

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.313-83.621.3.078.4

Е.К.Ещин

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ В УПРАВЛЕНИИ СОСТОЯНИЕМ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Решению задачи управления асинхронными электродвигателями (АД) посвящено значительное число работ. Одно из направлений построения систем управления – использование алгоритмов аналитического конструирования упомянутых систем, известных, например, как вариационное исчисление [1], принцип максимума Л.Понтрягина [2,3], достаточные условия абсолютного минимума В.Кротова [4,5] и другие.

Принцип максимума Л.С.Понтрягина базируется на использовании функции

$$H = \sum_{i=0}^n \Psi_i f^i(\mathbf{x}, \mathbf{u}),$$

где $f^i(\mathbf{x}, \mathbf{u})$, $i \in (1, n)$ – правые части системы уравнений движения объекта управления

$$\frac{dx^i}{dt} = f^i(\mathbf{x}, \mathbf{u})$$

и вспомогательной системы дифференциальных уравнений

$$\frac{d\Psi_i}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial x_i}, \quad i \in (1, n)$$

для нахождения вспомогательных переменных Ψ_i . В условиях оптимума функция H принимает максимальное значение – $\sup(H(\Psi, \mathbf{x}, \mathbf{u}))$.

Здесь $f^0(\mathbf{x}, \mathbf{u})$ – определяется целью управления – $\Theta = \inf_{\mathbf{u} \in \mathbf{U}} \int_{t_0}^t f^0(\mathbf{x}, \mathbf{u}) dt$.

В реальной задаче управления асинхронным электродвигателем с его математической моделью как объекта управления

$$\begin{aligned} \frac{d\Psi_{su}}{dt} &= U_{su} - \frac{R_s}{L_s} \Psi_{su} + \frac{R_s}{L_s} k_r \Psi_{ru} + \\ &+ \omega_n \Psi_{sv} \div f^1, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d\Psi_{sv}}{dt} &= U_{sv} - \frac{R_s}{L_s} \Psi_{sv} + \frac{R_s}{L_s} k_r \Psi_{rv} - \\ &- \omega_n \Psi_{su} \div f^2, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d\Psi_{ru}}{dt} &= U_{ru} - \frac{R_r}{L_r} \Psi_{ru} + \frac{R_r}{L_r} k_s \Psi_{su} + \\ &+ (\omega_n - p\omega) \Psi_{rv} \div f^3, \\ \frac{d\Psi_{rv}}{dt} &= U_{rv} - \frac{R_r}{L_r} \Psi_{rv} + \frac{R_r}{L_r} k_s \Psi_{sv} - \\ &- (\omega_n - p\omega) \Psi_{ru} \div f^4, \end{aligned}$$

$$\frac{d\omega}{dt} = J^{-1} (M - M_c) \div f^5,$$

$$M = \frac{3}{2} p \frac{k_r}{L_s} (\Psi_{ru} \Psi_{sv} - \Psi_{su} \Psi_{rv})$$

где Ψ с индексами su , sv , ru , rv – составляющие потокосцеплений статора и ротора (Ψ_s, Ψ_r) в синхронной системе u, v – **фазовые координаты**; U с индексами su , sv , ru , rv – напряжения статора и ротора – **управляющие воздействия**; R_s , R_r – активные сопротивления обмоток статора и ротора; L_s , L_r – переходные индуктивности статора и ротора; k_s, k_r – коэффициенты электромагнитной связи; ω_n , $p\omega$ – электрические угловые скорости вращения поля статора и ротора (ω – фазовая координата); p – число пар полюсов; M , M_c – вращающий момент АД и момент сопротивления на валу ротора; J – приведенный момент инерции вращающихся масс, и

$$f^0(\Psi_s, \Psi_r) = \left(M_z - \frac{3}{2} p \frac{k_r}{L_s} (\Psi_{ru} \Psi_{sv} - \Psi_{su} \Psi_{rv}) \right)^2$$

(здесь M_z – необходимое значение вращающего момента) функция H запишется для АД с короткозамкнутым ротором

$$\begin{aligned} H &= \Psi_1 \left(U_{su} - \frac{R_s}{L_s} \Psi_{su} + \frac{R_s}{L_s} k_r \Psi_{ru} + \omega_n \Psi_{sv} \right) + \\ &+ \Psi_2 \left(U_{sv} - \frac{R_s}{L_s} \Psi_{sv} + \frac{R_s}{L_s} k_r \Psi_{rv} - \omega_n \Psi_{su} \right) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \Psi_3 \left(-\frac{R_r}{L_r} \Psi_{ru} + \frac{R_r}{L_r} k_s \Psi_{su} + (\omega_n - p\omega) \Psi_{rv} \right) + \\
& + \Psi_4 \left(-\frac{R_r}{L_r} \Psi_{rv} + \frac{R_r}{L_r} k_s \Psi_{sv} - (\omega_n - p\omega) \Psi_{ru} \right) + \\
& + \Psi_5 \left(\frac{3}{2} p \frac{k_r}{L_s} (\Psi_{ru} \Psi_{sv} - \Psi_{su} \Psi_{rv}) - M_c \right) + \\
& + \Psi_0 \left(M_z - \frac{3}{2} p \frac{k_r}{L_s} (\Psi_{ru} \Psi_{sv} - \Psi_{su} \Psi_{rv}) \right)^2.
\end{aligned}$$

