

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 622:621.313-83

Е.К.Ещин

ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ МОМЕНТОМ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ – ПРЯМОЕ УПРАВЛЕНИЕ МОМЕНТОМ

Состояние асинхронного электродвигателя (АД) будем описывать системой дифференциальных связей по [1], определяющих характер изменения фазовых координат с выделением в них управляющих воздействий - проекций вектора напряжения статора $U_{s\alpha}$, $U_{s\beta}$ на оси неподвижной системы координат α - β для электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Psi_{s\alpha}}{dt} &= U_{s\alpha} - \frac{R_s}{L'_s} \Psi_{s\alpha} + \frac{R_s}{L'_s} k_r \Psi_{r\alpha}, \\ \frac{d\Psi_{s\beta}}{dt} &= U_{s\beta} - \frac{R_s}{L'_s} \Psi_{s\beta} + \frac{R_s}{L'_s} k_r \Psi_{r\beta}, \\ \frac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} &= -\frac{R_r}{L'_r} \Psi_{r\alpha} + \frac{R_r}{L'_r} k_s \Psi_{s\alpha} - p\omega \Psi_{r\beta}, \\ \frac{d\Psi_{r\beta}}{dt} &= -\frac{R_r}{L'_r} \Psi_{r\beta} + \frac{R_r}{L'_r} k_s \Psi_{s\beta} + p\omega \Psi_{r\alpha}. \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Psi_{sd}}{dt} &= U_{sd} - \frac{R_s}{L'_s} \Psi_{sd} + \frac{R_s}{L'_s} k_r \Psi_{rd} + p\omega \Psi_{s\beta}, \\ \frac{d\Psi_{sq}}{dt} &= U_{sq} - \frac{R_s}{L'_s} \Psi_{sq} + \frac{R_s}{L'_s} k_r \Psi_{rq} - p\omega \Psi_{s\alpha}, \\ \frac{d\Psi_{rd}}{dt} &= U_{rd} - \frac{R_r}{L'_r} \Psi_{rd} + \frac{R_r}{L'_r} k_s \Psi_{sd}, \\ \frac{d\Psi_{rq}}{dt} &= U_{rq} - \frac{R_r}{L'_r} \Psi_{rq} + \frac{R_r}{L'_r} k_s \Psi_{sq}. \end{aligned} \right\}$$

Асинхронный электродвигатель с фазным ротором, который может получать питание по цепи ротора (двигатель двойного питания), будем рассматривать в роторной системе координат d - q . Управляющими воздействиями в этом случае принимаем U_{rd} , U_{rq} – проекции вектора напряжения ротора по осям координатной системы d - q .

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 α , β , d , q - составляющие потокосцеплений статора и ротора по осям соответствующей системы координат, U_s , U_r – с индексами координатной системы - составляющие напряжений статора и ротора.

Задача управления АД может рассматриваться как задача минимизации функционала, записанного в интегральной форме и выражавшего цель

$$\text{управления: } J = \int_0^t (M_z - M)^2 dt, \quad \text{где } M_z, M -$$

необходимое и мгновенное значения электромагнитного момента АД. Решение этой задачи с использованием известных методов оптимизации, например, принципа максимума Л.С.Понtryгина позволяет найти новые алгоритмы формирования векторов напряжений статора (в случае управления АД с короткозамкнутым ротором) и ротора (для двигателя двойного питания), обеспечивающих

$$J = \inf_{\forall U_s, U_r \in U_{max}} \int_0^t (M_z - M)^2 dt.$$

Они выглядят так:

$$U_{s\alpha} = \begin{cases} -U_{max} & \text{при } (M_z - M)\Psi_{s\beta} > 0, \\ U_{max} & \text{при } (M_z - M)\Psi_{s\beta} \leq 0, \end{cases}$$

$$U_{s\beta} = \begin{cases} U_{max} & \text{при } (M_z - M)\Psi_{s\alpha} > 0, \\ -U_{max} & \text{при } (M_z - M)\Psi_{s\alpha} \leq 0. \end{cases}$$

$$U_{rd} = \begin{cases} U_{max} & \text{при } (M_z - M)\Psi_{rq} > 0, \\ -U_{max} & \text{при } (M_z - M)\Psi_{rq} \leq 0, \end{cases}$$

$$U_{rq} = \begin{cases} -U_{max} & \text{при } (M_z - M)\Psi_{rd} > 0, \\ U_{max} & \text{при } (M_z - M)\Psi_{rd} \leq 0. \end{cases}$$

U_{max} – максимально возможное значение напряжения.

