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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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; $\omega_n,\ p\omega$ - 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

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

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

$$H = \Psi_1\left(U_{su} - \frac{R_s}{L_s^{'}}\Psi_{su} + \frac{R_s}{L_s^{'}}k_r\Psi_{ru} + \omega_n\Psi_{sv}\right) +$$

$$+\Psi_2\left(U_{sv} - \frac{R_s}{L_s^{'}}\Psi_{sv} + \frac{R_s}{L_s^{'}}k_r\Psi_{rv} - \omega_n\Psi_{su}\right) +$$

$$+\Psi_3\left(-\frac{R_r}{L_r'}\Psi_{ru}+\frac{R_r}{L_r'}k_s\Psi_{su}+(\omega_n-p\omega)\Psi_{rv}\right)+$$

$$+\Psi_4\left(-\frac{R_r}{L_r'}\Psi_{rv}+\frac{R_r}{L_r'}k_s\Psi_{sv}-(\omega_n-p\omega)\Psi_{ru}\right)+$$

$$+\Psi_5\left(\frac{3}{2}p\frac{k_r}{L_s'}\left(\Psi_{ru}\Psi_{sv}-\Psi_{su}\Psi_{rv}\right)-M_c\right)+$$

$$+\Psi_0\left(M_z-\frac{3}{2}p\frac{k_r}{L_s'}\left(\Psi_{ru}\Psi_{sv}-\Psi_{su}\Psi_{rv}\right)\right)^2.$$

Система

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

при этом будет выглядеть так:

$$\frac{d\Psi_1}{dt}=-\frac{\partial H}{\partial\Psi_{su}}=-\Psi_1\left(-\frac{R_s}{L_s'}\right)-\Psi_2\left(-\omega_n\right)-$$

$$-\Psi_3\left(\frac{R_r}{L_r'}k_s\right)-\Psi_5\left(\frac{3}{2}p\frac{k_r}{L_s'}\left(-\Psi_{rv}\right)\right)-$$

$$-\Psi_0\left(M_z-M\right)\left(-\frac{3}{2}p\frac{k_r}{L_s'}\left(-\Psi_{rv}\right)\right),$$

$$\frac{d\Psi_2}{dt}=-\frac{\partial H}{\partial\Psi_{sv}}=-\Psi_1\left(\omega_n\right)-\Psi_2\left(-\frac{R_s}{L_s'}\right)-$$

$$-\Psi_4\left(\frac{R_r}{L_r'}k_s\right)-\Psi_5\left(\frac{3}{2}p\frac{k_r}{L_s'}\left(\Psi_{ru}\right)\right)-$$

$$-\Psi_0\left(M_z-M\right)\left(-\frac{3}{2}p\frac{k_r}{L_s'}\left(\Psi_{ru}\right)\right)$$

$$\frac{d\Psi_3}{dt}=-\frac{\partial H}{\partial\Psi_{ru}}=-\Psi_1\left(\frac{R_s}{L_s'}k_r\right)-\Psi_3\left(-\frac{R_r}{L_r'}\right)-$$

$$-\Psi_4\left(-\left(\omega_n-p\omega\right)\right)-\Psi_5\left(\frac{3}{2}p\frac{k_r}{L_s'}\left(\Psi_{sv}\right)\right)-$$

$$-\Psi_0\left(M_z-M\right)\left(-\frac{3}{2}p\frac{k_r}{L_s'}\left(\Psi_{sv}\right)\right),$$

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

$$-\Psi_4\left(-\frac{R_r}{L_r'}\right)-\Psi_5\left(\frac{3}{2}p\frac{k_r}{L_s'}\left(-\Psi_{su}\right)\right)-$$

$$-\Psi_0\left(M_z-M\right)\left(-\frac{3}{2}p\frac{k_r}{L_s'}\left(-\Psi_{su}\right)\right),$$

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

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 $\sup\left(H\left(\Psi,x,u\right)\right)$.

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

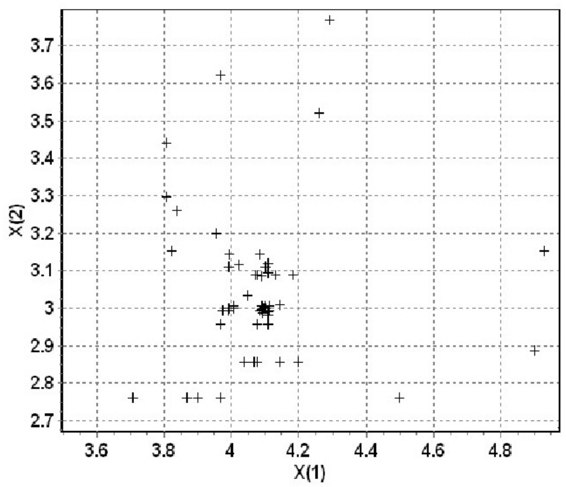

Рис. 2 Значения переменных тестовой функции при их поиске методом дифференциальной эволюции