Система

$$\frac{d\Psi_i}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial x_i}, \quad i \in (1, n)$$

при этом будет выглядеть так:

$$\begin{aligned}
\frac{d\Psi_1}{dt} &= -\frac{\partial H}{\partial \Psi_{su}} = -\Psi_1 \left(-\frac{R_s}{L_s} \right) - \Psi_2 (-\omega_n) - \\
& - \Psi_3 \left(\frac{R_r}{L_r} k_s \right) - \Psi_5 \left(\frac{3}{2} p \frac{k_r}{L_s} (-\Psi_{rv}) \right) - \\
& - \Psi_0 (M_z - M) \left(-\frac{3}{2} p \frac{k_r}{L_s} (-\Psi_{rv}) \right), \\
\frac{d\Psi_2}{dt} &= -\frac{\partial H}{\partial \Psi_{sv}} = -\Psi_1 (\omega_n) - \Psi_2 \left(-\frac{R_s}{L_s} \right) - \\
& - \Psi_4 \left(\frac{R_r}{L_r} k_s \right) - \Psi_5 \left(\frac{3}{2} p \frac{k_r}{L_s} (\Psi_{ru}) \right) - \\
& - \Psi_0 (M_z - M) \left(-\frac{3}{2} p \frac{k_r}{L_s} (\Psi_{ru}) \right)
\end{aligned}$$

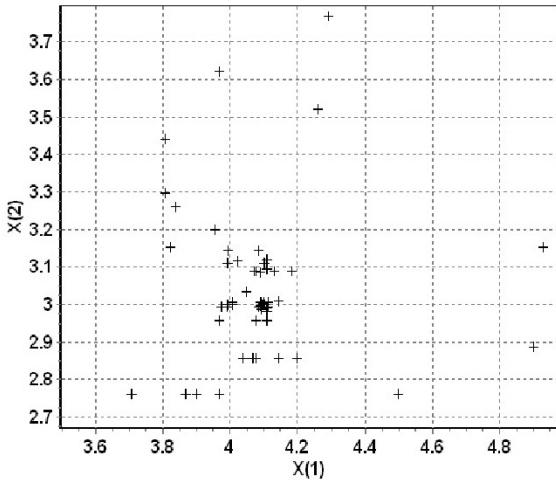


Рис. 2 Значения переменных тестовой функции при их поиске методом дифференциальной эволюции

$$\begin{aligned}
\frac{d\Psi_3}{dt} &= -\frac{\partial H}{\partial \Psi_{ru}} = -\Psi_1 \left(\frac{R_s}{L_s} k_r \right) - \Psi_3 \left(-\frac{R_r}{L_r} \right) - \\
& - \Psi_4 (-(\omega_n - p\omega)) - \Psi_5 \left(\frac{3}{2} p \frac{k_r}{L_s} (\Psi_{sv}) \right) - \\
& - \Psi_0 (M_z - M) \left(-\frac{3}{2} p \frac{k_r}{L_s} (\Psi_{sv}) \right),
\end{aligned}$$

$$\frac{d\Psi_4}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial \Psi_{rv}} = -\Psi_2 \left(\frac{R_s}{L_s} k_r \right) - \Psi_3 ((\omega_n - p\omega)) -$$

$$\begin{aligned}
& - \Psi_4 \left(-\frac{R_r}{L_r} \right) - \Psi_5 \left(\frac{3}{2} p \frac{k_r}{L_s} (-\Psi_{su}) \right) - \\
& - \Psi_0 (M_z - M) \left(-\frac{3}{2} p \frac{k_r}{L_s} (-\Psi_{su}) \right),
\end{aligned}$$

$$\frac{d\Psi_5}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial \omega} = -\Psi_3 ((-p)\Psi_{rv}) - \Psi_4 ((-(-p)\Psi_{ru})).$$

Понятно, что **аналитическое** решение этой системы требует определенных усилий.

Вместе с тем – нахождение такого вида решения не обязательно, если мы будем располагать эффективными средствами поиска экстремума функции многих переменных H .

