

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Седунин А.М., Афанасьев Д.О., Сидельников Л.Г.

Пермский государственный технический университет,
ООО «ТестСервис», г. Пермь

В данной статье рассмотрены методы диагностики технического состояния асинхронных двигателей; проведен сравнительный анализ методов.

В настоящее время известны следующие методы диагностики асинхронных двигателей:

1. Методы, основанные на анализе вибраций отдельных элементов агрегата.
2. Методы, основанные на анализе акустических колебаний, создаваемых работающей машиной.
3. Методы, основанные на измерении и анализе магнитного потока в зазоре двигателя.
4. Методы, основанные на анализе вторичных электромагнитных полей машины.
5. Методы, основанные на измерении и анализе температуры отдельных элементов машины.
6. Методы диагностики механических узлов (в частности подшипников) основанные на анализе содержания железа в масле.
7. Методы диагностики состояния изоляции.
8. Методы, основанные на анализе электрических параметров машины.

Методы вибродиагностики получили наиболее широкое распространение. Суть методов заключается в анализе вибрационных параметров в различных точках электродвигателя. К вибрационным параметрам относятся виброперемещение, виброускорение и виброскорость. Регистрации подлежат как действующие (среднеквадратичные) значения, так и пик-фактор. Большое распространение получили также методы спектрального анализа, в которых в качестве диагностических параметров используют значения амплитуды отдельных гармонических составляющих вибрационного сигнала. Предельные уровни допустимых вибраций приведены в ГОСТе. Контроль вибрационных параметров производят в нескольких точках. Регистрации подлежат вибрационные параметры в вертикальном, горизонтальном и осевом направлениях. В качестве первичных преобразователей используются как контактные датчики (обычно пьезоакселерометры), так и бесконтактные (оптические датчики перемещения). К недостаткам методов вибродиагностики относятся:

1. Необходимость непосредственного доступа к диагностируемому агрегату, что

не всегда возможно.

2. Методы вибродиагностики приспособлены к диагностики механических повреждений как двигателя, так и связанного с ним механизма. Электрические повреждения не всегда могут быть своевременно выявлены по изменению вибрационных параметров. Это приводит либо к не обнаружению повреждения, либо к ложному срабатыванию, в зависимости от пороговых значений принятых в диагностической модели.

Методы акустической эмиссии также не достаточно чувствительны именно к электрическим повреждениям низковольтных двигателей.

Методы, основанные на измерении и анализе магнитного потока в зазоре двигателя и на анализе вторичных электромагнитных полей распространены для высоковольтных машин (от 6 кВ и выше). Установка датчиков магнитного поля требует непосредственного доступа к объекту диагностирования. Установка датчиков магнитного поля (элементов Холла или магниторезисторов) возможна только при изготовлении машины. Датчики вторичных электромагнитных полей машины весьма чувствительны к действию внешних электромагнитных излучений.

Методы тепловизионного контроля позволяют достаточно точно определять состояние подшипниковых узлов электрических машин. Однако, для контроля внутренних повреждений изоляции машины они не пригодны. В качестве датчиков температуры могут быть использованы бесконтактные инфракрасные пирометры. Это позволяет их использовать при отсутствии непосредственного доступа к диагностируемой машине. Однако закрытое исполнение приводов не позволяет использовать бесконтактные датчики.

Методы, основанные на анализе содержания железа в масле, широко применяются для диагностики механических узлов приводов. Однако эти методы определяют состояние механизма по косвенным признакам, что не позволяет своевременно выявить развивающиеся повреждения.

Методы диагностики состояния изоляции широко используется при диагностике электрооборудования. Как правило, их использование возможно только при отключенном питающем напряжении. Таким образом, исключается диагностика работающих машин в реальном времени в нормальном режиме их работы. Такой метод диагностики состояния изоляции при работающем оборудовании, как метод, основанный на регистрации частичных разрядов, в настоящее время разработан лишь для высоковольтного оборудования.

Наиболее предпочтительными методами являются методы, основанные на анализе электрических параметров работающего оборудования, а именно токов, напряжений и

потребляемых мощностей. Использование данных методов возможно без непосредственного доступа к диагностируемой машине. В качестве датчиков тока и напряжения в настоящее время используются датчики на основе эффекта Холла, которые работают в широком диапазоне частот с постоянной чувствительностью. Это позволяет регистрировать колебания с частотами от нуля до нескольких десятков килогерц. В качестве диагностических параметров используются: гармонические составляющие спектра тока статора, гармонические составляющие спектра потребляемой мощности, спектральные составляющие амплитуды и фазы вектора Парка.

Недостатком данных методов является необходимость учета влияния на электрические параметры привода параметров питающей сети, характера нагрузки, влияния внешних электромагнитных полей, переходных процессов в приводе. При использовании регулируемого электропривода на основе силовых полупроводниковых преобразователей в спектрах токов возникают частоты, обусловленные коммутацией вентиляей. Это также необходимо учитывать [1].

Контроль изоляции асинхронных двигателей. Для изоляции асинхронных двигателей основная причина повреждений – термомеханические воздействия. Под их влиянием, а также от вибраций в условиях повышенных температур, происходят механические повреждения изоляции в виде расслоения или образования трещин. Это вызывает внутри диэлектрика в газовых включениях появление частичных разрядов. Частичные разряды обуславливают в конечном итоге пробой изоляции. При достижении предельного состояния возможен переход к тепловой форме формирования пробоя. Таким образом, частичные разряды являются индикаторами числа и степени развитости дефекта. В зависимости от места дефекта может происходить зауглероживание изоляции. Это приводит к росту тока утечки. Ток утечки, в отличие от частичных разрядов, может быть измерен на постоянном токе по величине сопротивления изоляции.

Диагностика состояния изоляции асинхронных двигателей является отработанной. Диагностическими характеристиками служат:

- сопротивление изоляции обмотки;
- коэффициент абсорбции ($I_{15}/I_{60\text{сек}}$) и индекс поляризации ($I_{1\text{мин}}/I_{10\text{мин}}$);
- зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от частоты при измерении на низком напряжении и зависимость диэлектрических потерь от приложенного напряжения при подъеме последнего до $1,1 U$;
- характеристики частичных разрядов, главным образом, динамика частичных разрядов при анализе всего потока импульсов на рабочем напряжении за длительный период времени (6...10 месяцев) [2].

Контроль магнитного потока. Установлено, что посредством анализа спектра магнитного потока можно идентифицировать асимметрию ротора, перекос валов, повреждения подшипников и междувитковые короткие замыкания. Обрыв стержней сопровождается появлением у основной гармоники боковых составляющих с двойной частотой скольжения - $2ns\Phi_c$. При перекосе валов наблюдаются незначительные изменения на всех компонентах спектра магнитного потока. При повреждении подшипников появляются несколько компонентов на интервале частот между 0,6 и 0,9 кГц при частоте сети 50 Гц [3].

Контроль токов статора асинхронных двигателей. В последнее время широко развиваются методы диагностики состояния асинхронных двигателей, основанные на выполнении мониторинга потребляемого тока с последующим выполнением специального спектрального анализа полученного сигнала. Это позволяет с высокой степенью достоверности определять состояние различных элементов двигателя.

Физический принцип, положенный в основу этого метода, заключается в следующем. Любые возмущения в работе электрической и/или механической части электродвигателя и связанного с ним устройства приводят к изменениям магнитного потока в зазоре электрической машины и, следовательно, к слабой модуляции потребляемого электродвигателем тока. Наличие в спектре тока двигателя характерных частот определенной величины свидетельствует о наличии повреждений электрической и/или механической части электродвигателя и связанного с ним механического устройства. В качестве примера на рис. 1 и 2 приведены результаты спектрального анализа токов двух однотипных вентиляторных установок, которые находятся в эксплуатации одну неделю, и пять лет соответственно.

