

В.Ю. Куваев, А.В. Николенко, канд. техн. наук

(Украина, Днепрпетровск, Национальная металлургическая академия Украины)

О НЕОБХОДИМОСТИ УЧЕТА РЕЖИМА НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ПАСПОРТИЗАЦИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Постановка проблемы. Наиболее распространенный электропривод переменного тока выполняется на базе трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. В настоящее время увеличение ресурса работы электродвигателей все больше и чаще реализуется через выполнение ремонтно-восстановительных работ. Так, до 20 % установленных двигателей ежегодно подвергаются ремонту; по отраслям промышленности выход из строя асинхронных двигателей характеризуются следующими показателями: горнодобывающая 29-30 %, машиностроение- 20 %, металлургия – 13 % [1].

Высокий процент выхода из строя связан не только с некачественным изготовлением или ремонтом, но и с недостаточным учетом условий эксплуатации и реальных нагрузок, которые зачастую не соответствуют заданным техническим условиям. Это особенно проявляется при случайных (стохастических) нагрузках асинхронных двигателей, которые характерны для электроприводов многих горно-рудных и строительно-отделочных машин, металлорежущих станков и др. [2]. Частые стохастические изменения нагрузочного момента вызывают непрерывные электромагнитные, механические и тепловые переходные процессы в двигателе. Вследствие этого колебания потребляемого тока, мощности, электромагнитного момента и частоты вращения также имеют случайный характер, что приводит к увеличению потерь, нагреву, ухудшению его энергетических и виброакустических показателей. Указанные факторы приводят к снижению срока службы двигателей и, в конечном итоге, являются причиной высокой аварийности. Случайный характер нагрузки должен учитываться при определении параметров асинхронного двигателя после ремонта, а также при анализе работы привода в целом.

Целью работы является установление факторов, влияющих на электрические и энергетические параметры асинхронного двигателя при случайных (стохастических) нагрузках. Учет значений реальных параметров асинхронных двигателей после ремонтно-восстановительных работ будет способствовать повышению эффективности работы электропривода, уменьшению количества его отказов и связанных с ними энергетических и ресурсных затрат.

Результаты исследований. Так как асинхронный двигатель при стохастической нагрузке работает в переходном режиме, его состояние описывается системой дифференциальных уравнений напряжений обмоток и уравнением движения вращающихся частей:

$$u = R \cdot i + \frac{d\Psi}{dt}; \Psi = L(\gamma)i$$

$$\frac{J}{p_1} \frac{d^2\gamma}{dt^2} + M_c(t) = \frac{1}{2} i_t \cdot \frac{d\Psi}{d\gamma}$$
(1)

где u, i, Ψ - матрицы напряжений, токов и потокосцеплений; $R, L(\gamma)$ - матрицы активных сопротивлений и индуктивностей; J - момент инерции ротора и сочлененных с ним перемещающихся масс; $M_c(t)$ - внешний момент нагрузки; γ - электрический угол поворота ротора; p_1 - число пар полюсов основной гармоники поля воздушного зазора; t - время и индекс транспонированной матрицы.

В зависимости от вида задачи выбирается метод исследования и допущения, после чего эти уравнения записываются в одной из рациональных систем координат (например α, β или u, v) [3].

Режим стохастической нагрузки характеризуется вероятностными характеристиками момента нагрузки (сопротивления) на валу: математическим ожиданием, дисперсией, корреляционной функцией и плотностью распределения вероятности.

В отличие от режимов S1 – S8 график случайной нагрузки не может быть выражен в виде детерминированной функции времени и для оценки теплового состояния двигателя необходимо пользоваться методами теории случайных процессов.

Для исследования работы асинхронного двигателя при стохастической нагрузке по уравнениям (1), случайная нагрузка $M_c(t)$ представляется математической моделью нагрузочного момента в виде гармонической функции со случайными аргументами, вероятностные характеристики которых адекватно отражают в пределах корреляционной теории свойства случайной функции момента нагрузки двигателя

$$M_c(t) = \langle M_c \rangle + \Delta M \cos(\omega t + \varphi)$$
(2)

В этом выражении $\langle M_c \rangle$ - математическое ожидание момента нагрузки, $\Delta M, \omega, \varphi$ - соответственно амплитуда, частота и фаза независимых случайных величин, вероятностные характеристики которых определяются вероятностными характеристиками $M_c(t)$ [4].

Такое представление стохастического момента позволяет более точно оценить параметры двигателя, в том числе его тепловое состояние, эквивалентный момент и эквивалентную мощность по сравнению с распределенным для большинства случайных процессов правилом «трех сигма». Так, в соответствии с этим правилом наибольшее значение повышения

температуры обмоток двигателя Θ , эквивалентный момент $M_{\text{экв}}$ и эквивалентная мощность $P_{\text{экв}}$ определяется следующим образом:

$$\Theta = \langle \Theta \rangle + 3\sigma_{\Theta}, M_{\text{экв}} = \sqrt{(\langle M \rangle)^2 + \sigma_M^2}, P_{\text{экв}} = \sqrt{(\langle P \rangle)^2 + \sigma_P^2}$$

где $\langle \Theta \rangle, \langle M \rangle, \langle P \rangle$ - математические ожидания соответственно превышения температуры, момента и мощности; $\sigma_{\Theta}, \sigma_M, \sigma_P$ - их среднеквадратичные отклонения.

