

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.313.62-83.681-5

Е.К.Ещин

ОБ УПРАВЛЕНИИ ПУСКОМ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Известна проблема пуска асинхронного электродвигателя (АД) с короткозамкнутым ротором. Она ясна из следующего рисунка:

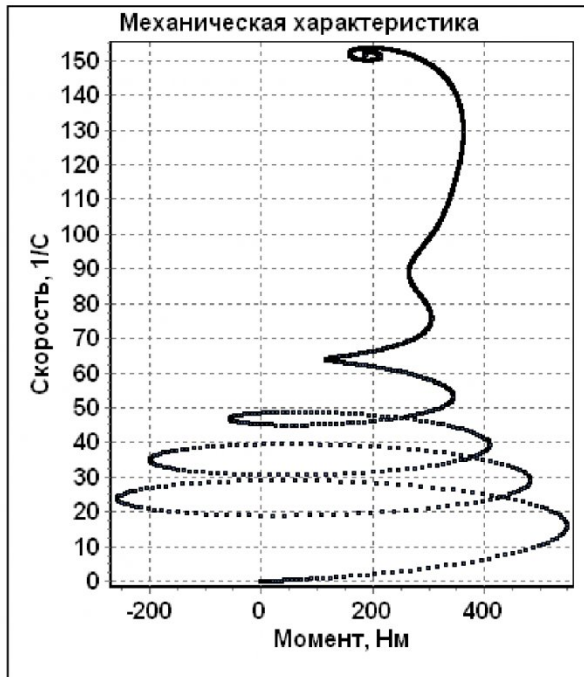


Рис. 1 Пример типичной формы неудовлетворительной динамической механической характеристики АД при пуске прямым включением в сеть

Для ее решения предлагались и предлагаются различные способы [1,2].

В [3] рассмотрен еще один способ пуска АД. Суть его заключается в предварительной подаче на двигатель питающего напряжения в виде импульса длительностью 0.0033 секунды (при частоте питающего напряжения 50 Гц), последующего перевода АД в режим динамического торможения на такое же время и последующей подаче напряжения питания.

Способ основан на решении задачи оптимального управления пуском АД с использованием принципа максимума Л.С.Понтрягина (Рис. 2). Цель управления - обеспечение во время пуска близости электромагнитного момента АД и момента, определяемого по его статической механической характеристике.

Характер изменения амплитуды питающего напряжения (координатная система u, v) вызван

ограничениями на величину управляющего воздействия (амплитуду питающего напряжения), которое при решении определялись как $U_{max} \geq U \geq 0$ (Рис. 3).

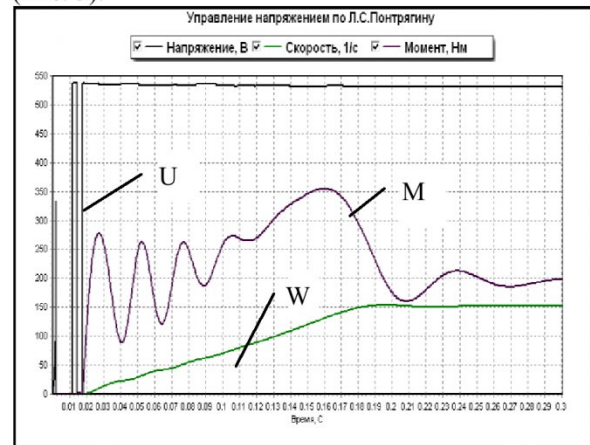


Рис. 2. Решение задачи управления пуском АД по Л.С.Понтрягину

В более общем случае возможно расширить диапазон изменения амплитуды напряжения и записать его в виде $U_{max} \geq U \geq U_{min}$. Естественно при этом, что U_{min} может принимать отрицательные значения, что соответствует работе АД в режиме противовключения.

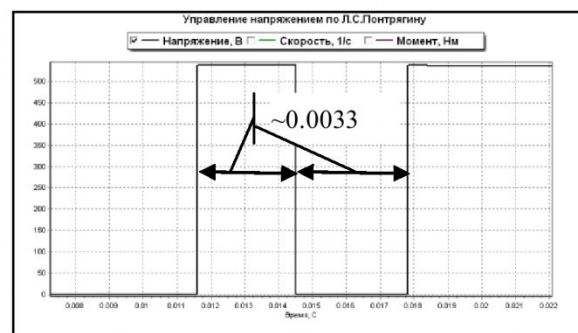


Рис. 3. Изменение амплитуды питающего напряжения при пуске АД (решение по Л.С.Понтрягину)

При таком варианте управления возможно существование множества пусковых характеристик (Рис. 4) для АД с однофазным ротором.

