ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

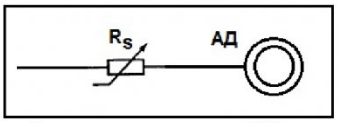
УДК 622:621.313-83

Е.К.Ещин

ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ ПУСКА

Проблема пуска асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором очевидна со времени его создания. Многочисленные способы описания и устранения негативных процессов, сопровождающих процесс пуска этого АД – также давно известны [1÷5].

Рассмотрим еще одну возможность активного влияния на процесс пуска АД. Именно - изменением величины суммарного активного сопротивления в цепи статора (R_s), т.е. возможность по рисунку:



Состояние (терминология по [6]) асинхронного электродвигателя (АД) будем описывать системой дифференциальных связей (1), определяющих характер изменения фазовых координат с выделением в них управляющего воздействия - R_s.

$$\left.\begin{aligned}
\frac{d\Psi_{su}}{dt} &= U_{su} - \frac{R_s}{L_s'}\Psi_{su} + \frac{R_s}{L_s'}k_r\Psi_{ru} + \omega_n\Psi_{sv},\\
\frac{d\Psi_{sv}}{dt} &= U_{sv} - \frac{R_s}{L_s'}\Psi_{sv} + \frac{R_s}{L_s'}k_r\Psi_{rv} - \omega_n\Psi_{su},\\
\frac{d\Psi_{ru}}{dt} &= -\frac{R_r}{L_r'}\Psi_{ru} + \frac{R_r}{L_r'}k_s\Psi_{su} + (\omega_n - p\omega)\Psi_{rv},\\
\frac{d\Psi_{rv}}{dt} &= -\frac{R_r}{L_r'}\Psi_{rv} + \frac{R_r}{L_r'}k_s\Psi_{sv} - (\omega_n - p\omega)\Psi_{ru}.
\end{aligned}\right\}$$

Аргументом или возмущающим воздействием будем считать угловую скорость вращения ротора (ω). Это допустимо, если цель управления будет связана исключительно с состоянием только двигателя.

Здесь параметры, начинающиеся с R и индексами s, r - активные сопротивления обмоток статоров и роторов АД, L'_s, L'_r – переходные индуктивности статора и ротора, k_r, k_s – коэффициенты электромагнитной связи, p - число пар полюсов, ω- геометрическая угловая скорость вращения ротора электродвигателя, Ψ_s, Ψ_r с индексами u, v, - составляющие потокосцеплений статора и ротора по осям системы координат, U_s – с индексами координатной системы - составляющие напряжения статора.

Сформулируем задачу управления АД как задачу минимизации некоторого функционала, записанного в интегральной форме и выражающего цель управления:

$$J = \int_0^t (M_n - M)^2 dt,$$

где M_n, M - необходимое и текущее значения электромагнитного момента АД. Необходимое значение электромагнитного момента можно задавать, например, выражением, определяющим естественную механическую характеристику АД по уточненной формуле Клосса.

Условие введения управления со стороны статора требует или наличия в подынтегральной функции информации о состоянии статора, или присутствия управлений, или того и другого вместе. В противном случае следует ожидать аналитической неразрешимости задачи.

Решение можно получить на основе достаточных условий абсолютного минимума [7]. При этом требуется образование вспомогательной функции:

$$\begin{aligned}
&R(\Psi_s, \Psi_r, R_s, t) =\\
&= \frac{\partial\varphi}{\partial\Psi_{su}}\left(U_{su} - \frac{R_s}{L_s'}\Psi_{su} + \frac{R_s}{L_s'}k_r\Psi_{ru} + \omega_n\Psi_{sv}\right) +\\
&+ \frac{\partial\varphi}{\partial\Psi_{sv}}\left(U_{sv} - \frac{R_s}{L_s'}\Psi_{sv} + \frac{R_s}{L_s'}k_r\Psi_{rv} - \omega_n\Psi_{su}\right) +\\
&+ \frac{\partial\varphi}{\partial\Psi_{ru}}\left(U_{ru} - \frac{R_r}{L_r'}\Psi_{ru} + \frac{R_r}{L_r'}k_s\Psi_{su} + (\omega_n - p\omega)\Psi_{rv}\right) +\\
&+ \frac{\partial\varphi}{\partial\Psi_{rv}}\left(U_{rv} - \frac{R_r}{L_r'}\Psi_{rv} + \frac{R_r}{L_r'}k_s\Psi_{sv} - (\omega_n - p\omega)\Psi_{ru}\right) -\\
&- (M_n - M)^2 + \frac{\partial\varphi}{\partial t}.
\end{aligned}$$