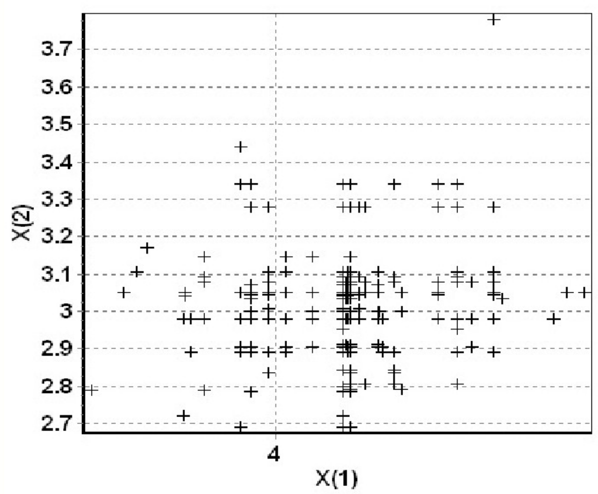

Рис. 2 Значения переменных тестовой функции При их поиске при помощи генетического алгоритма

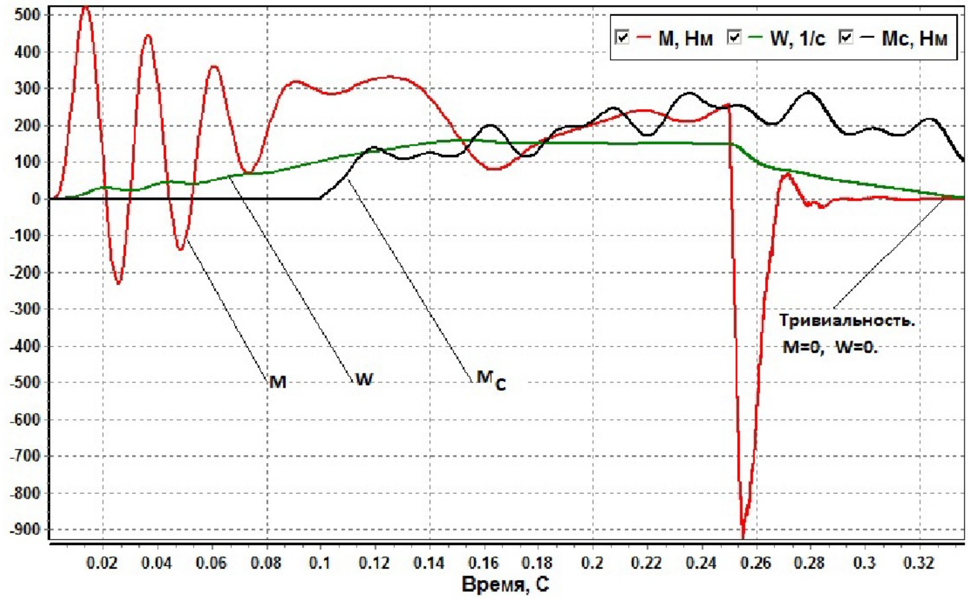

Рис. 4 Тривиальность решения при управлении состоянием АД на основе DE

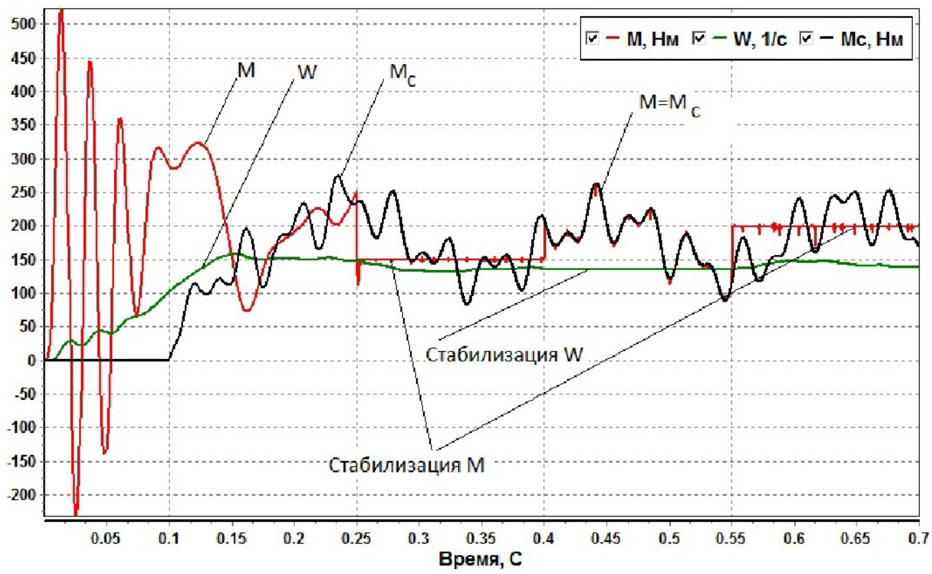

Рис. 4 Результат использования DE при управлении состоянием АД

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)) адаптировав 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 построении систем управления асинхронными электродвигателями.**

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Янг Л.* Лекции по вариационному исчислению и теории оптимального управления. – М.: Мир, 1974. -488 с.
2. *Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе 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, Debashisha 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. Сложность 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