

УДК 621.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО ЗНАЧЕНИЯМ ПАРАМЕТРОВ ВЫСШИХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ ДВИГАТЕЛЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Баширов М.Г., Прахов И.В., Самородов А.В.

*Филиал ГОУ ВПО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет»,*

Салават, Россия, Республика Башкортостан, e-mail: priwan@yandex.ru

В работе представлен теоретический анализ взаимосвязи параметров высших гармонических составляющих токов и напряжений, генерируемых двигателями электропривода, с режимами работы и характером повреждений насосно-компрессорного оборудования нефтегазовой отрасли.

Ключевые слова: временные гармоники, пространственные гармоники, магнитное поле, электрические машины, насосно-компрессорное оборудование

На предприятиях нефтегазовой отрасли доля насосно-компрессорного оборудования составляет порядка 35 % всего производственного оборудования, и, соответственно, уровень надежности и безопасности технологических процессов во многом определяется техническим состоянием насосно-компрессорного оборудования.

Ввиду высокой опасности обращающихся в технологических циклах предприятий нефтегазовой отрасли веществ отказ насосно-компрессорного оборудования может привести к созданию аварийных ситуаций, сопровождающихся существенным экономическим и экологическим ущербом.

подавляющая часть насосно-компрессорного оборудования предприятий нефтегазовой отрасли имеет электрический привод. Отличительной особенностью насосно-компрессорного оборудования с электрическим приводом является то, что безотказность этого оборудования определяется безотказностью совокупности элементов механической части и электрического привода. Система электропривода со-

держит два канала – силовой и информационный. По первому каналу транспортируется преобразуемая энергия, по второму осуществляется управление потоком энергии, а также сбор и обработка сведений о состоянии и функционировании системы, диагностика ее неисправностей [1, 4].

В реальных электрических машинах в воздушном зазоре наряду с основной гармоникой присутствует бесконечное число гармоник магнитного потока. Эти гармоники имеют частоты выше и ниже основной, но принято называть их высшими гармониками. Высшие гармоники делятся на временные и пространственные. Временные – гармоники, которые попали в воздушный зазор машины со стороны выводов машины. Пространственные – гармоники, появившиеся из-за конструктивных особенностей и нелинейности параметров машинного агрегата [2, 3].

Если рассматривать электрическую машину как шестиполусник, то можно считать, что временные гармоники попадают в воздушный зазор со стороны электри-

ческой сети, со стороны вала – механического вывода, а также со стороны теплового вывода.

В установленном режиме основной источник высших временных гармоник – несинусоидальное напряжение на выводах электрической машины. Если к двухфазному идеализированному двигателю подведено несинусоидальное симметричное напряжение, то индукция в воздушном зазоре повторит форму приложенного напряжения. В воздушном зазоре вращающееся поле будет содержать наряду с первой гармоникой еще и высшие гармоники. Таким образом, зная форму подведенного к выводу машины напряжения, можно определить гармонический состав магнитного потока в воздушном зазоре.

Второй источник временных гармоник в воздушном зазоре – вал – механический выход машины. При нелинейном изменении момента нагрузки или частоты вращения в воздушном зазоре появляются высшие гармоники. Если мощность двигателя соизмерима с мощностью сети, к которой он подключен, то высшие гармоники от ударных моментов могут из зазора «выйти» на электрический вывод и исказить напряжение сети. Со стороны механического вывода высшие гармоники в воздушном зазоре могут появиться при нелинейном изменении момента нагрузки и частоты вращения.

Высшие временные гармоники могут «прийти» в воздушный зазор и с теплового вывода. При нелинейном изменении температуры среды, окружающей электрическую машину, в воздушном зазоре появляются высшие гармоники, и магнитное поле искажается. Наибольшие амплитуды высших гармоник имеют место при тепловых ударах.