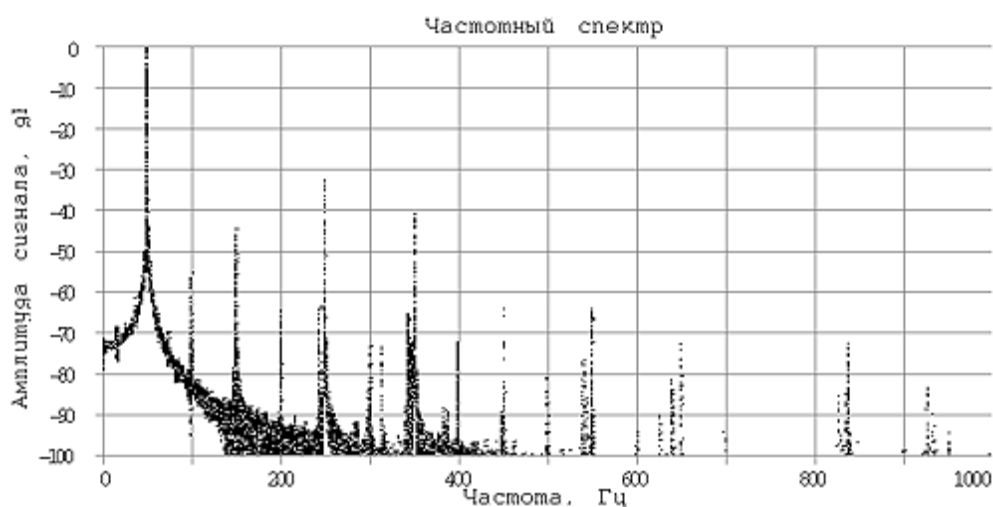


Рис. 1. Спектральный состав тока нового электродвигателя.

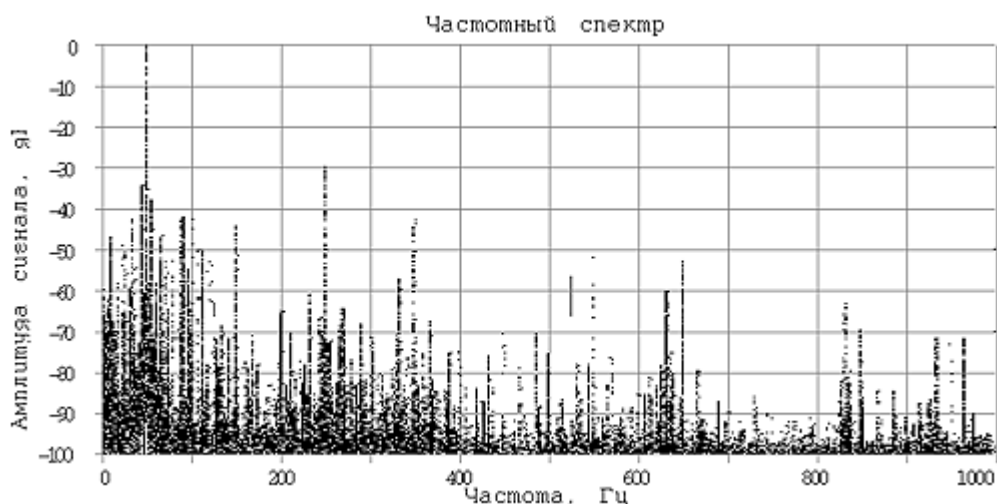


Рис. 2. Спектральный состав тока электродвигателя, находящегося в эксплуатации в течение пяти лет.

Из рисунков видно увеличение количества частотных полос, которые соответствуют различным видам повреждений, а также рост их величины для электродвигателя, длительно находящегося в работе [4].

Рассмотрим возможности данного метода диагностики по обнаружению различных видов повреждений. Токи статора предоставляют информацию об обрывах стержней, несоосности, статическом или динамическом эксцентриситете. Механические повреждения, такие как разрушение подшипников также выявляются по спектру тока.

Есть два вида эксцентриситета: статический и динамический. Статический эксцентриситет - это когда минимальный воздушный зазор зафиксирован в пространстве, например, когда ось ротора не совпадает с осью статора. Динамический эксцентриситет описывает условие, когда минимальный воздушный зазор вращается с ротором. Искривленный ротор приводит к динамическому эксцентриситету. Если расстояние между длиной расточки статора и ротора не равно по всей окружности, то изменяется магнитный поток внутри воздушного зазора. Это создает несимметрию тока, которую можно определить по спектру тока. Возникают многочисленные боковые гармоники частоты питающей сети двигателя. Эти боковые полосы частот будут увеличиваться с частотой эксцентриситета (F_{ECC}). На рис. 3 показан спектр тока двигателя при наличии эксцентриситета. Чем больше возрастает амплитуда пиков, тем больше эксцентриситет.

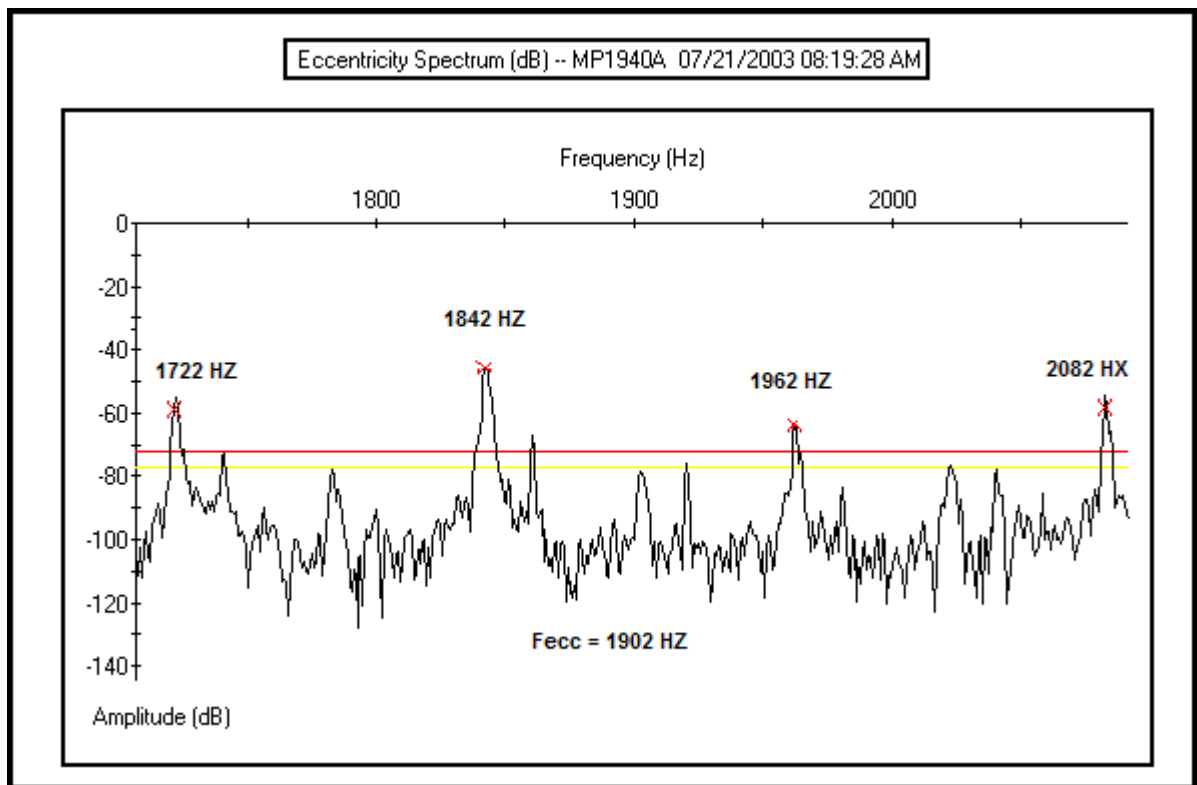


Рис. 3. Спектр тока двигателя при наличии эксцентриситета.

