

управления электроприводом, открывает большие возможности, связанные с автоматической настройкой оптимального протекания динамических процессов в электромеханических системах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические указания по электроприводу. - Челябинск. 2006. - 240 с.
2. Короткий С. Нейронные сети: основные положения. Ресурсы Интернета.
3. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника - М.: Мир, 1992.

Түйіндеме

Мақалада нейронды тораптарды қолдана отырып алынған тәжірибелік берілгендердің негізінде электр жетегі жүйесін автоматты түрде басқаруға мүмкіндік беретін электр жетегінің механикалық сипаттамалары алынды.

Resume

In article on the basis of skilled data and with application of a neural network, the mechanical characteristics of the electric drive providing optimum course of dynamic processes in electromechanical system are received.

УДК 621.313

СПОСОБЫ ДИАГНОСТИКИ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО ЕГО ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

А.Н. Новожилов, Н.А. Исупова

Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова

Одной из неисправностей асинхронных двигателей (АД) является эксцентриситет ротора. В связи с этим возникает неравномерность воздушного зазора, добавочные магнитные поля в этом зазоре и ущерб от перерасхода электроэнергии. Последний за год, по ориентировочным подсчетам, может превышать стоимость поврежденного АД. Если при эксцентриситете ротор касается статора, то их сердечники нагреваются. Происходит их «зализывание» и ускоренное тепловое старение изоляции с последующим КЗ в обмотке статора или повреждением обмотки ротора. Как правило, после

этого статор и ротор требуют капитального ремонта. Этого можно избежать, если своевременно выявить эксцентриситет, отключить двигатель от сети и отрегулировать воздушный зазор [1]. Однако в настоящее время по разным причинам в эксплуатации устройства для выявления эксцентриситета ротора не используются. Чтобы выяснить некоторые из этих причин был выполнен анализ наиболее известных технических решений, принцип работы которых основан на измерении электромеханических параметров АД.

Неравномерность воздушного зазора при эксцентриситете ротора в АД приводит к несимметрии магнитной системы и дополнительным магнитным полям [2, 3] и изменению индуктивных сопротивлений фаз обмоток статора и ротора. В результате увеличиваются токи фаз статора, скольжение ротора, время пуска и потери в двигателе. Снижается $\cos \varphi$, КПД, пусковой момент и некоторые другие технико-экономические показатели. Следовательно, все это может служить источником информации о наличии и величине эксцентриситета ротора.

Так в способе [4] обмотку статора АД подключают к трехфазной сети, а электродвигатель нагружают противодействующим моментом, равным опрокидывающему моменту при работе в однофазном режиме и максимально допустимой неравномерности воздушного зазора. Затем двигатель переводят с трехфазного питания на однофазное, а о равномерности воздушного зазора судят по величине снижения скорости вращения двигателя. Данный способ очень сложен в реализации, а потому малоприменим. Кроме того, в связи с особым подбором противодействующего момента, имеет низкую чувствительность. Что не позволяет определять неравномерность зазора при перекосах ротора.

Менее трудоемкие способы [5-8], которые базируются на измерении изменения параметров асинхронного двигателя в зависимости от неравномерности воздушного зазора в момент трогания машины. Например, в [5] измеряют напряжение питания в момент трогания. В [6] для повышения точности контроля перед подключением обмотки статора к источнику питания в разрыв одной фазы обмотки включают переменное активное или реактивное сопротивление, по величине которого в момент трогания судят о наличии эксцентриситета ротора. В [7, 8] о неравномерности воздушного зазора судят по относительным изменениям электрических информационных параметров в момент трогания при наличии и отсутствии несимметрии магнитного поля в этом зазоре. Но эти способы недостаточно точны, так как напряжение трогания в значительной степени зависит и от положения ротора в расточке статора, и от состояния подшипников.

При способе [9] у трехфазной машины поочередно каждую из фазных обмоток статора подключают к однофазному напряжению поочередно, измеряют ток и мощность при неподвижном роторе, а затем вычисляют индуктивное сопротивление каждой из фаз по формуле

$$x_A = \sqrt{(U/I_A)^2 - (P_A/I_A^2)^2},$$
$$x_B = \sqrt{(U/I_B)^2 - (P_B/I_B^2)^2} \text{ и}$$
$$x_C = \sqrt{(U/I_C)^2 - (P_C/I_C^2)^2}.$$

Затем по величинам этих индуктивных определяют обобщенный диагностический параметр

$$x = \sqrt{x_A^2 + x_B^2 + x_C^2}$$

и сравнивают его с величиной этого параметра при равномерном воздушном зазоре и по их разнице судят о степени неравномерности воздушного зазора.

