УДК 622:621.313-83

И.А.Соколов

ЗАДАЧА ДИСКРЕТНОГО УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ ПУСКА

Динамические режимы асинхронного электродвигателя(АД), находящегося в режиме неуправляемого пуска, являются общеизвестной проблемой, для решения которой использовались различные инструменты первоначального снижения напряжения питания статорных обмоток [1-5].

Законы управления и элементная база, способная реализовать эти законы, эволюционировала от примитивных дросселей и контакторов, переключавших схемы соединения статорных обмоток, до сложнейших законов управления, построенных на основе достаточных условий абсолютного минимума Кротова [6], рассчитанных с использованием численных методов, реализуемых с помощью ЭВМ [7]. Следует отметить, что современные законы управления, такие как [7] и более широко распространенные, используемые в устройствах, называемых софтстартерами, используют в подавляющем большинстве, полупроводниковые ключи, работающие в дискретном режиме.

Закон управления пуском АД, построенный на основе достаточных условий абсолютного минимума Кротова по [7], позволяет получить оптимальную динамическую характеристику пуска АД изменением активного сопротивления статорной цепи. При этом величина активного сопротивления в статорной цепи должна меняться в соответствии с

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

Важно отметить, что такой вариант управления пуском может быть инструментально реализован различными способами формирования нужного значения активного сопротивления статорной цепи.

Амплитудное значение питающего напряжения, подаваемого на статорные обмотки в процессе пуска указанным способом [7], а также другие ключевые характеристики состояния АД, такие как амплитудное значение тока статорной цепи, угловая скорость вращения ротора и значение электромагнитного момента, можно увидеть на рис. 1.

Поскольку в подавляющем большинстве активное сопротивление статорной обмотки формируется посредством включения или исключения дополнительного активного сопротивления, а коммутация происходит посредством дискретных ключей, таких как тиристоры и семисторы, имеет смысл рассмотреть частный, более узкий способ формирования активного сопротивления статорной цепи для эффективного процесса пуска АД.

Используя, систему классических дифференциальных уравнений движения, описывающих состояние АД, известных как уравнение Парка-Горева. и повторяя алгоритм получения вспомогательной функции $R(\Psi_s, \Psi_r, R_s, t)$, определяющей правило формирования суммарной величины активного сопротивления статорной цепи АД при пуске по [7], возможно использовать не достаточные условия абсолютного минимума Кротова [6], а применимый, в том числе для дискретных состояний, принцип максимума Понтрягина [8]. В

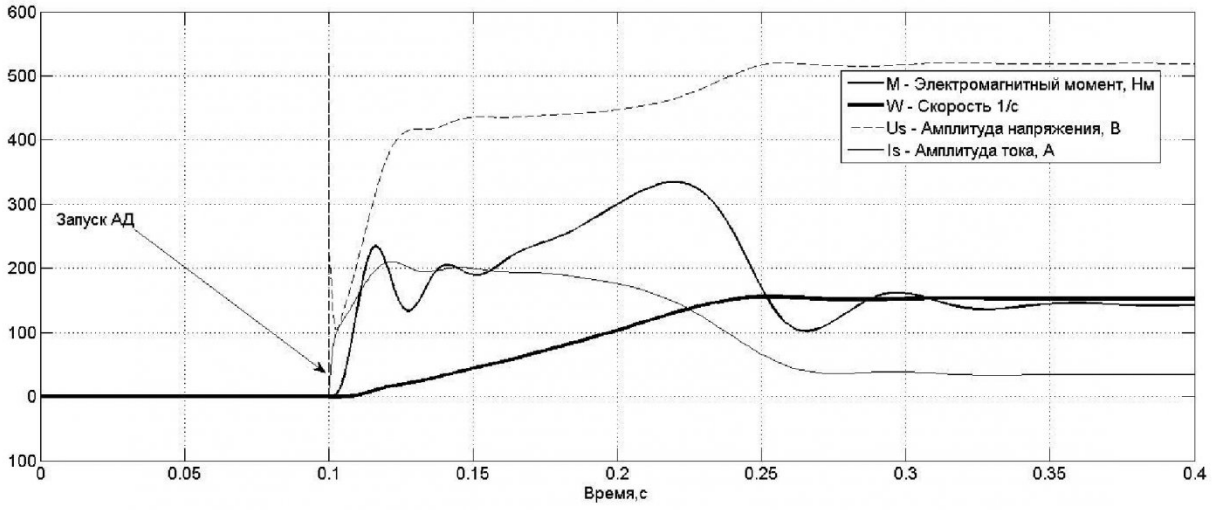

Рисунок 1 Динамические характеристики АД ВРП160М4 при пуске изменением величины суммарного активного сопротивления в цепи статора

этом случае правила формирования оптимальных значений активных сопротивлений в статорной цепи АД определятся следующей совокупностью

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

Таким образом, реализуется задача дискретного управления пуском асинхронного электродвигателя следующим образом: в статорные обмотки электродвигателя включают активное сопротивление, значение которого можно изменять последовательно, включая или отключая полупроводниковыми ключами сегменты активного сопротивления в соответствии с формулой

$$R_s = \begin{cases} R_{s\max} & \text{если} \quad \dfrac{-3p(M_n - M)\Psi_{sv}}{i_{su}} > 0 \\ R_{s\min} & \text{если} \quad \dfrac{-3p(M_n - M)\Psi_{sv}}{i_{su}} \le 0 \end{cases}.$$

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. *Кротов В.Ф,* Методы и задачи оптимального управления [Текст]: / В.Ф. Кротов, В.И. Гурман // -М.: Наука,1973. -446 с.
7. *Ещин Е.К.* Задача управления состоянием асинхронного электродвигателя в режиме пуска // Вестник КузГТУ, 2014 №3. – 85 с.
8. *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.

Автор статьи

Соколов
Игорь Александрович
канд.техн. наук, доцент, зав. каф. прикладных информационных технологий КузГТУ.
Email: skelvin@mail.ru