Изменение воздушного зазора из-за статического или динамического эксцентриситета приводит к изменениям плотности магнитного потока в воздушном зазоре. Индукционные токи статора изменяются. Их частотные компоненты позволяют идентифицировать как статический, так и динамический эксцентриситет. Эти частоты:

$$f = F_s \left[(N_r \pm n_d) \left(\frac{1-s}{p} \right) \pm n_w \right],$$

где F_s - частота питающей сети; N_r - число стержней ротора; p - число пар полюсов; s - скольжение в относительных единицах; $n_w = 1, 3, 5 \dots$. Для статического эксцентриситета $n_d=0$. В случае динамического эксцентриситета $n_d=1$.

Так как ротор держится на подшипниках, то при повреждениях в них будет происходить радиальное перемещение между ротором и статором. Отклонение магнитной индукции в воздушном зазоре повлияет на токи статора. Именно поэтому вибрация подшипников может быть обнаружена в спектрах тока статора.

Когда стержень или часть кольца повреждены, образуются гармоники магнитного потока, которые вызывают высшие гармоники в токах статора. Ток статора модулирован

по амплитуде с частотой скольжения. Эта модуляция увеличивается в случае наличия повреждений в роторе.

На рис. 4 и 5 показаны спектры тока статора для асинхронного двигателя с исправным ротором и с четырьмя оборванными стержнями соответственно. На рис.6 показано сравнение амплитуд гармоник для исправного и поврежденного ротора. Модуляция тока статора с частотой двойного скольжения может также быть найдена на спектре, при анализе интервала частоты:

$$f = F_s \left[\frac{N_r(1-s)}{p} \pm 2n \right] \pm 2sF_s$$

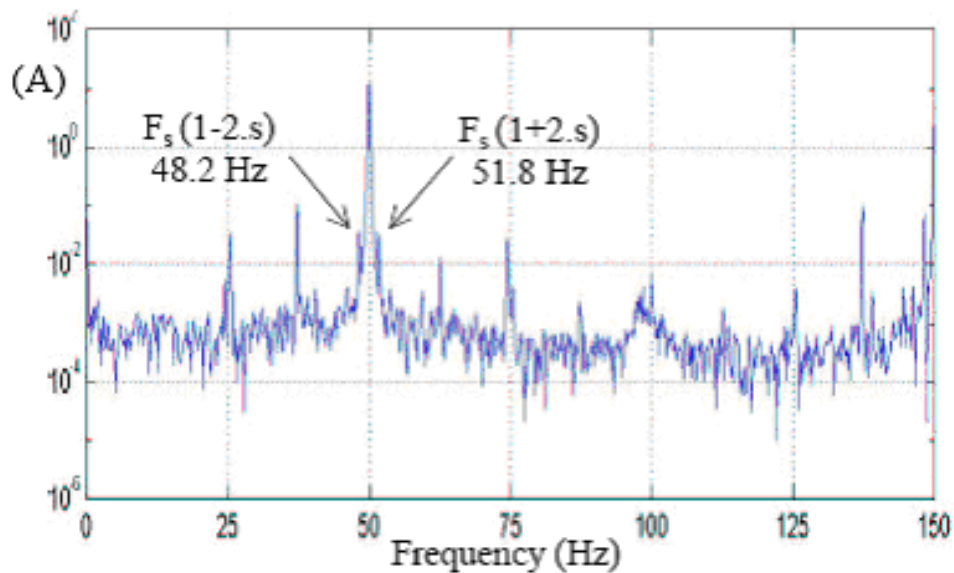


Рис. 4. Спектр тока исправного ротора.

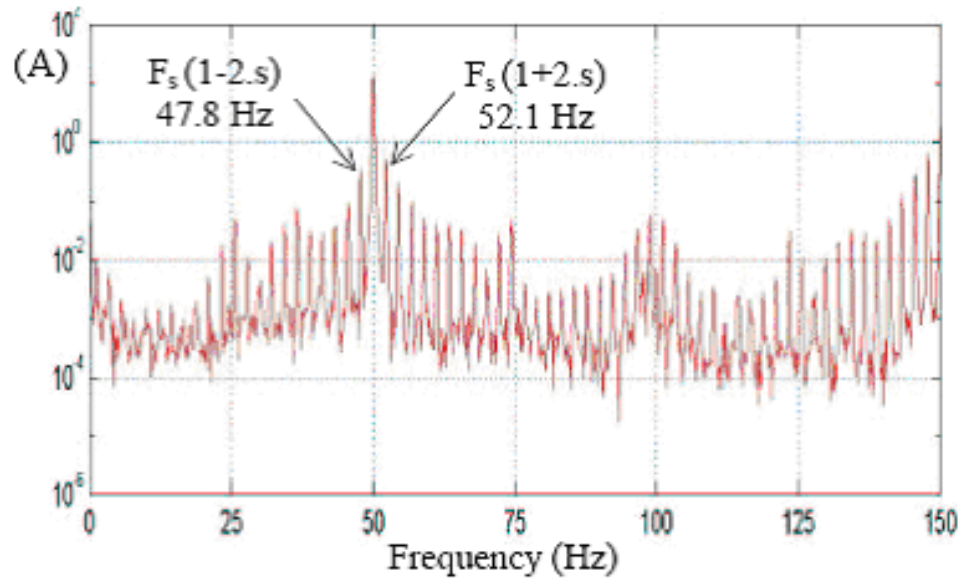


Рис. 5. Спектр тока при обрыве 4 стержней.

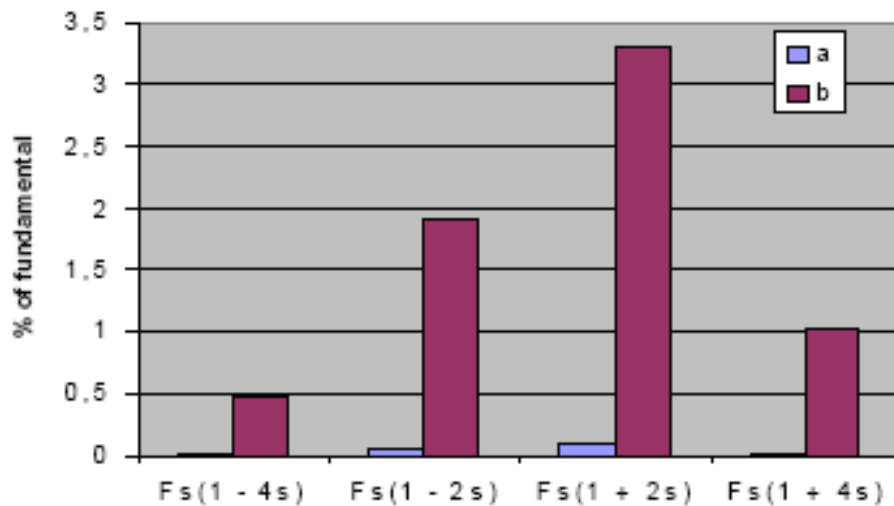


Рис. 6 Амплитуды гармоник в % от базисного значения: а - исправный ротор, b - обрыв 4 стержней.