При больших размахах колебаний случайной составляющей стохастической нагрузки относительно среднего момента первостепенное значение приобретает перегрузочная способность двигателя. В этом случае важным критерием правильности его выбора является максимальный вращающийся момент

$$M_{\text{max}} \geq M_{c.\text{max}} \quad (3)$$

Так как в режиме случайного нагружения M_{max} также представляет случайную функцию, то для того чтобы условие (3) выполнялось с большой долей вероятности, необходимо M_{max} вычислять с учетом одностороннего доверительного интервала, причем в сторону уменьшения среднего значения M_{max} :

$$M_{\text{max}} = \langle M_{\text{max}} \rangle - K \cdot \sigma_{M_{\text{max}}},$$

где K коэффициент, учитывающий тепловую инерционность двигателя, интервал корреляции и внутреннюю структуру случайного процесса изменения нагрузки.

Различные мгновенные значения случайного нагрузочного момента $M_c(t)$ приводят к колебаниям частоты вращения ротора. Для рассматриваемой математической модели нагрузочного момента (2) можно считать, что скольжение ротора S и следовательно угол качания ротора α (угол между потокосцеплениями статора Ψ_s и статора Ψ_r определяются выражениями:

$$S = S_0 + \Delta S \text{ и } \alpha = \alpha_0 + \Delta \alpha$$

где S_0 и α_0 - скольжение и угол качания, соответствующие математическому ожиданию момента нагрузки; $\Delta \alpha$ - угловые колебания ротора относительно вращающейся системы координат; $\Delta S = \Delta S_{\text{max}} \cdot \cos \nu t$; $\Delta \alpha = \Delta \alpha_{\text{max}} \cdot \sin \nu t$;

$\Delta \alpha_{\text{max}} = \frac{S_{\text{max}}}{\nu}$; ν - частота качаний.

Приращение момента при качаниях с малым углом $\Delta\alpha$

$$\Delta M = \left(\frac{\partial M}{\partial S} \right) \Delta S + \left(\frac{\partial M}{\partial \alpha} \right) \Delta \alpha$$

Как и при качаниях синхронной машины, в режиме стохастической нагрузки в асинхронном двигателе возникают демпферный и синхронизирующий моменты. Это обстоятельство следует учитывать при анализе статической и динамической устойчивости асинхронного двигателя при стохастической нагрузке.

От правильного определения параметров электродвигателя, в частности номинальной мощности, зависит надежность его работы в электроприводе и энергетические показатели в процессе эксплуатации. Если фактическая нагрузка двигателя существенно меньше номинальной он недоиспользован по мощности; это приводит к заметному снижению КПД и коэффициента мощности и следовательно к повышенным капитальным и эксплуатационным затратам. Если нагрузка двигателя превышает номинальную, это приводит к увеличению потребляемого тока и потерь мощности выше номинальных значений, вследствие чего температура отдельных частей электрической машины может превысить допустимые значения. Рост температуры выше предельно-допустимых значений приводит к резкому ускорению старения изоляции вследствие изменения её физико-технических свойств и соответственно уменьшению срока службы и надежности двигателя в целом. Очевидно, что для правильного использования двигателя после ремонтно-восстановительных работ необходимо знать зависимость нагрузки от времени, на базе которой можно рассчитать потери в его отдельных частях.

Таким образом, качественный ремонт и послеремонтная паспортизация отремонтированных асинхронных двигателей с всесторонним учетом условий эксплуатации позволяет обеспечить бесперебойную работу производственных механизмов, уменьшить расходы на их эксплуатацию и продлить срок службы.

Выводы

1. Оценка теплового состояния асинхронного двигателя при случайных нагрузках по среднему значению нагрузочного момента приводит к занижению температуры обмоток и погрешность тем больше, чем больше среднеквадратичное отклонение (дисперсия) момента сопротивления от его среднего значения (математического ожидания).

2. При установлении параметров асинхронного двигателя (в том числе после ремонтно-восстановительных работ) для работы при стохастической нагрузке необходимо учитывать вероятностные характеристики нагрузочного момента, от которых зависят аналогичные характеристики токов двигателя и превышения температуры его частей.

3. Для исследования работы двигателей со стохастической нагрузкой необходимо использовать математическую модель момента нагрузки, учитывающую внутреннюю структуру кривой момента, которая определяется видом и параметрами её корреляционной функции.

4. Статическая и динамическая устойчивость асинхронного двигателя при стохастической нагрузке определяется с учетом возникающих вследствие колебаний частоты вращения ротора демпферного и синхронизирующего моментов.

Список литературы

1. Черный А.П., Родькин Д.И., Сидоренко В.Н., Калинов А.П. Определение параметров АД по непрерывной функции тока статора с дискретным временем. Труды КГПИ «Проблемы создания новых машин и технологий», 2004 г., Вып. 3.
2. Гайдукевич В.И., Титов В.С. Случайные нагрузки силовых электроприводов. – М.: Энергоиздат, 1983. - 160 с.
3. Півняк Г.Г., Бешта О.С., Тулуб С.Б. Цифрова ідентифікація параметрів електромеханічних систем в задачах енерго- і ресурсозбереження: Монографія. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2004. – 197 с.
4. Расщепляев Ю.С., Фандиенко В.Н. Синтез моделей случайных процессов для исследования автоматических систем управления. – М.: Энергия, 1981. - 144 с.