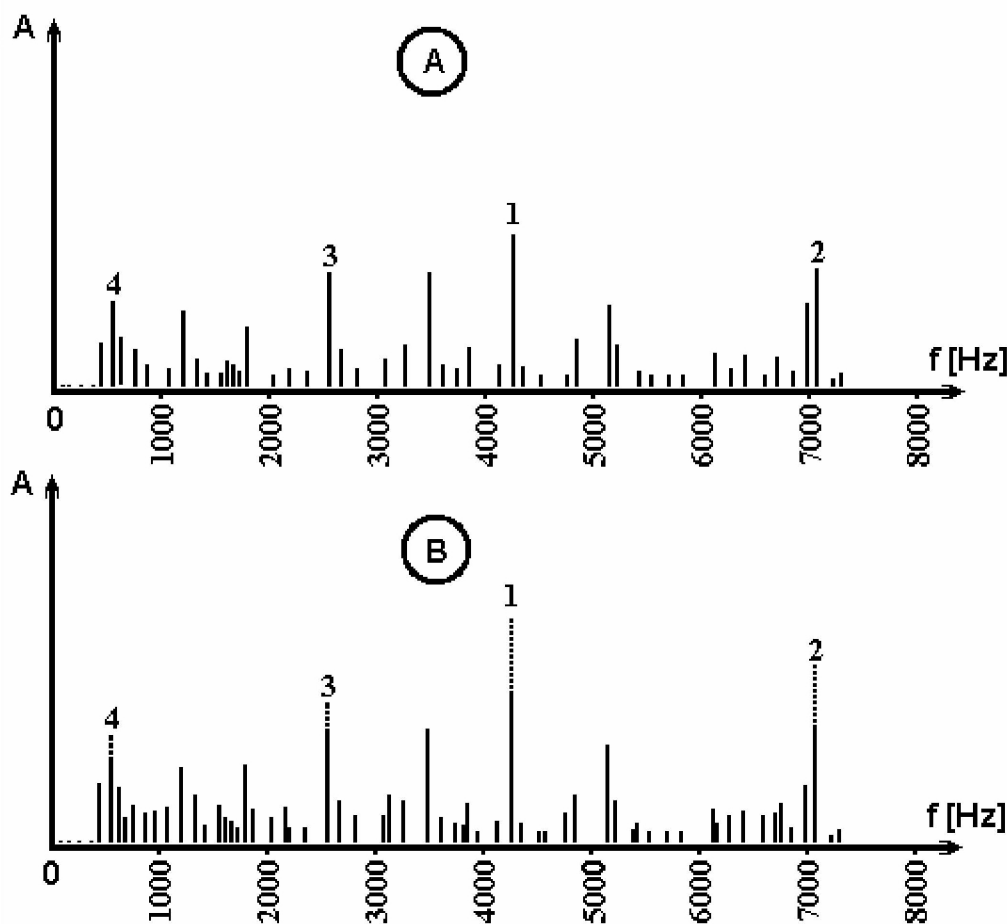


Рис. 1. Спектр тока асинхронного двигателя с характерными частотами.

Амплитуда гармоник дана в относительных единицах. За единицу принята амплитуда гармоники 4311 Гц на частоте вращения тел качения по наружному кольцу подшипника исправного электродвигателя (частота №1). Амплитуда всех характерных частот увеличилась у неисправного электродвигателя примерно на 20..30%, что говорит в первую очередь об ухудшении режима смазки подшипника. Наиболее заметен рост амплитуды частоты №1, что говорит о возникновении единичного дефекта на беговой дорожке внешнего кольца подшипника. При возникновении 2 дефектов возможно появление гармоники с удвоенной частотой  $4311 \times 2 = 8622$  Гц. Если нагрузкой асинхронного двигателя является, например, поршневой компрессор, то основная рабочая частота компрессора (при угловой частоте вращения  $1420 \text{ мин}^{-1}$ ) лежит в диапазоне 23...24 Гц. Сигналы с этой частотой задерживаются фильтром нижних частот.

**Выводы.** Анализ спектрально-энергетических параметров потребляемого тока позволяет получить дополнительную информацию о состоянии подшипниковых узлов. Актуальной задачей является выделение диагностической информации по отдельности для переднего и заднего подшипниковых узлов асинхронного двигателя. Углубление данного метода позволяет оценить техническое состояние и проводить мониторинг не только самого асинхронного двигателя, но и приводимого агрегата- редуктора, насоса и т.п.

### Литература.

1. Terebkovs A., Gasparjans A., Peipiņš V. Technical diagnostics of ship asynchronous electric drives. Kuģu asinhronās elektropiedziņas tehniskā diagnostika. // 9. starptautiskā zinātniski praktiskā konference "Ūdens transports un infrastruktūra 2007". Konferenču materiāli. ISSN 1691-3817. Latvijas Jūras akadēmija.-Rīgā: 2007. gada 19.un 20. aprīlī. – 160.- 165. lpp.
2. H. Henaou, G.A. Capolino, C. Martis. On the Stray Flux Analysis for the detection of the Three Phase Induction Machine Faults.IEEE Industry Applications Society Conference. 2003.
3. Гаспарян А.С., Грейвулис Я.П., Теребков А.Ф. Спектрально -энергетический состав напряжения судовых дизель-генераторов как диагностический параметр систем технической диагностики. // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика: Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». Серия "Электротехника, электроника и электропривод". - Выпуск 45 ,Харьков: ХГПУ, 2005. - том 1. С. 356 - 359.
4. J. Greivulis, A. Gasparjan, A. Terebkov. Complex of Vehicle Power Equipments. International Conference on Unconventional Electromechanical and Electrical Systems. Poland. 2001.
5. Collacott R.A. Mechanical Fault Diagnosis. Chapman and Hall. London, 1977.
6. Петухов В.С. Диагностика состояния электродвигателей на основе спектрального анализа потребляемого тока.// <http://mcsa.electrik.org>.
7. J.Greivulis, A.Gasparian, A.Terebkov. Complex diagnostic system of ship electrical machines // IEEE - Elecship 98 Proceedings. International Conference on Electric Ship, 1 September, 1998. Istanbul, TURKEY // Istanbul: Middle East Technical University Turkey, 1998. P. 56...58.
8. Гаспарян А.С., Грейвулис Я.П., Теребков А.Ф. Диагностика подшипниковых узлов судовых электрических машин. // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика: Вестник Харьковского государственного политехнического университета. Серия "Электротехника, электроника и электропривод". - Харьков : ХГПУ, 2003. - Выпуск 10, том 1. С. 250 - 252.