В спектре тока при повреждении стержней ротора появляются всплески частот в виде боковых полос, по обе стороны от частоты напряжения сети (F_L). В асинхронном двигателе магнитное поле статора вращается быстрее, чем клетка ротора. Поэтому любой стержень ротора проходит под всеми магнитными полюсами в одном направлении вращения с частотой скольжения. Частота вращения равняется F_p . Разница в амплитуде между F_L и F_p указывают на техническое состояние ротора. Установлено, что разница свыше 54 децибел указывает на исправное состояние ротора. Разница менее 45 децибел

указывает на ухудшение состояния ротора: появляются высокоомные соединения, образуются трещины или обрывы стержней. Рисунок 7 иллюстрирует повреждения ротора. Номинальная частота сети составляет 60 Гц [5].

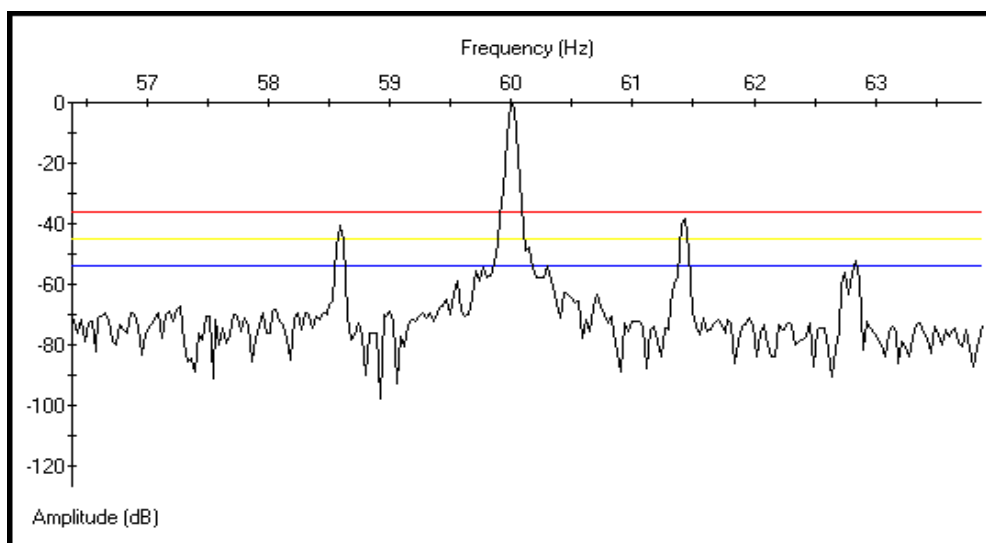


Рис. 7. Спектр тока двигателя с повреждениями ротора.

Несоосность валов двигателя и механической нагрузки определяется по частотам, кратным частоте вращения ротора (рис. 8).

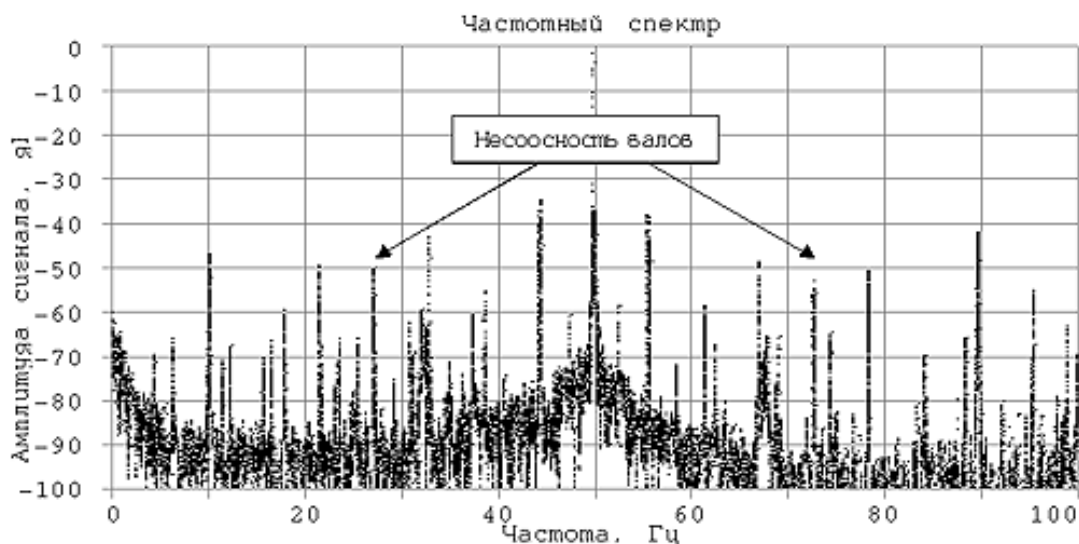


Рис. 8. Характерные частоты при наличии несоосности валов двигателя и механической нагрузки

Дефекты ременной передачи определяются по частотам, кратным частоте биений ремня (рис. 9).

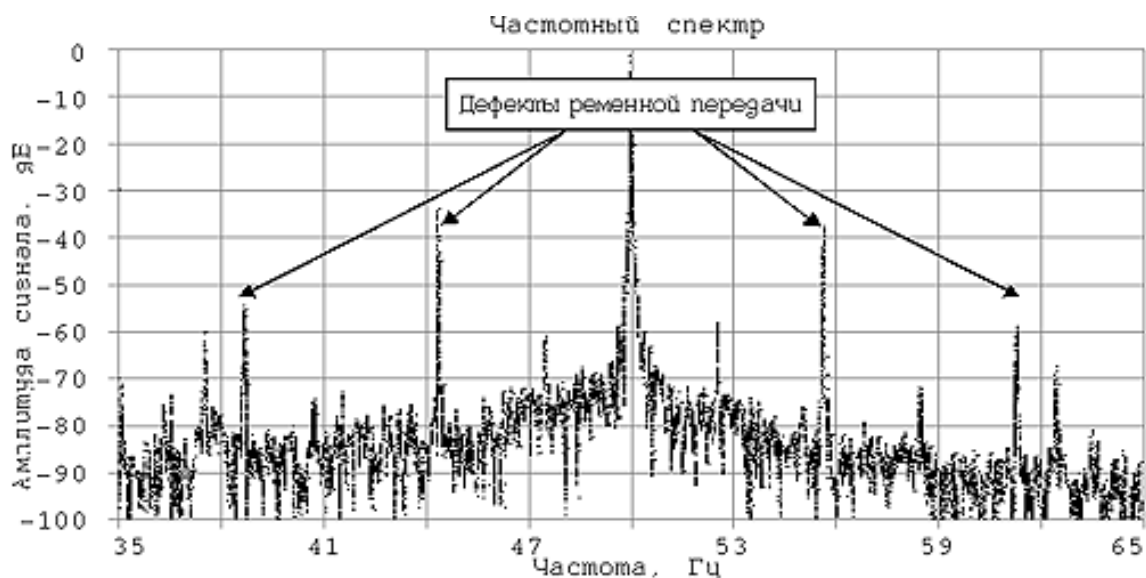


Рис. 9. Характерные частоты при наличии дефектов ременной передачи

Аналогичным образом определяется и наличие таких дефектов, как:

- межвитковые замыкания обмоток статора;
- повреждения подшипников (необходимы данные о подшипниках электродвигателя и механического устройства);
- ослабление элементов крепления электродвигателя;
- дефекты механических частей связанных с электродвигателем устройств [4].

Диагностические признаки основных дефектов асинхронных двигателей и нарушений нормальных условий их питания сведены в таблицу 1 [6].