В способе [10] предложено контролировать воздушный зазор измеряя в однофазном режиме на холостом ходе сигнал зубцовой гармоники и формируя контролируемый сигнал, в виде суммы квадратов амплитуд зубцовых гармоник ЭДС трех фаз. Очевидно, реализация этих способов во время эксплуатации невозможна.

Способы косвенного контроля неравномерности воздушного зазора асинхронного двигателя [11-13] основаны на измерении разности индуцированных в обмотках фаз статора ЭДС в различных режимах. Так в [11] ротор приводят во вращение с синхронной скоростью и измеряют ЭДС наведенных в двух фазах не подключенных к напряжению. В [12] после отключения двигателя от сети сопоставляют индуцированные в обмотках фаз статора ЭДС и по их разнице в режиме выбега определяют неравномерность воздушного зазора. В способе [13] косвенного контроля неравномерности воздушного зазора измеряют величину напряжения, тока и коэффициента мощности подключенного к сети по рабочей схеме питания асинхронного двигателя. Затем отключают фазы обмотки статора от сети собственным коммутационным аппаратом, измеряют ЭДС фазных обмоток статора в режиме выбега. О неравномерности воздушного зазора судят по изменению среднеквадратичной величины реактивной составляющей скачка напряжения на выводах фазных обмоток статора двигателя в момент отключения по сравнению с той же величиной, соответствующей равномерному зазору.

Однако способы [11-13], которые используют режим выбега, имеют существенный недостаток – недостаточное время для достоверной диагностики, так как время затухания ЭДС составляет 0,08-0,20с в зависимости от типа двигателя.

Этот недостаток, а также изменение амплитуды измеряемой ЭДС, характерен и для способов контроля неравномерности воздушного зазора в режиме пуска. Видимо это и является причиной того, что эти технические решения не получили широкого распространения.

С точки зрения реализации малоинтересен и способ [14]. С помощью вспомогательного электрического двигателя вращают ротор испытуемой электрической машины с синхронной скоростью. С источника напряжения, подают на одну из ее фаз напряжение повышенной до 500Гц частоты. Затем измеряют среднее значение разности ЭДС, наводимых в двух других фазах. В таком же порядке проводят измерения для оставшихся двух фаз. Контролируемым сигналом является отношение разности максимального амплитудного значения и среднего арифметического результата измерения средних значений разности ЭДС к этому среднему арифметическому значению.

Несколько более перспективен способ [15] измерения относительного эксцентриситета ротора электрической машины по которому измеряют напряжение между нулевыми точками обмотки статора и искусственно созданной с помощью активных резисторов. Величину эксцентриситета определяют по измеренной заранее зависимости $\varepsilon = f(U_{00})$. Метод прост, но требует дополнительных резисторов, что сопряжено с дополнительными потерями электрической энергии в случае оперативного контроля эксцентриситета.

Этого недостатка лишен способ косвенного контроля неравномерности воздушного зазора электрической машины [16] в котором в качестве измеряемого электрического сигнала используют ток зубцовой гармоники в нулевом проводе. При этом величина эксцентриситета определяется по полученной экспериментально зависимости $\varepsilon = f(I_{v0})$.

Более чувствителен в сравнении с устройством, реализующем способ [16] является устройство [17], в котором дополнительно к току зубцовой гармоники в нулевом проводе измеряются зубцовые гармонические в токах фаз двигателя и по их разности определяется наличие эксцентриситета ротора.

Эти технические решения достаточно просты и чувствительны. Однако для их реализации необходимо наличие цепи нулевого провода. Его использование возможно только в сети с заземленной или искусственной нейтралью.

В устройстве [18] для косвенного контроля неравномерности воздушного зазора последовательное измерение зубцовой гармонической в ЭДС фаз осуществляется последовательным автоматическим отключением фазных обмоток статора от источника стабилизированного питания. Величины этих зубцовых гармонических ЭДС запоминаются. Затем их преобразуют и сравнивают с эталонным значением и при превышении эталона электромашинка признаётся непригодной. В результате контроль неравномерности воздушного зазора автоматизируется и упрощается. Это позволяет осуществлять его

в условиях поточного производства. Однако устройство способно только регистрировать наличие эксцентриситета ротора, но не может оценить его величину. Кроме того, для работы устройства требуется источник стабилизированного трехфазного тока.

Аналогично работает и устройство [19]. Однако в нем в качестве измеряемого параметра выбирается сумма квадратов электродвижущих сил зубцовой гармоник, измеренных в однофазном режиме при последовательном отключении каждой из трех фаз статорной обмотки. Однако при отключении каждой фазы две другие получают питание от одних и тех же двух фаз трехфазной сети, что исключает влияние на результат контроля возможной несимметрии трехфазной сети. А питание машины от одних и тех же двух фаз позволяет упростить и повысить технологичность процесса контроля, так как задача понижения и стабилизации однофазного напряжения решается значительно проще, чем трехфазного.

