

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

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА PSO ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Совершенствование электропривода является актуальной задачей, поскольку он является основным потребителем электрической энергии. Очевидно, что эффективность привода является определяющей при решении вопросов энергосбережения, ресурсосбережения и качественной реализации технологических процессов.

В настоящее время основная тенденция совершенствования электроприводов заключается в широком использовании современных технических средств и информационных технологий, позволяющих на основании получаемой от электродвигателей достоверной информации правильно управлять состоянием электроприводов для выполнения заданных технологических процессов. Для этих целей требуется проводить непрерывный во времени мониторинг параметров и переменных величин электродвигателя. Однако во время работы электродвигателя их очень трудно или невозможно измерить, поэтому возникает необходимость в косвенном нахождении этих значений на основе использования динамической идентификации [1].

Здесь рассматривается возможность применения метода роя частиц (англ. particle swarm optimization, PSO) для динамической идентификации двигателей постоянного тока (ДПТ). Метод PSO позволяет имитировать коллективное поведение элементов децентрализованной самоорганизующейся системы и относится к методам искусственного интеллекта. Он применяется для поиска приближенных численных решений сложных задач оптимизации [2-4].

Суть метода заключается в минимизации целевой функции

$F(\bar{\beta}) = \sum_{k=0}^N (I_{[k]} - I_{M[k]})^2$ с помощью взаимодействующих друг с другом элементов, так называемых частиц. Используемые обозначения: $\bar{\beta}$ – вектор параметров, N – объем выборки измеренных данных, I – измеренный ток обмотки якоря (возбуждения), I_M – смоделированный ток обмотки якоря (возбуждения), получаемый из математической модели ДПТ, представленной системой уравнений, полученных на основе теории обобщенной электрической машины.

В роли частиц в данной задаче выступают некоторые абстрактные элементы, характеризующие возможные значения параметров и переменных состояния ДПТ, которые в процессе поиска минимума целевой функции будут

определенным образом изменяться. В результате, чем меньшим будет значение целевой функции, тем ближе будут оцененные параметры к реальным.

Таким образом, поиск экстремума целевой функции производится путем целенаправленного перемещения частиц по пространству искомых параметров к оптимальным решениям. Текущее состояние каждой частицы характеризуется координатами в пространстве решений, а также вектором скорости перемещения, имеющего направление к новой, предположительно лучшей, позиции. Оба этих параметра выбираются случайным образом на этапе инициализации. Частицы обмениваются информацией друг с другом, при этом каждая частица хранит координаты лучшего из найденных ею решений, а также лучшее из найденных всеми частицами роя решений.

На каждой итерации в основном цикле обработки сначала обновляется текущая скорость каждой частицы, одновременно учитываясь ее скорость на предыдущем шаге, индивидуальная информация частицы и глобальная информация роя. Затем позиция каждой частицы обновляется с использованием значения новой скорости этой частицы:

$$\bar{v}_{i+1} = w \cdot \bar{v}_i + c1 \cdot r1 \cdot (pbest_i - x_i) + c2 \cdot r2 \cdot (gbest_i - x_i);$$

$$x_{i+1} = \bar{x}_i + \bar{v}_{i+1},$$

где \bar{v}_i – вектор текущей скорости; \bar{v}_{i+1} – вектор скорости на следующей итерации; \bar{x}_i – текущая многокоординатная позиция частицы; \bar{x}_{i+1} – многокоординатная позиция частицы на следующей итерации; w – весовой коэффициент, определяющий инерционные свойства частицы; $c1$ – весовой коэффициент, определяющий персональные свойства частицы; $c2$ – весовой коэффициент, определяющий социальные свойства частицы; $r1, r2$ – случайные переменные в диапазоне $[0,1]$.

Скорость частицы является векторной величиной, размерность которой определяется размерностью пространства поиска.

Нами была проведена проверка возможности оценивания значений параметров ДПТ с помощью метода PSO. Пространство поиска было принято двухмерным, настройка параметров алгоритма PSO производилась эмпирически. Искомыми координатами, в пространстве которых велся поиск, являлись значения электрических параметров ДПТ – активные и индуктивные сопротивления обмоток якоря и возбуждения. Для повышения производительности вычислений поиск параметров обмоток якоря и возбуждения осуществлялся раздельно.

На рис. 1 представлены зависимости сходимости вычислительного алгоритма при разных соотношениях индивидуальных и социальных весовых коэффициентов при оценивании параметров обмотки возбуждения ДПТ. В случае преобладания индивидуальных свойств частицы над социальными сходимость алгоритма имеет более плавный характер, однако при этом требуется большее число итераций, и, следовательно, больше времени на вычисления.