Таблица 1

Название дефекта	Рост тока
Дефекты обмоток статора	f_1 (три фазы)
Дефекты обмоток ротора (беличьей клетки)	$f_1 \pm 2ksf_1$
Статический эксцентриситет	$(2k+1)f_1$ $Z_r f_{r1} \pm f_1$

с насыщением зубцов	
Динамический эксцентриситет с насыщением зубцов	kf_{r1}
Несимметрия напряжения питания	f_1 (три фазы)

Примечание: f_1 – частота питающего напряжения, Гц; f_{r1} – частота вращения ротора, Гц; Z_{r1} – число зубцов ротора; S – скольжение ротора; k - целые числа

Серьезность повреждений определяется сравнением величины сигнала на характерной частоте повреждения с величиной сигнала на частоте питающей сети. Частоты, характерные для отдельных видов повреждений, совпадают очень редко. Диагностика тока и последующий спектральный анализ позволяют обеспечить разрешение по частоте до 0,01 Гц. Когда частоты от различных повреждений совпадают необходимо дальнейшее уточнение характера дефекта с использованием традиционно применяемых методов диагностики. В ситуации, когда на двигателе установлены два одинаковых подшипника и токовая диагностика показала повреждения на «подшипниковых» частотах, дальнейшее определение дефектов подшипников надо выполнять с помощью вибродиагностики или тепловизора (пирометра).

Кроме описанных измерений, рекомендуется проведение мониторинга приложенного к электродвигателю напряжения. Это позволяет определить его несимметрию, наличие высших гармонических составляющих и импульсов перенапряжений. Данные факторы приводят к перегреву обмоток статора и к повреждению подшипников из-за возникновения высокочастотных вращающих моментов обратной последовательности [4].

Анализ спектров модулей векторов Парка тока и напряжения. Недостатком спектрального анализа тока асинхронного двигателя является сложность оценки результатов. Любая амплитудно-модулируемая частота учитывается в спектре дважды, по обе стороны питающего напряжения. Двойной учет модулируемой частоты обуславливает недостаточную точность диагностирования и отсутствие возможности увеличения числа анализируемых гармоник. Метод спектрального анализа требует доработки для устранения недостатков.

Для исключения наложения частот от различных повреждений и, как следствие, искажения картины реального состояния двигателя используется метод анализа спектров модулей векторов Парка тока (PI) и напряжения (PU). В основу анализа спектров PI и PU

заложены следующие принципы. Наличие электрических и механических неисправностей приводит к изменениям магнитного потока (амплитудной модуляции) в воздушном зазоре электрической машины. Это дает возможность выявить гармоники тока, характерные для неисправностей оборудования.

Питающее напряжение не является идеально синусоидальным, поэтому в получаемых спектрах PI и PU присутствуют гармоники, обусловленные качеством питающего напряжения. Неисправности электродвигателя и механической нагрузки вызывают соответствующие гармоники только в спектре тока.

В отличие от простого спектрального анализа сигналов тока, при формировании спектров модуля вектора Парка любая модулируемая амплитудной модуляцией характерная частота учитывается в спектре вектора Парка только один раз. Гармоники в спектре PI, соответствующие различным видам неисправностей, отличаются друг от друга. Таким образом, выявление в спектре PI характерных гармоник достоверно и однозначно свидетельствует о наличии электрических и механических неисправностей в электродвигателе и приводимом им в действие устройстве.

При диагностировании каждый агрегат рассматривается как единая конструкция, состоящая из привода, редуктора, передачи и механического устройства. Диагностика состояния электродвигателей на основе анализа спектров PI и PU проводится по следующему алгоритму. С помощью датчиков тока и напряжения осуществляется запись в трех фазах зависимостей напряжения и тока, потребляемых электродвигателем, от времени. Записанные сигналы пропускаются через фильтр низких частот с частотой среза выше наибольшей полезной частоты сигнала. Это необходимо для недопущения появления ложных спектров. Получаемые результаты измерения представляют собой не непрерывную функцию, а выборку значений, полученных с определенным шагом аргумента по времени – D . Величину, обратную D , называют частотой дискретизации. Половину частоты дискретизации называют частотой Найквиста. Из аналоговой формы записанные сигналы преобразуются в цифровую форму. С помощью вычислительных средств формируются спектры PI и PU. Полученные спектры PI и PU подвергаются спектральному анализу. При совпадении всех линий в спектрах PI и PU делается вывод о соответствии спектра тока питающему напряжению в электрической цепи электродвигателя. При выявлении линий, присутствующих в спектре PI и отсутствующих в спектре PU, делают вывод о несоответствии спектра тока питающему напряжению в электрической цепи электродвигателя. Это несоответствие может быть обусловлено неисправностью.

Для обнаружения неисправностей электродвигателя выделяются характерные частоты электродвигателя и связанных с ним механических устройств. Характер и степень развития неисправности выявляются путем сравнения значений амплитуд PI на характерных частотах со значением PI на частоте 0 Гц. Диагностирование основных неисправностей электродвигателя осуществляется на следующих характерных частотах:

- наличие межвитковых замыканий в обмотках статора и повреждения ротора – на частоте питающей сети;
- несоосность валов электродвигателя и связанных с электродвигателем механических устройств – на частотах, кратных частоте вращения электродвигателя;
- дефекты ременной передачи нагрузки – на частотах, кратных частоте биений ремня;
- повреждения подшипника – на частотах, кратных частоте вращения ротора;
- повреждения связанных с электродвигателем механических устройств из группы: насос, вентилятор, компрессор – на лопаточной частоте.

Вывод о наличии неисправности электродвигателя можно сделать на основе сравнения значений амплитуд PI на частотах, которые характерны для повреждений, с уровнем сигнала при частоте, равной нулю. Если амплитуды PI на характерных частотах ниже амплитуды модуля PI на частоте 0 Гц на заданную величину, делается вывод о хорошем техническом состоянии электродвигателя и связанных с ним механических устройств. В случае если указанная разница между амплитудами больше заданной величины, делается заключение о наличии соответствующего данной характерной частоте PI повреждения.

Спектральный анализ полученного сигнала и сравнение амплитуд PI производят преимущественно в области от - 100 дБ до 0 дБ путем выявления признаков неисправностей в виде пиков на характерных частотах.

На рис. 10–16 представлены частотные характеристики PI для исправного электродвигателя и электродвигателя с различными видами повреждений. Стрелкой обозначены характерные частоты, соответствующие диагностируемой неисправности [7].

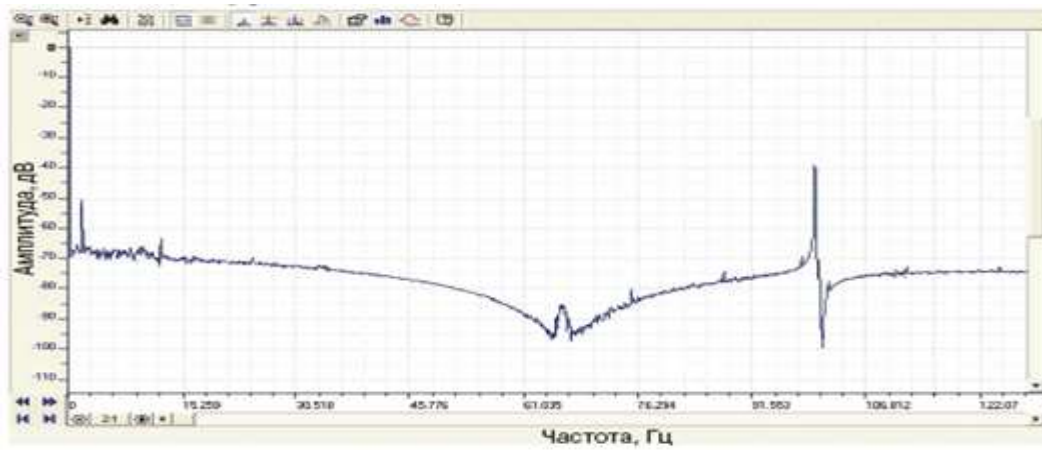


Рис.10. Частотная характеристика модуля вектора Парка тока нового исправного электродвигателя (нагрузка - насос).