Нужно отметить, что решение задачи оптимального управления выполнено не в классическом варианте, когда ищется аналитическая конструкция синтезирующей функции [4], а путем прямого численного решения совокупности диф-

ференциальных уравнений движения АД в координатной системе u, v (1), системы дифференциальных уравнений для определения вспомогательных переменных Ψ_i и использования свойств вспомогательной функции Н принципа максимума Л.С.Понтрягина.

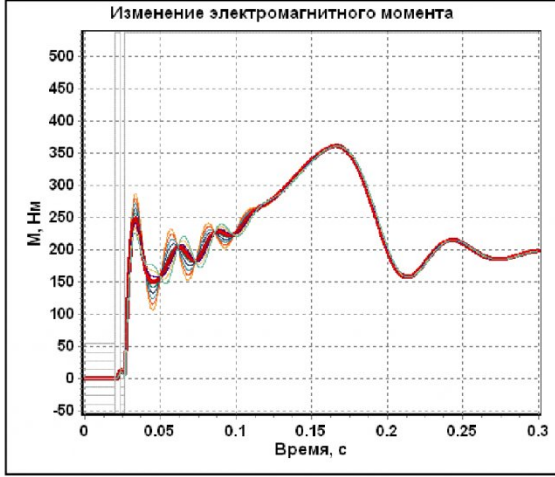


Рис. 4 Изменение электромагнитного момента АД при различных значениях U_{min} .

Решение в этом случае представимо (как вариант) в графическом виде (Рис. 3), которое легко реализуется аналитически.

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Psi_{su}}{dt} &= U_{su} - \frac{R_s}{L'_s} \Psi_{su} + \frac{R_s}{L'_s} k_r \Psi_{ru} + \omega_n \Psi_{sv} = f[6] \\ \frac{d\Psi_{sv}}{dt} &= U_{sv} - \frac{R_s}{L'_s} \Psi_{sv} + \frac{R_s}{L'_s} k_r \Psi_{rv} - \omega_n \Psi_{su} = f[7], \\ \frac{d\Psi_{ru}}{dt} &= -\frac{R_r}{L'_r} \Psi_{ru} + \frac{R_r}{L'_r} k_s \Psi_{su} + (\omega_n - p\omega) \Psi_{rv} = f[8], \\ \frac{d\Psi_{rv}}{dt} &= -\frac{R_r}{L'_r} \Psi_{rv} + \frac{R_r}{L'_r} k_s \Psi_{sv} - (\omega_n - p\omega) \Psi_{ru} = f[9], \\ \frac{d\omega}{dt} &= J^{-1}(c(\Psi_{ru} \Psi_{sv} - \Psi_{su} \Psi_{rv}) - M_c) = f[10]. \end{aligned} \right\} (1)$$

Составляющие (правые части уравнений) для определения вспомогательной переменной Ψ для системы:

$$\dot{\Psi}_i = -\frac{\partial H}{\partial x^i} = f[i], \quad H = \sum_{i=0}^5 \Psi_i f[i],$$

x_i последовательно составляющие потокосцеплений статора и ротора по осям координат и угловая скорость вращения ротора,

$$\begin{aligned} f[3] &= \frac{R_s}{L'_s} k_r \Psi_1 + \frac{R_r}{L'_r} \Psi_3 + (\omega_n - p\omega) \Psi_4 - \\ &- 4 \frac{c}{GD^2} \Psi_5 \Psi_{sv} + 2\Psi_0 c \Delta M \Psi_{sv}; \\ f[4] &= -\frac{R_s}{L'_s} k_r \Psi_2 + \frac{R_r}{L'_r} \Psi_4 - (\omega_n - p\omega) \Psi_3 + \\ &+ 4 \frac{c}{GD^2} \Psi_5 \Psi_{su} - 2\Psi_0 c \Delta M \Psi_{su}; \end{aligned}$$

