

конвертора позволяет точнее определить не только первую гармонику, но и высшие, а соответственно, и энергетические показатели системы электропривода.

Л и т е р а т у р а

1. Ровинский П.А. Особенности регулируемых приводов с асинхронными двигателями и тиристорными преобразователями частоты с непосредственной связью. - В сб.: Статические преобразователи в электроприводах переменного тока. Л.: Наука, 1968. 2. Павлович С.Н. Определение числа включений вентилей НПЧ в интервалах выпрямления и инвертирования. - Изв. вузов СССР. Сер. Энергетика, 1974, №6. 3. Павлович С.Н. Аналитическое определение числа включений вентилей циклоконвертора в интервалах выпрямления и инвертирования. Деп. в Информэлектро, 1978, № 39-д/1-61.

УДК 621.313.22.019.3

В.Н.Горбарук, В.С.Лившиц, О.А.Дементьев

ОПЫТ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИЧИН АВАРИЙНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

На Минском камвольном комбинате примерно через год после начала эксплуатации начали выходить из строя двигатели постоянного тока прядильных машин: наблюдался пробой изоляции обмоток якоря и возбуждения. Для выявления причин аварий проведено было исследование, результаты которого излагаются в данной статье.

Двигатель постоянного тока имеет следующие характеристики:

| | |
|---|--------|
| Номинальная мощность, кВт | - 18 |
| Номинальная частота вращения, об/мин | - 3000 |
| Наибольшее напряжение на якоре, В | - 370 |
| Наибольший ток якоря, А | - 55 |
| Класс изоляции обмоток по нагревостойкости | - Е |
| Наибольшая длительно допустимая температура обмоток, °С | - 115. |

Исполнение двигателя закрытое, охлаждение - воздушное с самовентилирующей по замкнутому циклу.

Анализ возможных причин пробоя изоляции обмоток выдвинул на первый план следующие варианты:

1) наличие заводских дефектов изоляции или ее повреждение в процессе монтажа и наладки:

2) усиленное тепловое старение изоляции вследствие недостаточного охлаждения или перегрузки двигателей.

Тщательный осмотр обмоток якоря и возбуждения на ряде двигателей не позволил обнаружить каких-либо видимых дефектов изоляции или ненормальностей в выполнении обмоток.

Одновременно было предпринято обследование теплового режима и загрузки двигателей. На двигателях наиболее загруженных прядильных машин измерение температуры обмоток якоря и возбуждения было выполнено более предпочтительным методом сопротивления, дающим среднюю температуру обмотки [1]. Оказалось, что температуры обеих обмоток приблизительно одинаковы (температура обмотки якоря на несколько градусов выше). После этого для получения надежных результатов были измерены температуры обмотки якоря на всех прядильных машинах. Эти измерения с целью снижения трудоемкости выполнялись ртутными термометрами. Температура обмотки якоря измерялась в лобовой части сразу после остановки машины. Время измерения выбиралось так, чтобы тепловой режим в двигателе заведомо установился.

Выполненные измерения показали, что нагрев обмоток двигателей всех без исключения прядильных машин значительно (на 30 - 40°С) ниже допустимого. Эти результаты находились в хорошем соответствии с измерениями загрузки двигателей по току, которая на разных машинах составила от 40 до 75% номинальной. Приведенные данные позволили исключить предположение о возможности пробоев изоляции обмоток вследствие ее теплового старения.

На следующем этапе внимание было обращено на такой фактор, как медно-угольная пыль, неизбежно образующаяся при работе машин постоянного тока вследствие износа коллектора и щеток. В исследуемом двигателе эта пыль постоянно и в возрастающем количестве циркулирует вместе с охлаждающим воздухом внутри двигателя и может влиять на изоляцию обмоток [2]. Инструкция по эксплуатации двигателя учитывала это и предусматривала очистку от пыли через каждые 6 месяцев работы.

Пыль удалялась сжатым воздухом, причем при каждой продувке выдувалось значительное количество пыли. Для исследования влияния медно-угольной пыли на качество изоляции была снижена до 1 месяца периодичность профилактических

продувки и организовано измерение сопротивления изоляции обмоток якоря и возбуждения относительно корпуса до и после продувки. Измерения проводились мегомметром на 500 В на двигателях всех прядильных машин в течение 5 месяцев.