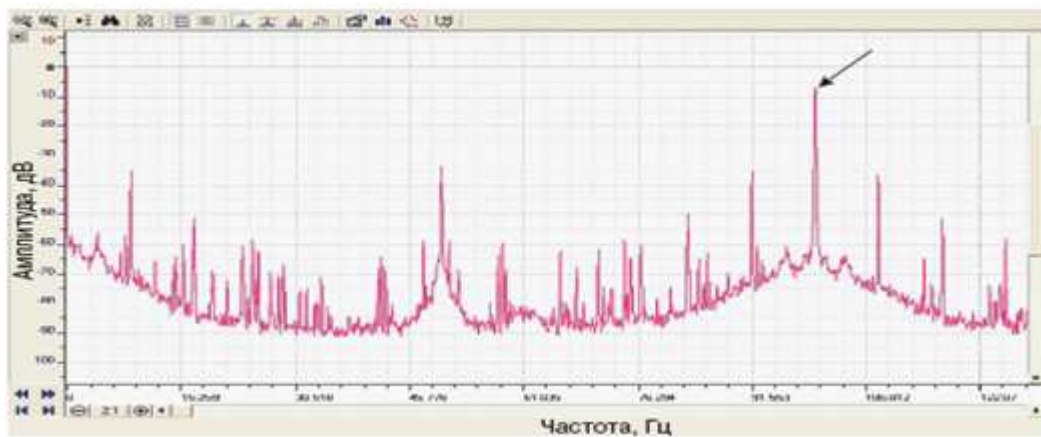


Рис. 11. Частотная характеристика модуля вектора Парка тока электродвигателя при межвитковых замыканиях в обмотках статора.

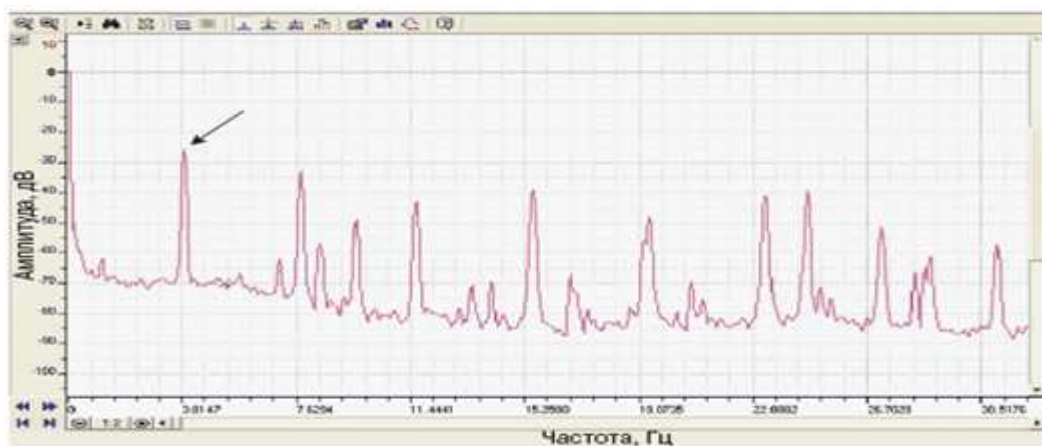


Рис. 12. Частотная характеристика модуля вектора Парка тока электродвигателя при повреждении стержней ротора.

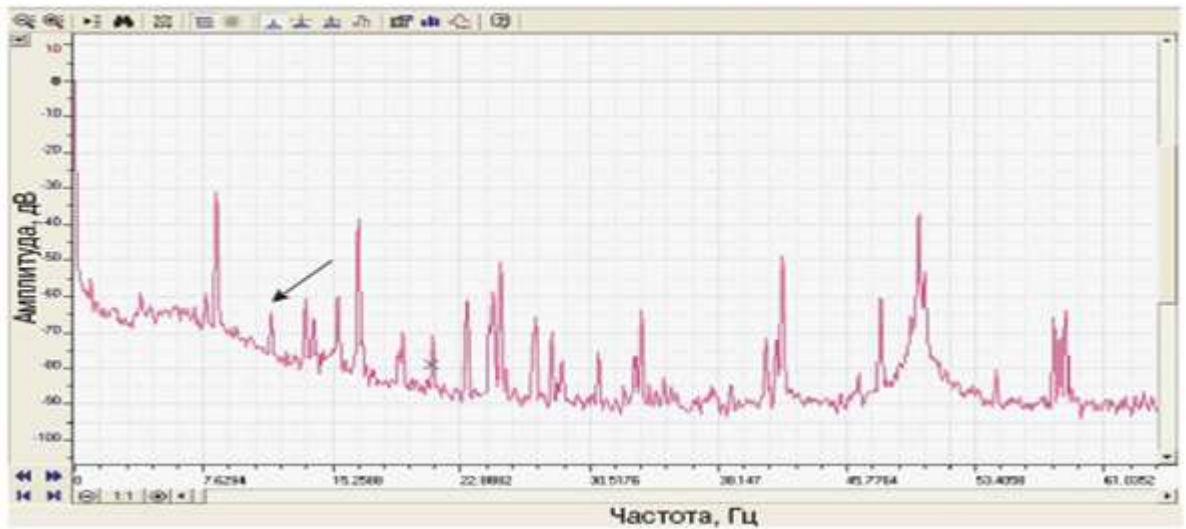


Рис. 13. Частотная характеристика модуля вектора Парка тока электродвигателя при задевании ротора о статор электродвигателя.

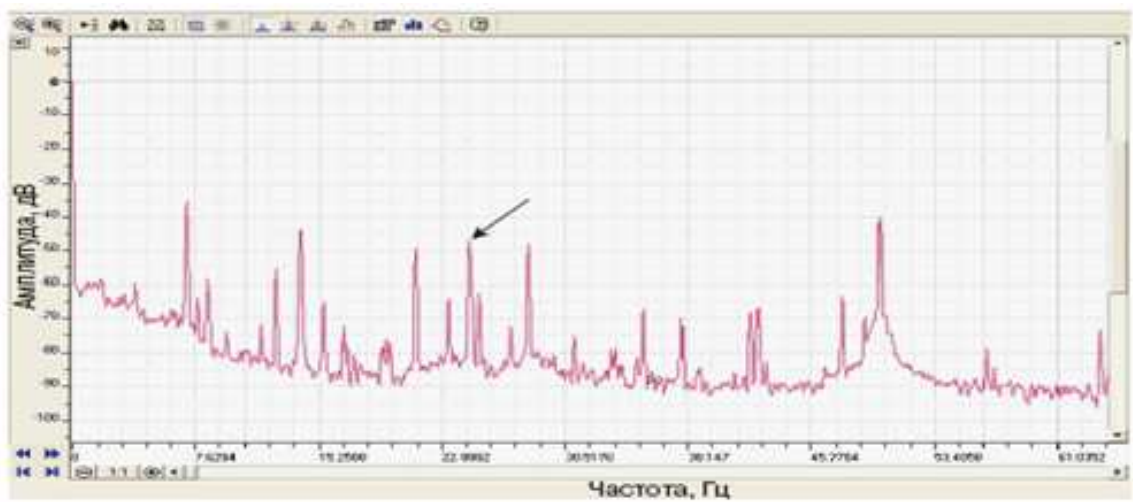


Рис. 14. Частотная характеристика модуля вектора Парка тока электродвигателя при несоосности валов электродвигателя и механического устройства (нагрузки).