В реальной системе управления АД для каждого измеренного (вычисленного) значения фазовых координат можно возможно **численное** нахождение значений Ψ_i и значений управляющих воздействий U_{su} , U_{sv} , при которых обеспечивается $\sup(H(\Psi, x, u))$.

В задаче управления состоянием АД (обеспечение необходимого значения врачающего мо-

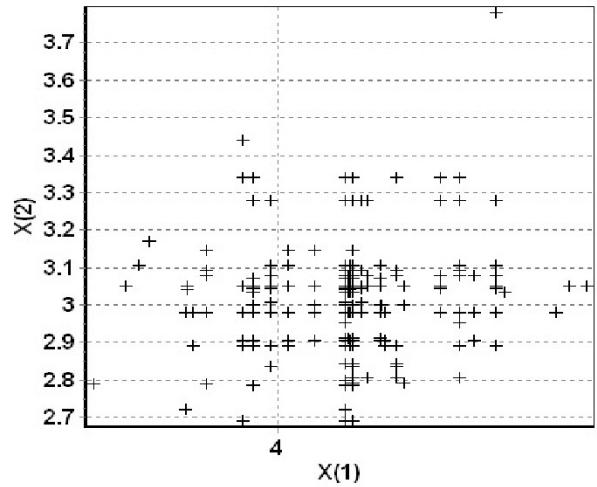


Рис. 2 Значения переменных тестовой функции При их поиске при помощи генетического алгоритма