Полученные данные подтвердили, что медно-угольная пыль оказывает воздействие на сопротивление изоляции, однако результаты этого воздействия оказались различными для разных двигателей. Так, на одном двигателе, имеющем в целом высокое сопротивление изоляции обмотки якоря, в течение трех месяцев подряд это сопротивление в результате месячной эксплуатации снижалось с 1000 до 500 МОм, а в результате продувки — снова восстанавливалось до 1000 МОм. Однако на другом двигателе сопротивление изоляции обмотки якоря в результате продувки снизилось со 150 до 100 МОм, а в результате месячной эксплуатации повысилось со 100 до 1000 МОм, т.е. в 10 раз. Подобные "нелогичные" изменения сопротивления изоляции имели место и на других двигателях. Обнаружилось также, что некоторые двигатели обладают достаточно стабильным и, как правило, высоким сопротивлением изоляции обмоток, в то время как на других двигателях это сопротивление невелико и резко колеблется.

Эти факты объясняются, с одной стороны, различной степенью защищенности обмоток против проникновения пыли, а с другой — случайным характером изменения сопротивления изоляции при попадании пыли в те или иные области обмотки. Если в процессе эксплуатации двигателя пыль будет случайно удалена охлаждающим воздухом из мест с ослабленной изоляцией, то общее сопротивление изоляции вместо ожидаемого уменьшения возрастет. И, напротив, при продувке двигателя, наряду с общим удалением пыли, возможно ее "задувание" в области с местными дефектами изоляции, в этом случае сопротивление изоляции уменьшается.

Для сравнения измерений сопротивления изоляции на различных двигателях, обладающих разным уровнем этого сопротивления, были введены два коэффициента: K_1 и K_2 .

Коэффициент K_1 характеризует изменение сопротивления изоляции обмоток в процессе эксплуатации:

$$K_1 = \frac{R_{из}(n+1)}{R_{из}(n)},$$

где $R_{из}(n)$, $R_{из}(n+1)$ — сопротивления изоляции в начале и в конце межпрофилактического периода эксплуатации.

Значения $K_1 < 1$ говорят о том, что сопротивление изоляции за период эксплуатации снизилось: $K_1 = 1$ - сопротивление изоляции не изменилось; $K_1 > 1$ - сопротивление увеличилось.

Исследования показали, что в 70% случаев в течение межпрофилактического периода эксплуатации (в среднем 1 месяц) сопротивление обмоток изменилось, причем примерно в 45% случаев оно снизилось, а в 25% - повысилось. Поскольку месячный период эксплуатации весьма невелик, то полученные данные свидетельствуют о значительной степени влияния медно-угольной пыли на сопротивление изоляции обмоток. Возрастание сопротивления изоляции в 25% случаев не может рассматриваться как положительное явление, так как вслед за увеличением сопротивления на ряде двигателей наблюдалось его резкое снижение. Удовлетворительным можно признать только такое положение, когда сопротивление изоляции стабилизируется на некотором уровне, пусть не самом высоком.

Коэффициент K_2 представляет отношение

$$K_2 = \frac{R_{из}(n)}{R_{из}(n-1)},$$

где $R_{из}(n-1)$, $R_{из}(n)$ - сопротивления изоляции обмотки до и после профилактической продувки.

Совокупность значения K_2 также показала зависимость сопротивления изоляции от медно-угольной пыли, поскольку за короткий отрезок времени, требуемый на продувку двигателя, примерно в 60% случаев, для которых $K_2 \neq 1$, сопротивление изоляции в результате удаления пыли делает скачок, иногда весьма существенный (10-, 20-кратный и более). Этот вывод становится еще более убедительным, если учесть структуру группы измерений с $K_2 = 1$. Оказалось, что 73% измерений в этой группе приходится на двигатели с сопротивлением изоляции обмотки якоря 1000 МОм. В 283 случаях из 388 сопротивление изоляции обмотки якоря в результате продувки не повысилось потому, что уже до продувки было весьма высоким (1000 МОм). Если к этим 283 продувкам прибавить 564 со значениями $K_2 > 1$, то можно сказать, что результаты 85% продувок подтверждают вывод о том, что сопротивление изоляции обмоток снижается вследствие проникновения в них пыли.