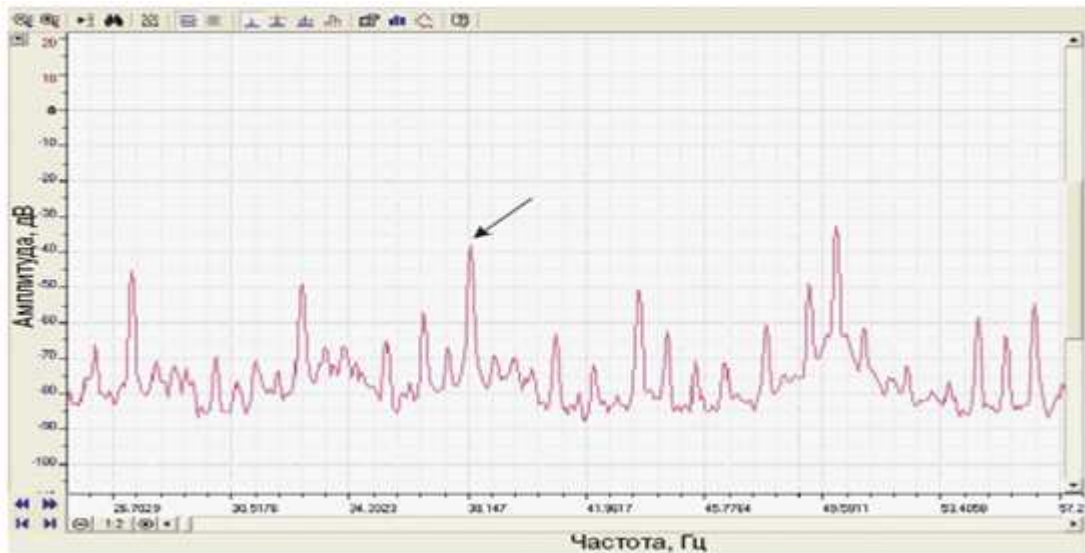


Рис. 15. Частотная характеристика модуля вектора Парка тока электродвигателя при повреждении сепаратора подшипника.

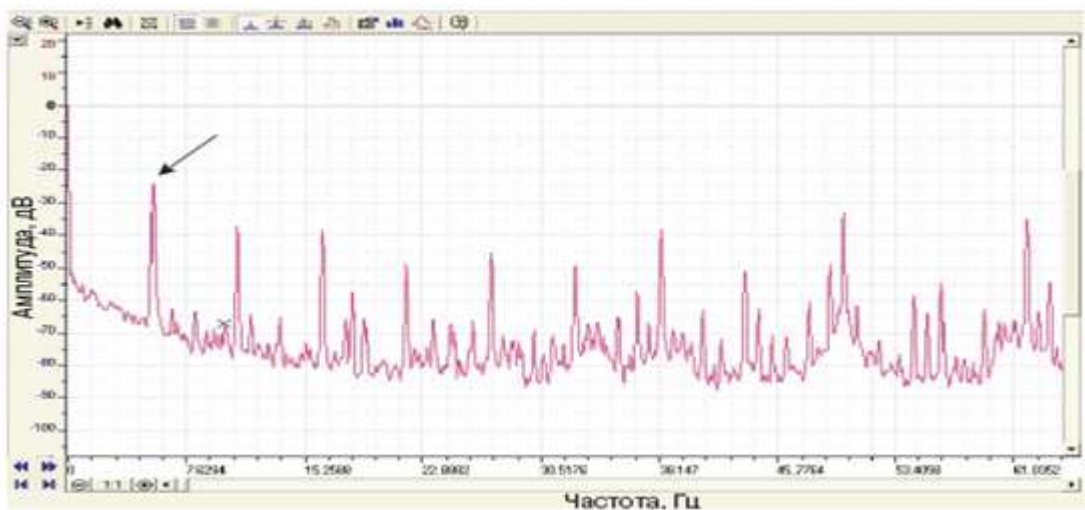


Рис. 16. Частотная характеристика модуля вектора Парка тока электродвигателя при износе передаточного механизма (например, ременной передачи или редуктора).

Для каждого электродвигателя с механическим устройством рассчитывается свой уникальный набор информативных (характерных) частот. Состав этого набора определяется типом электродвигателя, исполнительным механизмом, видом используемой передачи, характеристиками подшипников и т.д.

В специализированном программном обеспечении измерительного комплекса используется обобщенная база данных подшипников качения, в которой хранится необходимая информация по параметрам подшипников различных марок. Для определения характерных частот некоторых неисправностей и их диагностики

дополнительно определяется частота вращения электродвигателя и число стержней его ротора. Расчет частот и обнаружение в спектре тока электродвигателя характерных гармоник производится автоматически по заданному алгоритму.

Полученные значения амплитуд на характерных частотах сравниваются со значением амплитуды основного пика на частоте, равной нулю. Для двигателя в хорошем состоянии сигналы соответствующих повреждений на характерных частотах обычно на 50–60 дБ ниже амплитуды основного пика на частоте 0 Гц. С развитием повреждения разница между пиками уменьшается. Например, на рис. 10–16 повышение амплитуды при повреждениях на характерных частотах явно видно по одну сторону от частоты 0 Гц.

По разности значений амплитуд и на основе принципов нечеткой логики определяется степень развития дефекта. Все диагностируемые повреждения разделяются на три уровня по степени серьезности дефектов:

- повреждения отсутствуют;
- повреждения обнаружены;
- обнаружены критичные повреждения.

Таким образом, на основании заключений о наличии (отсутствии) повреждений отдельных узлов делается вывод о работоспособности агрегата как единой конструкции. Дополнительно к измерению потребляемого тока проводится мониторинг приложенного к электродвигателю напряжения с целью определения причин возникновения выявленных повреждений, которые могут быть обусловлены качеством питающего напряжения. В течение определенного интервала времени осуществляется запись значений напряжения, приложенного к электродвигателю. Измерение проводится между нулевым рабочим проводником и каждой фазой.

При изменении напряжения изменяется механическая характеристика – зависимость вращающего момента от скольжения. При снижении напряжения уменьшается вращающий момент и частота вращения, т.к. увеличивается скольжение. Причем при неизменной потребляемой мощности увеличивается ток, потребляемый из сети, и происходит интенсивный нагрев обмоток, что сокращает срок службы электродвигателя. Таким образом, результаты мониторинга приложенного напряжения учитываются при прогнозировании развития повреждения и определении остаточного ресурса электродвигателя.

При несимметрии напряжений сети в электрических машинах наряду с возникновением дополнительных потерь активной мощности и нагревом статора и ротора могут возникнуть опасные вибрации в результате появления знакопеременных вращающих моментов и тангенциальных сил, пульсирующих с двойной частотой сети.

Несинусоидальность питающего напряжения приводит к ускоренному старению изоляции, дополнительным потерям мощности двигателя, а также значительному сокращению срока службы подшипников за счет возникновения встречно направленных моментов вращения.

Высшие гармоники напряжения вызывают дополнительные потери активной мощности в электрических машинах, т.к. сопротивления их элементов зависят от частоты. Высшие гармоники вызывают паразитные поля и электромагнитные моменты в асинхронных двигателях, которые ухудшают механические характеристики и КПД машины, а также коэффициент мощности электродвигателя. Согласно исследованиям, высокий уровень гармонических искажений питающего напряжения может вызвать серьезный перегрев электродвигателя с последующим отключением, чрезмерный акустический шум и вибрации, повреждения подшипников (срок службы которых может снизиться до 10% от номинального) и нарушения креплений из-за высокого уровня вибрации.

Измерения тока и напряжения и их анализ проводят с определенной периодичностью, которая подбирается эмпирически. Все проведенные измерения заносятся в базу данных измерений и результатов их анализа, по которой контролируется развитие повреждений во времени и определяется остаточный ресурс оборудования.

В результате создания и регулярного пополнения базы данных измерений и результатов их анализа, в процессе эксплуатации агрегата можно проследить динамику фактического развития отдельных повреждений в графическом виде по отобранным частотным характеристикам и прогнозировать их дальнейшее развитие. Учет мониторинга напряжения позволяет более точно прогнозировать развитие повреждений, обусловленных качеством питающего электродвигатель напряжения.