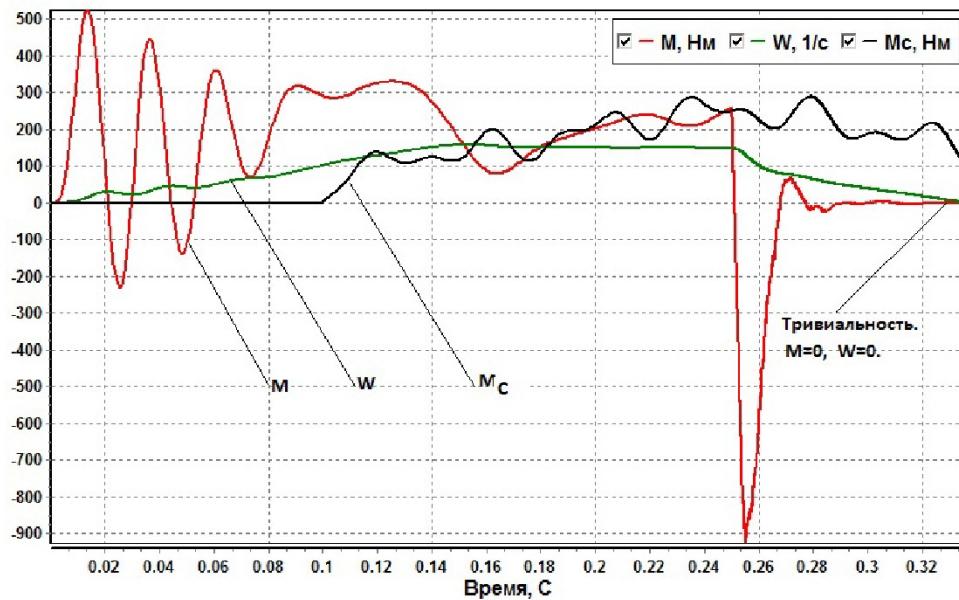


Рис. 4 Тривиальность решения при управлении состоянием АД на основе DE

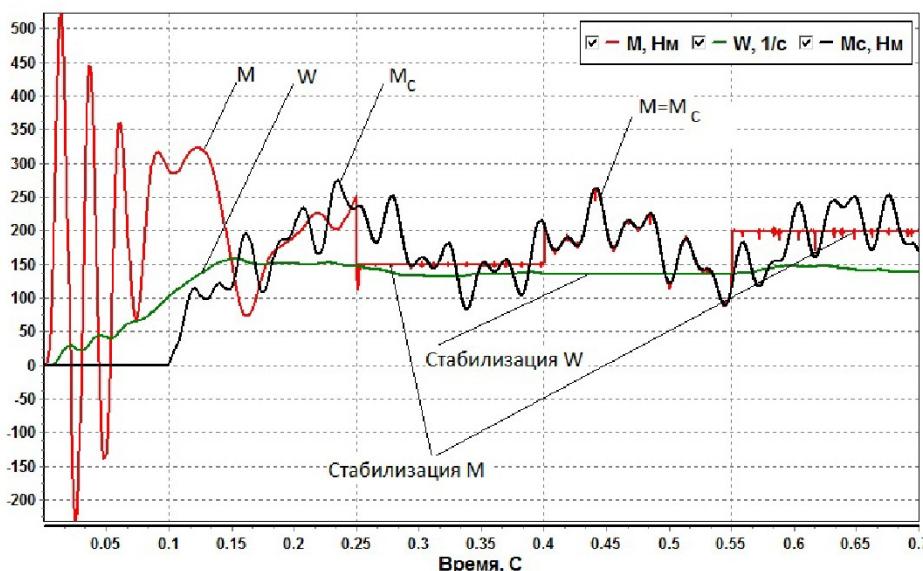


Рис. 4 Результат использования DE при управлении состоянием АД

мента M_z) можно воспользоваться **методом дифференциальной эволюции** (Differential Evolution) [6,7], который является надежным и быстрым (...reliable and fast [6]) средством нахождения условий обеспечения экстремумов функций многих переменных.

Эффективность метода дифференциальной эволюции (DE) очевидна, если сравнить его классический вариант с классическим генетическим алгоритмом (см. рис.1, 2) при нахождении экстремума тестовой функции двух переменных с их значениями $x(1)=4.1, x(2)=3$.

Нужно отметить эффективность применения DE для решения задачи идентификации параметров АД [6].

Для решения используем алгоритм Р.Сторна (R. Storn, Differential Evolution for MATLAB, International Computer Science Institute (ICSI)) адаптируя его к системе быстрой разработки программ Delphi.

Прямое использование DE для максимизации функции H дает тривиальный результат (рис. 3), о возможности получения которого упомянуто в [2,3].

Тривиальность свидетельствует о принадлежности задачи управления АД к классу некорректных задач [9] и требует проведения регуляризации.

После регуляризации получаем приемлемый вариант – рис. 4.

Таким образом, **использование дифференциальной эволюции упрощает применение методов оптимального управления [2-5]** при по-

строении систем управления асинхронными электродвигателями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Янг Л. Лекции по вариационному исчислению и теории оптимального управления. – М.: Мир, 1974. -488 с.
2. Понtryгин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкrelidze Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. – М.: Наука, 1976. -392 с.
3. Болтянский В.Г. Математические методы оптимального управления.- М.: Наука, 1968. -408 с.
4. Кротов В.Ф., Гурман В.И. Методы и задачи оптимального управления. - М.: Наука, 1973. -446 с.
5. Кротов В.Ф., Букреев В.З., Гурман В.И. Новые методы вариационного исчисления в динамике полета. -М.:Машиностроение,1969. -288 с.
6. Kenneth V. Price, Rainer M. Storn, Jouni A. Lampinen. Differential Evolution. A Practical Approach to Global Optimization. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005. -537 pages.
7. Vitaliy Feoktistov. Differential evolution. In Search of Solutions. Springer Science+Business Media, LLC, 2006. - 200 pages.
8. Bidyadhar Subudhi, Debasish Jena. Differential evolution computation applied to parameter estimation of induction motor / Archives of Control Sciences, Volume 19(LV) No. 1, 2009. P. 5–26.
9. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1979. -284 с.

Автор статьи:

Ещин
Евгений Константинович,
докт. техн. наук,
профессор каф. прикладных
информационных
технологий КузГТУ.
Email: eke@kuzstu.ru

УДК 621.867:621.313

Е.В. Пугачев, М.В. Кипервассер, Д.С. Аниканов

КОНТРОЛЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА ПОСРЕДСТВОМ РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Конвейерно-транспортные машины различной мощности, производительности и протяженности являются одним из основных видов грузового транспорта на угольных шахтах и предприятиях по переработке полезных ископаемых (угольных и рудных обогатительных фабриках, металлургических заводах и др.). От надежной, ритмичной и безотказной работы этих механизмов напрямую зависят производительность и экономические показатели работы предприятия в целом.

Работа узлов и агрегатов конвейерных линий сопровождается воздействием значительных механических нагрузок. В большинстве случаев эти нагрузки являются расчетными, но даже в этом случае их постоянное воздействие приводит к постепенному износу и в конечном итоге выходу механизма из строя по тем или иным причинам. Сами эти причины весьма разнообразны. Слож-

ность и тяжесть повреждения определяет продолжительность простоя оборудования, затраты на ремонт, размер ущерба. В этой связи защита механизмов от опасных режимов работы и своевременная диагностика возникающих неисправностей является одним из условий бесперебойной работы агрегатов и предприятия в целом.[1]

Важно отметить, что во многих случаях конвейерные механизмы в течение эксплуатационных периодов работают без наблюдения персонала, либо его количество мало по сравнению с количеством обслуживаемого оборудования. По этой причине сами аварии выявляются несвоевременно, а их характер определяется зачастую неверно, что увеличивает потери производства. Поэтому своевременное и точное определение места и характера повреждения технологического оборудования является актуальной задачей. В условиях