Таким образом, результаты выполненного исследования привели к выводу, что имевшие место неоднократные пробоя изоляции обмоток вызваны чрезмерным загрязнением последних медно-угольной пылью. В связи с этим происходило недопустимое снижение сопротивления изоляции вследствие образования токопроводящих мостиков и развития местных дефектов. Этот вывод был подтвержден практикой в ходе самого исследования. Систематическое измерение сопротивления изоляции обмоток позволило своевременно выявлять двигатели с ослабленной изоляцией и принимать необходимые меры (продувка, пропитка обмоток лаком) вплоть до замены двигателя. В результате такой профилактической работы выход двигателей из строя из-за пробоя изоляции обмоток вначале резко снизился, а затем и вовсе прекратился.

Достигнутый успех связан с напряженным режимом профилактического обслуживания двигателей. Поэтому в качестве кардинальных мер защиты обмоток двигателей от вредного воздействия медно-угольной пыли рекомендовано:

а) повышение стойкости обмоток к проникновению в них пыли путем пропитки обмоток лаком и дополнительной защиты лобовых частей слоем покровного лака или эмали;

б) снижение количества циркулирующей в двигателе пыли путем установки в замкнутой системе охлаждения двигателя воздушного фильтра.

Эти мероприятия не требуют конструктивных переделок двигателя и сохраняют его закрытое исполнение, что согласно ПУЭ [2] необходимо для пожароопасных помещений, каким является прядильный цех.

Воздушные фильтры с гофрированным элементом из картона ПВК (фильтрующая поверхность 2000 см^2) испытывались в течение 2 месяцев на 5 двигателях. После установки фильтров сопротивление изоляции обмоток якоря и возбуждения почти не изменялось на протяжении всего испытательного периода. В связи с ухудшением условий охлаждения температура внутри двигателей повышалась на $7 - 10^\circ$, что при имеющем место значительном недогреве обмоток вполне приемлемо.

Внедрение указанных мероприятий позволит нормализовать режим профилактического обслуживания двигателей и обеспечить их безаварийную работу.

Л и т е р а т у р а

1. Жерве Г.К. Промышленные испытания электрических машин. - Л.: Энергия, 1968.
2. Гемке Р.Г. Неисправности электрических машин. - Л.: Энергия, 1975.
3. Правила устройства электроустановок. - М.: Энергия, 1975.

УДК 62 - 83:621.313.333.072.9

Ю.Н.Петренко, В.П.Беляев, В.Г.Беккерман,
Ю.В.Черныш

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ПИТАНИИ ОТ ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Частотный электропривод с автономным инвертором напряжения (АИН) находит широкое применение в промышленности [1]. Выходное напряжение серийных преобразователей частоты с АИН имеет шестиступенчатую форму, что обусловлено однократной коммутацией тиристорov в течение периода выходного напряжения. Такие АИН можно назвать преобразователями с однократной модуляцией.

Недостатком такого электропривода, ограничивающим область его применения, является низкий диапазон регулирования частоты, поскольку минимальное ее значение составляет величину 5 Гц. В ряде производственных механизмов даже этот предел невозможен из-за неустойчивой работы электродвигателя, вызванной влиянием высших гармоник напряжения, которые приводят к появлению пульсирующих составляющих электромагнитного момента [2]. Расширение диапазона регулирования можно достичь улучшением гармонического состава напряжения. Одним из возможных путей является применение АИН с многократной модуляцией, среди которых внимание уделяется АИН с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Многообразие видов ШИМ, характеризующихся в основном различными законами распределения импульсов, вызывает необходимость исследования их влияния на электромагнитные процессы в двигателе, что в конечном итоге позволяет выбрать наиболее рациональный из них. Независимо от закона ШИМ формирование напряжения производится посредством переключения тиристорov, закон которого определяет вид ШИМ и форму фазного напряжения инвертора. При ШИМ фазное напря-