Пространственные гармоники оказывают значительное влияние на процессы преобразования энергии в электрической машине. Пространственные гармоники в воздушном зазоре машины появля-

ются из-за особенностей конструкции машинного агрегата. Значительное влияние на состав пространственных гармоник оказывают неисправности подшипников, повреждения рабочего колеса, эксцентриситет расточки статора и ротора, конусность и эллипсность ротора, несоосность статора и ротора, дефекты обмоток статора и ротора, дисбаланс ротора и вала насосно-компрессорного оборудования с электрическим приводом и др.

Рассмотрим физические процессы, обусловленные возникновением неисправностей насосно-компрессорного оборудования с электрическим приводом [5, 6].

Известно, что в симметричной трехфазной обмотке статора электрической машины генерируются гармоники порядка

$$\nu = 6k \pm 1, \quad (1)$$

где $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

Магнитодвижущая сила (МДС) каждой отдельной фазы обмотки статора представляет собой сумму неподвижных в пространстве и пульсирующих во времени всех гармонических составляющих. Результирующая МДС машины для каждой гармонической составляющей в отдельности является суммой соответствующих всех трех фаз.

При возникновении электрических неисправностей (ухудшение состояния изоляции, изменения сопротивления проводов обмоток, витковые замыкания, межфазные замыкания и однофазные замыкания) нарушаются электрическая и магнитная симметрии обмоток статора и ротора, и, как следствие этого, определенным образом нарушается симметрия МДС третьей гармоники в фазных обмотках. В этих случаях МДС третьих гармоник в трех фазах статора представляют уже несимметричную систему, и их сумма не равняется нулю. В результате этого в пространстве воздушного зазора машины появляется результирующая МДС с частотой $3f_1$ (f_1 – частота сети), ин-

дуктирующая в обмотке статора ЭДС с частотой $3f_1$, а в обмотке ротора – с частотой $3f_1s$

$$E_{v=3(\text{ст})} = 4,44w_1K_{\text{об } v=3}3f_1\Phi_{v=3}; \quad (2)$$

$$E_{v=3(\text{рот})} = 4,44w_2K_{\text{об } v=3}3f_1s\Phi_{v=3}, \quad (3)$$

где $E_{v=3(\text{ст})}$ – ЭДС третьей гармоники обмотки статора, В; $E_{v=3(\text{рот})}$ – ЭДС третьей гармоники обмотки ротора, В; w_1 – число витков обмотки статора; w_2 – число витков обмотки ротора; $K_{\text{об } v=3}$ – обмоточный коэффициент; s – скольжение; f_1 – частота сети, Гц; $\Phi_{v=3}$ – магнитный поток третьей гармоники, Вб.

Возникновение межвитковых и межфазных замыканий в фазных обмотках приводит к определенному увеличению значений третьей гармоники в неповрежденных фазах, так как увеличение тока в короткозамкнутом контуре усиливает несимметрию токов в фазах. Это приводит к росту результирующего потока от токов третьей гармоники и к увеличению ЭДС третьей гармоники обмотки статора и ротора.

Несимметричная система токов обмотки ротора с частотой $f_2 = f_1s$ (при дисбалансе, при повреждениях подшипников и т.д.) может быть разложена на составляющие прямой и обратной последовательностей. При этом ток прямой последовательности создает поле, которое вращается в сторону вращения ротора синхронно с полем статора. Магнитное поле токов обратной последовательности вращается в сторону, обратную вращению ротора с частотой вращения $n_2 = -n_1s$ относительно ротора. Частота вращения обратного поля относительно статора складывается из частот вращения ротора относительно статора n и данного поля относительно ротора n_2

$$n_3 = n + n_2 = n_1(1 - s) - n_1s = n_1(1 - 2s). \quad (4)$$

Такое представление может быть распространено и на высшие гармоники в фаз-

ных величинах. Так как магнитный поток v -го порядка гармоник МДС статора вращается с частотой

$$n_v = \frac{n_1}{v}, \quad (5)$$

то частота тока, индуцированного в роторе этим потоком,

$$f_{2v} = f_1[1 \pm (1 - s)]. \quad (6)$$

Магнитный поток v -го порядка гармоник МДС ротора вращается относительно ротора с частотой

$$n_{2v} = \pm \frac{n_1}{v} - n. \quad (7)$$

Частота вращения магнитного потока гармоник ротора в пространстве

$$n_{2v} + n = \pm \frac{n_1}{v}. \quad (8)$$

Обратное поле ротора индуцирует в обмотке статора ЭДС с частотой $(1 - 2s)f_1$, вызывающие в ней токи такой же частоты.