Более перспективен способ [20]. В нем на обмотки статора испытуемой машины без нагрузки подается трехфазное напряжение питания, в результате чего ротор разгоняется до номинальной скорости вращения. Из фаз обмотки статора выделяют составляющие электрического сигнала прямой и обратной последовательностей на зубцовой частоте. Затем контролируемый косвенный параметр формируют в виде отношения амплитуд этих сигналов.

В способе [21] за контролируемый параметр взято среднеквадратичное значение четных гармоник фазных токов. При этом двигатель без нагрузки разгоняют до номинальной скорости вращения, после чего из тока в обмотках статора выделяют четные гармоники и вычисляют их среднеквадратичное значение. Этот способ основан на том, что тока в обмотках асинхронного электродвигателя не синусоидальны при питании его от источника синусоидального напряжения, причем наличие четных гармоник вызывается только неравномерностью воздушного зазора. Степень неравномерности воздушного зазора пропорциональна среднеквадратичному значению выделяемых четных гармоник в кривой тока, протекающего через обмотки электродвигателя.

В [1, 22] определять наличие эксцентриситета ротора предлагается по гармоническим токам фазы, которые рассчитываются как

$$f_s = f_c \left[kz_2 \frac{(1-s)}{p} \pm v \right],$$

где Z_2 - число пазов ротора; k - любое целое число; S - скольжение ротора; v - порядок временной гармоники статора, которая есть в сети питания электродвигателя.

Устройство защиты от эксцентриситета ротора, работа которых основана на измерении этих гармонических в токе фазы, были разработаны в Павлодарском индустриальном институте в 1990 г. Оно успешно прошло лабораторные и производственные испытания и затем использовалось для защиты двигателей дробилок Павлодарской ТЭЦ-3 и перекачивающих насосов на Западно – сибирских магистральных нефтепроводах (г. Тюмень). Однако более широкому их распространению видимо помешало то, что в процессе эксплуатации выяснилась их высокая стоимость, чувствительность к ударным нагрузкам и несоосности валов двигателя и приводного механизма. Что значительно ограничило его чувствительность. Сложным оказался процесс выставления уставок на производстве. В результате сложной политической ситуации того времени, и как следствие в промышленности, «довести» и «раскрутить» своевременно это устройство не удалось.

Таким образом, как показал анализ наиболее удачных технических решений, диагностика эксцентриситета ротора АД по электромеханическим параметрам двигателя в конкретных заданных режимах работы сложна, в большинстве случаев возможна только на заводе-изготовителе или в лабораторных условиях и обычно непригодна для использования на производстве во время эксплуатации двигателя. Кроме того, они все, как правило, обладают недостаточной чувствительностью к эксцентриситету ротора. Все это указывает на необходимость поиска иных способов решения этой проблемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клецель М.Я., Мануковский А.В., Новожилов А.Н. Защита асинхронного двигателя от эксцентриситета ротора// *Электричество*. – 2006. – №7. С. 63-65.
2. Геллер Б., Гамата В. Высшие гармоники в асинхронных машинах. - М.: Энергия, 1981.- 351с.
3. Новожилов А.Н. Токи асинхронного двигателя при статическом эксцентриситете// *Электротехника*. – 1994. №11. С. 45-47.
4. А.С. №221152. СССР. Способ контроля равномерности воздушного зазора трехфазного асинхронного электродвигателя// Талышинский Р.И., Тер-Микаэлян А.Г. и др. Оpubл. 01.07.68.
5. А.С. №73697. СССР. Способ контроля равномерности воздушного зазора у асинхронных машин// Шкилько Г.Я. Оpubл. 31.03.49.
6. А.С. №1176275. СССР. Способ контроля неравномерности воздушного зазора асинхронного двигателя// Повстень В.А., Баранов В.В. и др. Оpubл. 30.08.85.
7. А.С. №1250998. СССР. Способ контроля неравномерности воздушного зазора асинхронного электродвигателя с трехфазной обмоткой на статоре// Повстень В.А. и Баранов В.В. Оpubл. 07.02.87.

8. А.С. №1288636. СССР. Способ контроля неравномерности воздушного зазора асинхронного двигателя// Повстень В.А. и Баранов В.В. Оpubл. 15.08.86.

9. А.С. №1065792. СССР. Способ косвенного контроля неравномерности воздушного зазора асинхронного двигателя// Рогозин Г.Г., Лапшина Н.С., Фригман А.А. Оpubл. 07.01.84.