$$f[5] = p\Psi_3 \Psi_{rv} - p\Psi_4 \Psi_{ru}.$$

$$f[1] = \frac{R_s}{L'_s} \Psi_1 + \omega_n \Psi_2 - \frac{R_r}{L'_r} k_s \Psi_3 + 4 \frac{c}{GD^2} \Psi_5 \Psi_{rv} - 2\Psi_0 c \Delta M \Psi_{rv};$$

$$f[2] = \frac{R_s}{L'_s} \Psi_2 - \omega_n \Psi_1 - \frac{R_r}{L'_r} k_s \Psi_4 - 4 \frac{c}{GD^2} \Psi_5 \Psi_{ru} + 2\Psi_0 c \Delta M \Psi_{ru};$$

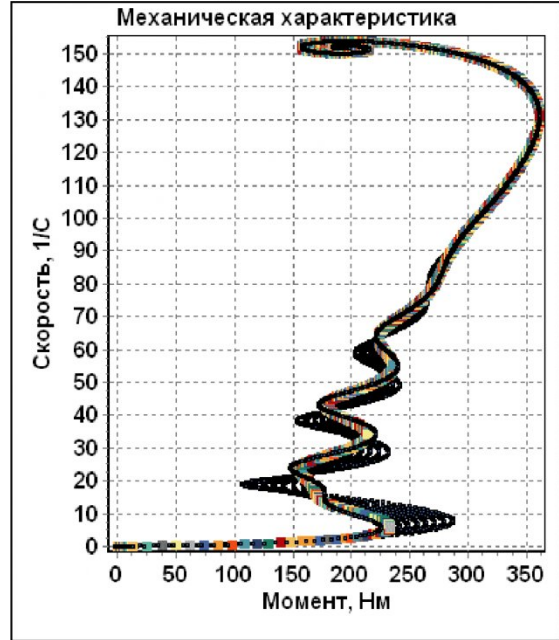


Рис. 5 Семейство динамических механических характеристик АД при пусках с различной величиной U_{min} (одноклеточный вариант ротора)

Правило для нахождения управления:

$$U_{sa} = -\frac{\left(\Psi_2 f[7] + \Psi_3 f[8] + \Psi_4 f[9] + \Psi_5 f[10] + \Psi_0 (\Delta M)^2 \right)}{\Psi_1} + R_s i_{sa} - \omega_n \Psi_{sv}.$$

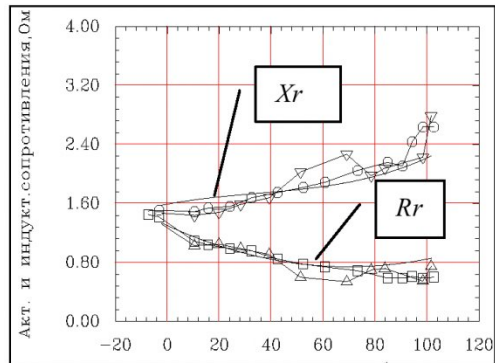


Рис. 6 Характер изменения параметров роторов АД с глубоким пазом (на примере ВРП160М4)

Результаты применения аппроксимированного последнего выражения для АД с одноклеточным ротором и АД с глубокопазным ротором при изменении параметров ротора (например, по Рис. 6) и различных U_{min} приведены на Рис. 5, 5 и

Рис. 8.

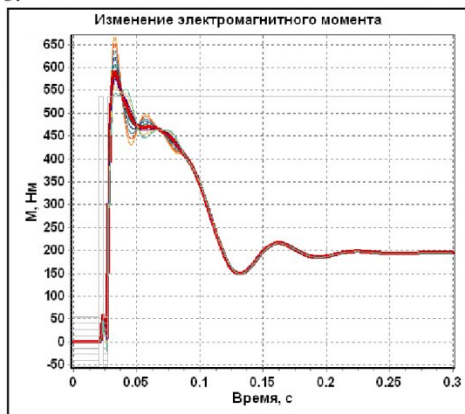


Рис. 7 Изменение электромагнитных моментов при пуске АД с режимом противовключения при различных U_{min} .