где $\varphi = \varphi(t, \Psi_S, \Psi_r)$ - некоторая произвольная функция фазовых координат и времени.

Для задач с подвижной границей, к которым относится и рассматриваемая нами задача, условие абсолютного экстремума записывается в виде

$$\sup_{\forall(R_S) \in A} R(\Psi_S, \Psi_r, R_S) \equiv 0,$$

где A - область допустимых значений управлений R_S.

Поскольку задача оптимального управления считается математически решенной до конца, если управление оказывается найденным в функции параметров состояния объекта (АД) [6], потребуем от φ независимости от времени, т.е. $\partial\varphi/\partial t = 0$.

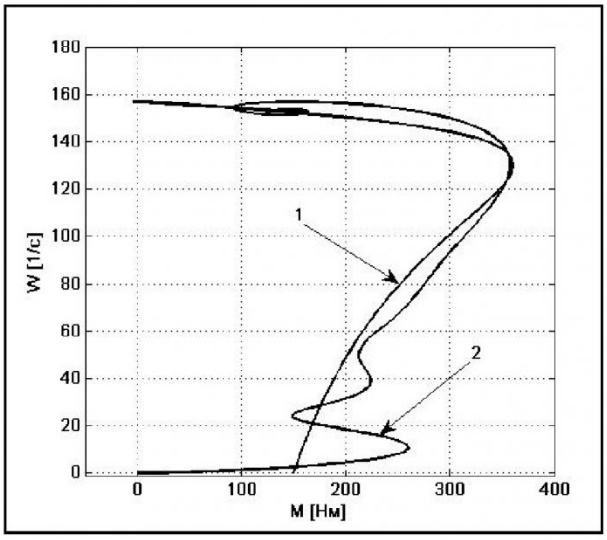


Рис. 1 Естественная (1) и динамическая (2) механические характеристики АД ВРП160М4 при пуске изменением величины суммарного активного сопротивления в цепи статора

Кроме того, необходимыми условиями максимума $R(\Psi_S, \Psi_r, R_S, t)$ будут являться требования

$$\frac{\partial R(\Psi_S, \Psi_r, R_S, t)}{\partial R_S} = 0,$$

$$\frac{\partial R(\Psi_S, \Psi_r, R_S, t)}{\partial U_{ru}} = 0,$$

$$\frac{\partial R(\Psi_S, \Psi_r, R_S, t)}{\partial U_{rv}} = 0,$$

$$\frac{\partial R(\Psi_S, \Psi_r, R_S, t)}{\partial \Psi_{su}} = 0,$$

$$\frac{\partial R(\Psi_S, \Psi_r, R_S, t)}{\partial \Psi_{sv}} = 0,$$

$$\frac{\partial R(\Psi_S, \Psi_r, R_S, t)}{\partial \Psi_{ru}} = 0,$$

$$\frac{\partial R(\Psi_S, \Psi_r, R_S, t)}{\partial \Psi_{rv}} = 0 \qquad (1)$$

Из 2-го и 3-го соотношения последней совокупности связей следует:

$$\frac{\partial\varphi}{\partial\Psi_{ru}} = 0, \quad \frac{\partial\varphi}{\partial\Psi_{rv}} = 0,$$