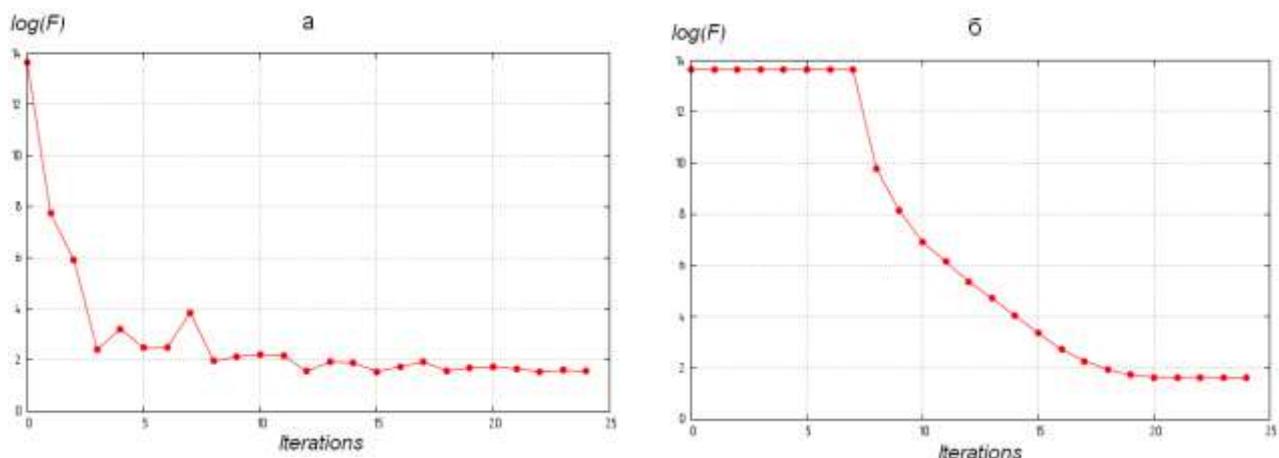


Рис. 1. Зависимость сходимости алгоритма от числа итераций:
а) $c_1=0.1, c_2=1.5$; б) $c_1=1.5, c_2=0.1$

Результаты работы алгоритма оценивания параметров при компьютерном моделировании ДПТ приведены в табл. 1, табл. 2. Значения параметров двигателя в таблице 1 получены для трех вариантов числа итераций при числе частиц роя равном 100, а в таблице 2 – для трех вариантов роя с числом итераций равном 500. Так как уравнение, описывающее электромагнитные процессы в обмотке возбуждения, значительно проще уравнения, описывающего процессы в обмотке якоря, то и время вычисления параметров обмотки возбуждения меньше относительно времени вычисления параметров обмотки якоря.

Таблица 1

Параметры	Заданные параметры	Оцененные параметры		
		Число итераций		
		100	500	1000
$R_v, \text{Ом}$	185	332	185	185
$L_v, \text{Гн}$	50	2	50.1	50.1
$R_a \sum, \text{Ом}$	3,5	3.32	3.49	3.49
$L_a \sum, \text{Гн}$	0,02	0.086	0.021	0.021

Точность определения и время вычисления параметров ДПТ зависит от настроек алгоритма, 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, при размере популяции в 100 частиц и 100 итераций, время расчета не превышало одной секунды, что

доказывает возможность использования данного метода для оперативного оценивания параметров ДПТ.

Таблица 2

Параметры	Заданные параметры	Оцененные параметры		
		Число частиц роя		
		50	100	200
R _v , Ом	185	332	185	185
L _v , Гн	50	2	50.1	50.1
R _{aΣ} , Ом	3,5	3.32	3.346	3.491
L _{aΣ} , Гн	0,02	0.086	0.016	0.021

Анализ результатов исследования показывает возможность использования метода роя частиц для оценивания параметров ДПТ с допустимой для практического использования погрешностью и подтверждает его работоспособность и эффективность. На основе данного метода можно проводить мониторинг и получать в реальном времени информацию о параметрах электродвигателя, которые могут изменяться в зависимости от режима работы и технического состояния электродвигателя. Результаты мониторинга могут быть использованы в электроприводе постоянного тока для диагностики, защиты и управления.

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.

Список литературы:

1. Каширских В.Г. Динамическая идентификация асинхронных электродвигателей: Монография / ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2005. – 139 с.
2. Hassan M. Emara, Wesam Elshamy, A. Bahgat. Parameter Identification of Induction Motor Using Modified Particle Swarm Optimization Algorithm [текст]: EEE International Symposium on Industrial Electronics Jul 2008, Cambridge, UK.
3. J. Kennedy and R. C. Eberhart, “Particle swarm optimization,” in Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Neural Networks, vol. 4, Perth, Australia, IEEE Service Center, Piscataway, NJ, 1995, pp. 1942–1948/
4. James McCaffrey Artificial Intelligence: Particle Swarm Optimization MSDN Magazine, August 2011.