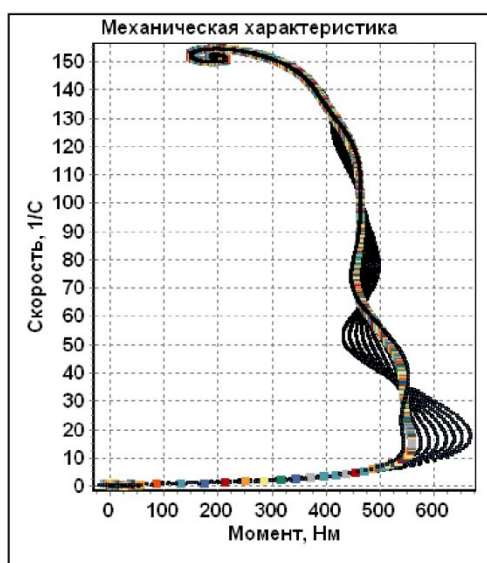


Рис. 8 Семейство динамических механических характеристик АД при пусках с различной величиной U_{min} (глубокопазный ротор)

Таким образом, для выбора рационального варианта пуска АД следует рассмотреть варианты: динамическое торможение и режимы противовключения при различных амплитудах питающего напряжения в период времени 0.0033 с. (при частоте 50 Гц.) после подачи первого импульса питающего напряжения такой же длительности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров Л.П. Управление пуском и торможением асинхронных электродвигателей. -М.: Энергоатомиздат, 1981. -184 с.
2. Басков С.Н.. Принцип векторно-импульсного управления электродвигателями переменного тока/ С.Н.Басков, К.В. Лицин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика» 2013, том 13, № 1, с.92-94.
3. Ещин Е.К. Способ пуска асинхронного электродвигателя // Е.К.Ещин, И.А.Соколов, В.Г.Каширских, В.Л.Иванов, Д.В.Соколов // Пат. 2235410 С1 RU, МПК⁷ Н 02 Р 1/26. № 2003100098; Заяв.04.01.2003; Опубл.27.08.2004. Бюл. № 24.
4. Болтянский В.Г. Математические методы оптимального управления. М., Наука, 1968 г., 408 с.

□ Автор статьи

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

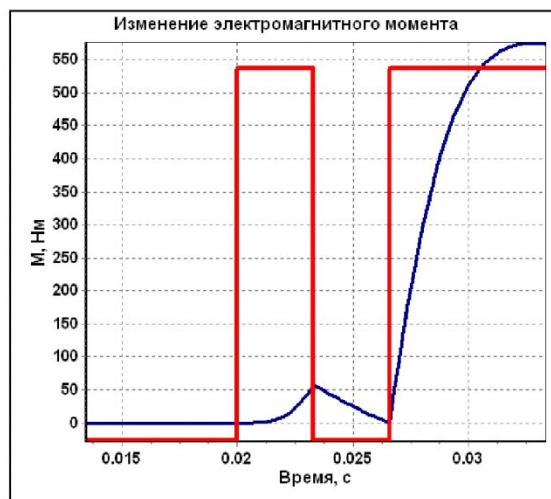


Рис. 9 Изменение амплитуды питающего напряжения и электромагнитного момента при пуске АД с режимом противовключения (координатная система u, v).

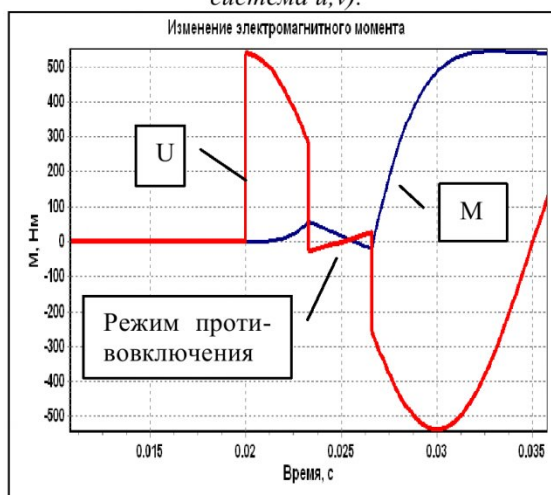


Рис. 10 Изменение амплитуды питающего напряжения и электромагнитного момента при пуске АД с режимом противовключения (координатная система a, β).