что уменьшает размер аналитической конструкции $R(\Psi_S, \Psi_r, R_S, t) =$

$$= \frac{\partial\varphi}{\partial\Psi_{su}}\left(U_{su} - \frac{R_S}{L_S'}\Psi_{su} + \frac{R_S}{L_S'}k_r\Psi_{ru} + \omega_n\Psi_{sv}\right) +$$

$$+ \frac{\partial\varphi}{\partial\Psi_{sv}}\left(U_{sv} - \frac{R_S}{L_S'}\Psi_{sv} + \frac{R_S}{L_S'}k_r\Psi_{rv} - \omega_n\Psi_{su}\right) -$$

$$-\left(M_n - M\right)^2.$$

Из 6-го требования условий (1) видно, что:

$$\frac{\partial}{\partial\Psi_{ru}}R(\Psi_S, \Psi_r, R_S, t) = = \frac{\partial^2\varphi}{\partial\Psi_{su}\partial\Psi_{ru}}$$

$$\left(U_{su} - \frac{R_S}{L_S'}\Psi_{su} + \frac{R_S}{L_S'}k_r\Psi_{ru} + \omega_n\Psi_{sv}\right) +$$

$$+ \frac{\partial\varphi}{\partial\Psi_{su}}\frac{R_S}{L_S'}k_r + \frac{\partial^2\varphi}{\partial\Psi_{sv}\partial\Psi_{ru}} \times$$

$$\times\left(U_{sv} - \frac{R_S}{L_S'}\Psi_{sv} + \frac{R_S}{L_S'}k_r\Psi_{rv} - \omega_n\Psi_{su}\right) -$$

$$-\frac{\partial}{\partial\Psi_{ru}}\left(M_n - M\right)^2 = 0.$$

Отсюда получаем

$$\frac{\partial\varphi}{\partial\Psi_{su}} = \frac{3p}{R_s}(M_n - M)\Psi_{sv}.$$

Аналогично для

$$\frac{\partial\varphi}{\partial\Psi_{sv}} = -\frac{3p}{R_s}(M_n - M)\Psi_{su}.$$

Использование этих выражений во вспомогательной функции $R(\Psi_S, \Psi_r, R_S, t)$ определяет правило формирования суммарной величины активного сопротивления статорной цепи АД при

пуске

$$R_s = 3p\frac{\left(U_{su}\Psi_{sv} - U_{sv}\Psi_{su} + \omega_n \Psi^2{}_s\right)}{\left(M_n + M\right)}. \quad (2)$$

Реализация (2) при задании M_n уточненной формулой Клосса – на рис. 1.

.

Таким образом, реализация (2) представляет собой требуемый конечный результат, определяющий практическую ликвидацию пульсаций электромагнитного момента АД в режиме пуска

.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Копылов И.П.* Исследование на АВМ влияния параметров на процессы пуска и реверса асинхронных двигателей [Текст]: / Копылов И.П., Гопал Радж Шекар // Электротехника. -1970. -N8. -С.14-16.

2. *Петров Л.П.* Управление пуском и торможением асинхронных электродвигателей [Текст]: / Л.П.Петров //-М.: Энергоатомиздат,1981. -184 с.

3. *Гринберг Я.П.* Исследование режимов пуска электродвигателей угольных комбайнов [Текст]:/ Я.П. Гринберг //Уголь. -1990. -N5. -С.33-34.

4. Способ пуска асинхронного электродвигателя [Текст]: // пат. 2235410 Рос.Федерация С1 RU, МПК7 Н 02 Р 1/26 / Е.К.Ещин, И.А.Соколов, В.Г.Каширских, В.Л.Иванов, Д.В.Соколов; заявитель и патентообладатель Кузбасский гос.техн.ун-т № 2003100098; Заяв.04.01.2003; Опубл.27.08.2004. Бюл. № 24.

5. Starting Method for Induction Motors (http://uotechnology.edu.iq/dep-eee / lectures / 3rd / Communication / machine / PART%202.pdf)

6. *Понтрягин Л.С.* Математическая теория оптимальных процессов [Текст]: /Л.С.Понтрягин, В.Г. Болтянский, Р.В.Гамкрелидзе, Е.Ф. Мищенко // -4-е изд. -М.: Наука,1983. -392 с.

7. *Кротов В.Ф,* Методы и задачи оптимального управления [Текст]: / В.Ф. Кротов, В.И. Гурман // -М.: Наука,1973. -446 с.

Автор статьи

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