Пример графического представления тенденции развития различных повреждений асинхронного двигателя в специализированной программе по диагностике состояния электродвигателей представлен на рис. 17. По оси ординат может быть отложено как состояние агрегата по нечеткой логике, так и вероятность его повреждения.

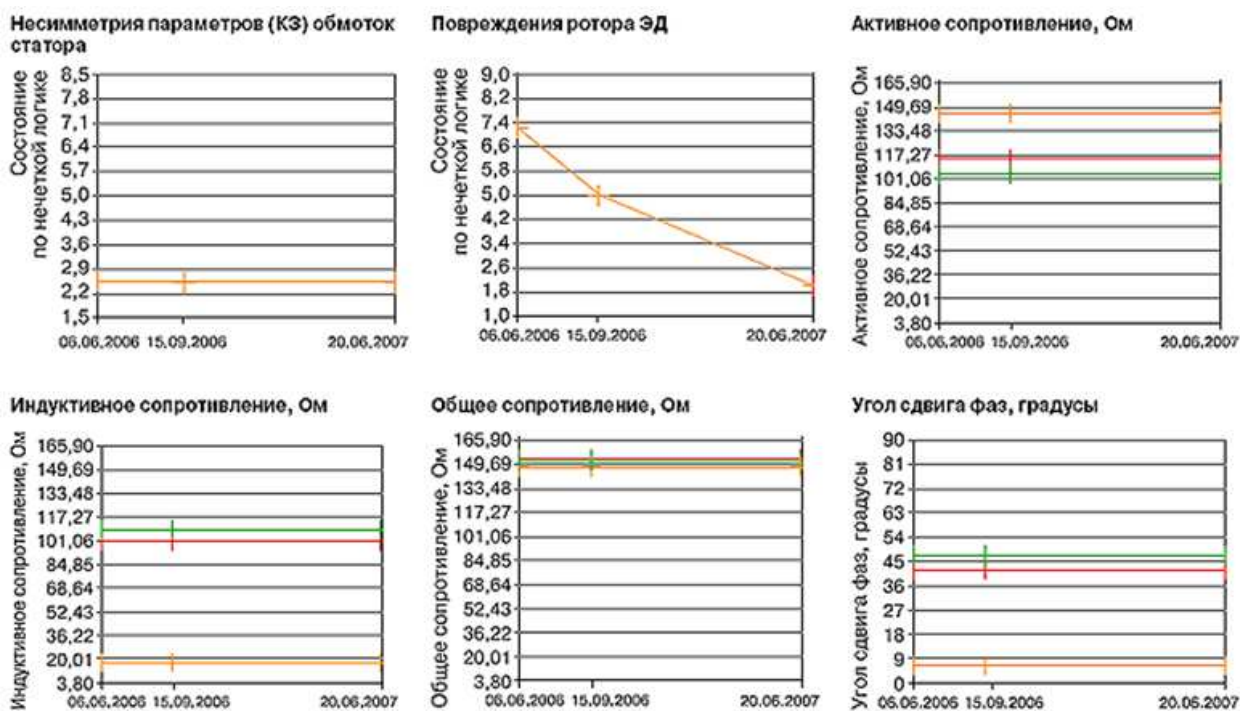


Рис. 17. Графического представления тенденции развития различных повреждений асинхронного двигателя по диагностике состояния.

Метод диагностирования состояния асинхронных двигателей на основе спектрального анализа спектров модуля векторов Парка тока и напряжения, по сравнению с другими способами диагностики, обладает целым рядом преимуществ:

1. Расширение перечня диагностируемых повреждений и повышение точности диагностирования.
2. Диагностика состояния электродвигателя методом спектрального анализа спектров модуля векторов Парка позволяет выявить основные виды дефектов электродвигателя и связанного с ним механического устройства:
 - межвитковые замыкания обмоток статора;
 - повреждения подшипников;
 - несоосность валов электродвигателя и приводимых электродвигателем устройств;
 - повышенный эксцентриситет ротора (статический и/или динамический);
 - дефекты ротора (обрыв стержней, дефекты литья);
 - задевание ротора о статор электродвигателя;
 - дефекты передач, соединенных с электродвигателем;

- дефекты механической части приводимых электродвигателем устройств (насосов, вентиляторов, компрессоров, т.п.).
3. Снижение трудоемкости процедуры диагностирования. Это обусловлено тем, что при совпадении линий в спектрах модуля вектора Парка тока и напряжения отсутствует необходимость проверки состояния спектра на каждой характерной частоте при каждой операции диагностики каждого электродвигателя.
 4. Обеспечение возможности дистанционного диагностирования (на расстоянии от электродвигателя – в электрошите питания и/или управления).
 5. Упрощение процедуры диагностирования: не требуется отключение электродвигателя и/или снятие нагрузки.
 6. Обеспечение возможности полной автоматизации процесса диагностики.

Тем самым способ диагностики электродвигателей методом на основе спектрального анализа спектров модуля вектора Парка тока и напряжения представляет собой достоверный, эффективный и удобный метод выявления дефектов и повреждений электродвигателей и связанных с ними механических устройств. Формирование спектров модуля вектора Парка тока и модуля вектора Парка напряжения при спектральном анализе сигналов тока и напряжения позволяет исключить двойной учет модулируемой частоты. Это обеспечивает повышение точности диагностики. Для определения спектров модуля векторов Парка тока и напряжения могут быть использованы общедоступные программные и вычислительные средства. Поэтому необходимый дополнительный расчет спектров модуля векторов Парка не приводит к усложнению аналитической обработки данных.

Упрощенная процедура диагностирования, возможность проведения диагностики в дистанционном режиме и полной автоматизации процесса диагностики позволяют проводить регулярные измерения даже при значительном парке электродвигателей, накапливать базу данных измерений, отслеживать динамику фактического развития отдельных повреждений и прогнозировать их дальнейшее развитие и остаточный ресурс оборудования. Применение данного метода позволяет в полной мере реализовать технологию обслуживания оборудования по фактическому состоянию. Это обеспечивает снижение до минимума ущерба предприятия от аварийных отказов оборудования за счет раннего обнаружения зарождающихся дефектов и контроля развития повреждений [8].

Все рассмотренные методы диагностики технического состояния асинхронных двигателей имеют свои достоинства и недостатки. Наиболее перспективным является использование комбинированных методов диагностики, учитывающих несколько диагностических параметров в едином комплексе.

Список литературы

1. Современные методы неразрушающего контроля и диагностики технического состояния электроприводов горных машин / С.В. Бабурин, В.Л. Жуковский, А.А. Коржев, А.В. Кривенко. - Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет) им. Г.В. Плеханова.
2. Экспертная система контроля технического состояния вращающихся машин / <http://www.diacs.com/ru/article.php>.
3. Сравнительное исследование методов диагностики асинхронных двигателей / R. Casimir, E. Boutleux, G. Clerc and F. Chappuis. Перевод: Нафтулин И.В.
4. Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока / В. Петухов. - Журнал «Новости Электротехники» №1(31) 2005.
5. Передовой спектральный анализ / Pete Bechard. PdMA Corporation. Перевод: Нафтулин И.В.
6. Вибрационная диагностика электрических машин в установившихся режимах работы: методические указания / А.В. Барков, Н.А. Баркова, А.А. Борисов. – Северо-Западный учебный центр, г. Санкт-Петербург, 2006.
7. Диагностика электродвигателей. Спектральный анализ модулей векторов Парка тока и напряжения / В. Петухов. - Журнал «Новости Электротехники» №1(49) 2008.
8. Диагностика электродвигателей. Спектральный анализ модулей векторов Парка тока и напряжения / В. Петухов. - Журнал «Новости Электротехники» №1(50) 2008.