

УДК 622.532:004.4

А.Н. Гаргаев, доцент, к.т.н. (КузГТУ)
В.Г. Каширских, профессор, д.т.н. (КузГТУ)
А.В. Нестеровский, доцент, к.т.н. (КузГТУ)
г. Кемерово

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Обеспечение промышленной безопасности является одним из основных требований при проектировании и эксплуатации технологических установок во всех отраслях промышленности. Решение этой задачи возможно на основе применения совокупности современных технических средств и организационных мероприятий.

В настоящее время промышленные технологические установки являются мощными энергетическими комплексами, в которых наряду с потоками энергии циркулируют потоки информации. Для эффективного управления, технической диагностики и защиты от аварийных режимов необходимо знание текущих значений параметров и переменных состояния характеризующих работу технологической установки, доступ к которым порой затруднен или невозможен.

Для электродвигателей такими параметрами являются активные и индуктивные сопротивления обмоток, взаимная индуктивность обмоток, момент инерции, электромагнитный момент и момент сопротивления, угловая скорость вращения. Получение данной информации в реальном времени возможно с помощью процедур динамической идентификации, выполняемых наблюдающими устройствами, работа которых базируется на использовании математической модели идентифицируемого объекта, математических методов оценивания, а также информации содержащейся в напряжениях и токах обмоток двигателя, измеряемых в процессе его работы.

Основными методами оценивания параметров динамических систем являются: метод наименьших квадратов, рекуррентный метод наименьших квадратов, фильтр Калмана, поисковые методы, эволюционные алгоритмы, методы роевого интеллекта [1-3]. В качестве математической модели электродвигателя, структура которой является необходимой априорной информацией для идентификации, в подавляющем большинстве случаев используются дифференциальные уравнения обобщенной электрической машины. Для исследования и сравнительного анализа характеристик и возможностей перечисленных методов нами была проведена серия опытов на основе компьютерного моделирования для электродвигателя постоянного тока типа П-12.

Метод наименьших квадратов (МНК) является одним из наиболее разработанных и распространенных методов оценивания. МНК минимизирует сумму квадратов значений ошибки, независимо от ее происхождения, определяемой как разность между выходными сигналами системы и ее математической модели. Анализ характеристик позволяет сделать вывод о его применимости для оценки параметров в реальном времени, однако наблюдается небольшая задержка, зависящая от частоты дискретизации, вызванная необходимостью заполнения массивов наблюдаемых переменных (100 – 500 значений). Метод обладает хорошей устойчивостью к шумам в измерительной системе, а при уровне шума до 10% погрешность определения параметров в наших исследованиях не превысила 10%.

Рекуррентный метод наименьших квадратов (РМНК) позволяет в реальном масштабе времени вычислять новую оценку параметров, если известны предыдущая оценка и ковариационная матрица ошибок оценки параметров. Анализ полученных характеристик показывает максимально высокое быстродействие метода, определяемое величиной шага дискретизации. Однако сходимость метода и его точность в значительной степени зависят от начального приближения к оцениваемым параметрам, а также от уровня зашумления измерительных данных. В статических режимах работы двигателя процесс оценки параметров является неустойчивым.

Фильтр Калмана (ФК) позволяет определить состояние системы при известной структуре ее динамической модели в условиях неполной информации и зашумленных данных. Важным достоинством фильтра Калмана является его способность одновременно с вектором параметров определять вектор состояния динамического объекта, в нашем случае это электрический ток в обмотках. Однако настройка фильтра, качество которой определяет точность оценивания параметров, является трудоемким эмпирическим процессом. Кроме того, требуется также знание ковариационных матриц погрешности измерения и возмущения, получение которых в некоторых случаях может быть затруднительным, либо оказаться неточным. В случае правильной настройки фильтр Калмана позволяет оценивать параметры двигателя в реальном времени с погрешностью до 15%.

Полный перебор (ПП) – метод решения задачи путем перебора всех комбинаций параметров в заданном диапазоне, с запоминанием тех из них, при которых ошибка будет минимальна. Время работы алгоритма полного перебора экспоненциально зависит от количества искомых параметров. Метод обладает исключительно хорошей устойчивостью к шумам в полезном сигнале, позволяет находить глобальный экстремум, однако относительно большое время оценивания (100-200 с.) затрудняет его использование в системах реального времени.

Генетический алгоритм (ГА) – это эволюционный алгоритм поиска, применяемый для решения задач оптимизации. Он позволяет находить достаточно точное решение за меньшее время, чем при использовании алго-

ритма полного перебора. Точность оценивания параметров при этом зависит от количества поколений, а также от настроек алгоритма. Время процесса оценивания параметров определяется требуемой точностью. В нашем случае оно составило около 10 с.

Метод роя частиц (МРЧ) относится к методам искусственного интеллекта. Он позволяет имитировать коллективное поведение элементов децентрализованной самоорганизующейся системы. Точность определения и время вычисления параметров ДПТ с помощью МРЧ зависит от его настроек, объема выборки измеряемых данных и диапазона поиска. При этом диапазон поиска может динамически изменяться: на первых этапах он максимальен, в дальнейшем может быть существенно сокращен, тем самым будет уменьшено время вычисления. В нашем случае время вычисления составило 1 с.

В таблице приведены результаты оценивания параметров на примере исследования модели двигателя постоянного тока типа П-12. Здесь R_a , R_b , L_a , L_b – соответственно активные и индуктивные сопротивления обмоток якоря и возбуждения.

Таблица

| | Параметры модели | МНК | РМНК | ФК | ПП | ГА | МРЧ |
|------------|------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| R_b , Ом | 185 | 185 | 189.3 | 185.72 | 189.3 | 187.8 | 185 |
| L_b , Гн | 50 | 49.91 | 46.48 | 52.66 | 50.5 | 48.38 | 50.1 |
| R_a , Ом | 3.5 | 3.5 | 3.502 | 3.589 | 3.5 | 3.501 | 3.491 |
| L_a , Гн | 0.02 | 0.0199 | 0.0202 | 0.0253 | 0.022 | 0.023 | 0.021 |

Анализ полученных результатов показывает работоспособность рассмотренных алгоритмов идентификации, при этом оценивание параметров осуществляется с допустимой для практического использования погрешностью – не более 15%. Получаемая на основе рассмотренных методов с помощью наблюдающих устройств информация может быть использована для решения задач защиты, управления, диагностики и прогноза технического состояния электродвигателей, работающих в составе технологических установок.

Для электродвигателей постоянного тока наиболее приемлемыми из рассмотренных являются алгоритмы на основе МНК и МРЧ, позволяющие сравнительно просто проводить оценивание параметров в реальном времени с достаточной для практических приложений точностью.

Список литературы:

1. Каширских В.Г. Динамическая идентификация асинхронных электродвигателей: Монография / ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2005. – 139 с.
2. Нестеровский А.В. Оперативная идентификация асинхронных электродвигателей в составе электропривода промышленных установок [текст]: Диссертация на соискание учен. степени канд. техн. наук. – Кемерово, 2005.
3. Гаргаев А.Н. Диагностика электроприводов карьерных экскаваторов на основе динамической идентификации электродвигателей [текст]: Диссертация на соискание учен. степени канд. техн. наук. – Кемерово, 2013.