По отношению к обратновращающемуся полю машина может рассматриваться как обращенный асинхронный двигатель, питаемый со стороны ротора. Таким образом, в статорной обмотке протекают токи, вызванные напряжением сети, и токи, вызванные напряжением, индуцированным обратным полем ротора. Так как частоты этих токов отличаются друг от друга незначительно, в результате сложения их магнитных полей возникает пульсация (биение) малой частоты фазного тока и его гармонических составляющих. При механических повреждениях (дисбаланс, повреждения подшипников) пульсация (биение) малой частоты фазного тока и его гармонических составляющих увеличивается.

Таким образом, состояние механической части насосно-компрессорного оборудования с электрическим приводом может быть оценено по параметрам гармонических составляющих токов и напряжений прямой и обратной последовательностей, а состояние электрической части – по параметрам

гармонических составляющих токов и напряжений нулевой последовательности.

Вывод

Анализ характера изменения параметров гармонических составляющих токов и напряжений, генерируемых двигателем электропривода, позволяет выявить и идентифицировать повреждения элементов электрической и механической части насосно-компрессорного оборудования.

Список литературы

1. Баширов М.Г., Шикунов В.Н. Диагностика электрических сетей и электрооборудования промышленных предприятий: учеб. пособие для вузов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2004. – 220 с.
2. Баширов М.Г., Сайфутдинов Д.М. Обеспечение безопасности эксплуатации насосно-компрессорного оборудования с электрическим приводом электромагнитными методами диагностики [Электронный ресурс] // Нефтегазовое дело: сетевой журн. URL: http://www.ogbus.ru/authors/bashirov/bash_1.pdf (дата обращения 10.06.2010).
3. Баширов М.Г., Сайфутдинов Д.М., Филимошкин В.А., Баширова Э.М. Диагностика насосного оборудования по параметрам элек-

тромагнитной цепи электропривода [Электронный ресурс] // Современные наукоемкие технологии: сетевой журн. URL: <http://www.rae.ru/snt> (дата обращения 25.05.2010).

4. Богданов Е.А. Основы технической диагностики нефтегазового оборудования: учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 2006. – 279 с.

5. Копылов И.П. Электрические машины. – М.: Высшая школа, 2002. – 607 с.

6. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. – М.: Высшая школа, 1994. – 456 с.

Рецензенты:

Вильданов Рауф Гибадуллович, д.т.н., профессор кафедры «Электрооборудование и автоматика промышленных предприятий» филиала государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Салавате;

Жирнов Борис Семенович, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Химико-технические процессы» филиала государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» в г. Салавате.

DEFINITION OF THE TECHNICAL STATE OF THE NASOSNO-COMPRESSOR EQUIPMENT ON VALUES OF PARAMETERS OF THE HIGHER HARMONIOUS COMPONENTS CURRENTS AND THE VOLTAGES GENERATED BY THE DRIVE OF THE ELECTRIC DRIVE

Bashirov M.G., Prachov I.V., Samorodov A.V.

*Branch of Ufa state oil technical university in Salavat,
Salavat, Russia, Republic Bashkortostan, e-mail: priwan@yandex.ru*

In work the theoretical analysis of interrelation of parameters of the higher harmonious components currents and the voltages generated by drives of the electric drive, with operating modes and character of damages of the nasosno-compressor equipment of oil and gas branch is presented.

Keywords: temporary harmonics, space harmonics, magnetic field, electrical cars, the nasosno-compressor equipment