10. А.С. №741380. СССР. Способ косвенного контроля неравномерности воздушного зазора электрической машины// Бакумов Ю.В., Малыхин Е.И., Финкельштейн В.Б., Скрыпин И.З., Леонов С.А. Оpubл. 15.06.80.

11. А.С. №541246. СССР. Способ косвенного контроля неравномерности воздушного зазора электрической машины//Месхия Г.П., Прангулаишвили Г.Д. Оpubл. 30.12.76.

12. А.С. №900226. СССР. Способ косвенного контроля неравномерности воздушного зазора асинхронного двигателя//Рогозин Г.Г., Лапшина Н.С. Оpubл. 25.01.82.

13. А.С. №1168878. СССР. Способ косвенного контроля неравномерности воздушного зазора асинхронного двигателя//Рогозин Г.Г., Пятлина Н.Г., Алексеев В.И., Лапшина Н.С., Рындин А.В. Оpubл. 23.07.85.

14. А.С. №1092437. СССР. Способ косвенного контроля неравномерности воздушного зазора электрической машины// Минаков В.Н. Оpubл. 15.05.84.

15. А.С. №1176274. СССР. Способ измерения относительного эксцентриситета электрической машины// Никиян Н.Г., Йондем М.Е. Оpubл. 30.03.85.

16. А.С. №1219989. СССР. Способ косвенного контроля неравномерности воздушного зазора электрической машины// Скрыпин И.З., Тихонравов С.Н., Финкельштейн В.Б. Оpubл. 23.03.84.

17. А.С. №1334048. СССР. Устройство для косвенного контроля неравномерности воздушного зазора электрической машины// Скрыпин И.З., Тихонравов С.Н., Финкельштейн В.Б. Оpubл. 30.08.87.

18. А.С. №813603. СССР. Устройство для косвенного контроля неравномерности воздушного зазора электрических вращающихся машин// Леонов С.А., Скрыпин И.З. и др. Оpubл. 15.03.81.

19. А.С. №1064249. СССР. Устройство для косвенного контроля неравномерности воздушного зазора электрической машины// Малыхин Е.И., Скрыпин И.З. и др. Оpubл. 30.12.83.

20. А.С. №1219990. СССР. Способ косвенного контроля неравномерности воздушного зазора электрической машины// Скрыпин И.З., Тихонравов С.Н. и др. Оpubл. 23.03.86.

21. А.С. №1314288. СССР. Способ контроля неравномерности воздушного зазора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором// Загорский А.Е., Крикунчик Г.А. и др. Оpubл. 30.05.87.

22. Subbasis N., Hamid A. Toliyat. Condition monitoring and fault diagnosis of electrical machines – a review //Electric Machines & Power Electronics Laboratory, Texas University, 1999.

Түйіндеме

Ротор эксцентриситеттің зияны көрсетілді және жағымсыз әсерлер сипатталды. Қозғалтқыштың электрлі және механикалық параметрлері бойынша эксцентриситеттің диагностикалау әдістері қарастырылды.

Кілт сөздер: асинхронды қозғалтқыш, эксцентриситет, диагностика.

Resume

Damage is shown and the negative consequences of eccentricity of rotor are described. The methods of diagnostics of eccentricity from the electrical and mechanical parameters of engine are examined.

Keywords: asynchronous motor, eccentricity, control.

ӘОЖ 621.3:581.51

КОМПРЕССОРЛЫҚ СТАНЦИЯНЫҢ БАСҚАРАУДЫҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІНІҢ РЕТТЕУІШТЕРІНІҢ ТАҢДАУЫ

А.П. Кислов, С.А. Мендыбаев, Т.А. Масакбаев

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университеті

Осымен орайлас басқару сапасына ұдайы көбеюші талаптармен технологиялық процестермен реттеуіш дұрыс таңдау маңыздылығы өседі, дәл осылай дұрыстық сияқты реттеуіш таңдауының ең үлкен экономикалық және технологиялық күшті әсер әкеледі. Автоматты реттеуіштер тағайындаумен топтастырылады, әрекет принцибіна, конструктивті ерекшеліктерге, қолданылатын энергия түріне, мінез-құлыққа реттеуіші әсер өзгертулері және т.б. [1].

Қолданылатын энергия түрімен олар подразделяются электрліктерді (электрондықтар), пневматикалық, гидравликалық, механикалық және қиыстырылғандар. Реттеуіш таңдауы қолданылатын энергия түрімен және салу объектісі мінез-құлығымен және автоматты жүйе ерекшеліктерімен анықталады.

Және салу заңымен олар бөліседі екінші - және трехпозиционные реттеуіште, типтік реттеуіштер (интеграл, пропорционалды, пропорционалды: - дифференциалды, пропорционалды-интегралдар, және пропорционалды