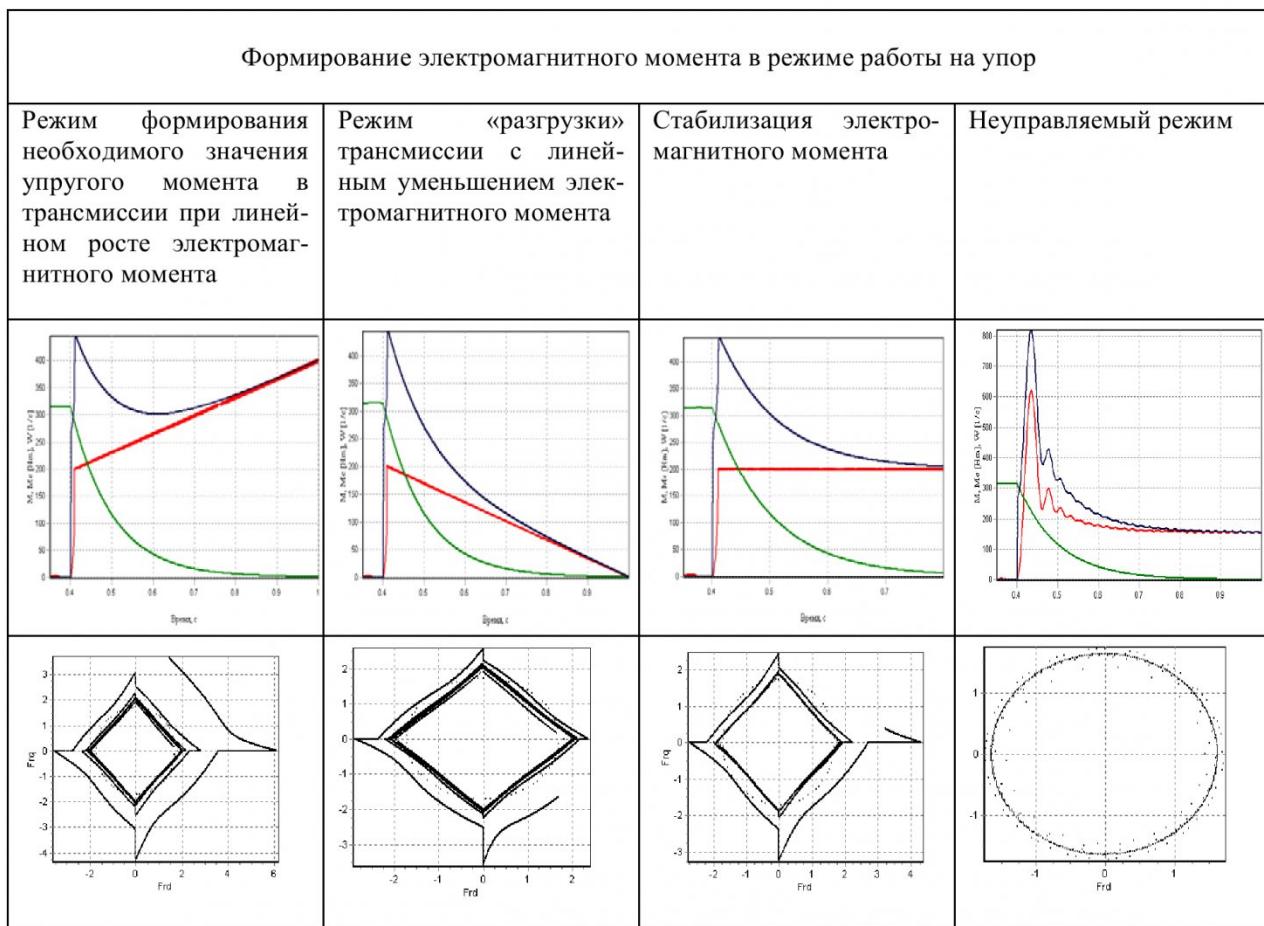
Результаты применения этих алгоритмов для различных режимов работы АД с параметрами:

Годографы концов векторов потокосцеплений	Переходные процессы	Примечание
		Режим пуска с последующей подачей нагрузки (M_c) в виде прямоугольных импульсов (0.3 с) и включение управления электромагнитным моментом (0.5 с) при отслеживании момента сопротивления.
		Режим пуска с последующей подачей нагрузки (M_c) в виде прямоугольных импульсов (0.3 с) и включение управления электромагнитным моментом (0.5 с) с целью его стабилизации.
		Режим пуска с последующей подачей нагрузки (M_c) произвольного вида (0.3 с) и включение управления электромагнитным моментом (0.5 с) при отслеживании момента сопротивления.
		Режим пуска с последующей подачей нагрузки (M_c) произвольного вида (0.3 с) и включение управления электромагнитным моментом (0.5 с) с целью его стабилизации.
		Изменение формы составляющих потокосцеплений при переходе (0.5 с) к управляемому режиму.

$R_s=0.516$, $R_r=0.406$, $X_s=1.419$, $X_r=1.109$, $X_m=35.0$, $p=2$, $GD^2=0.7$ приведены в таблице.

Следует отметить, что найденные алгоритмы

формирования векторов напряжений обеспечивают практически идеальное качество управления во всех возможных режимах работы АД (пуск, тор-



можение, основной технологический) и не относятся к частотному варианту управления.

Управление АД с короткозамкнутым ротором по цепи статора и управление двигателем двойного питания по роторной цепи по результату управления – эквивалентны.

Новые алгоритмы формирования векторов напряжений наиболее близки к алгоритмам управления известным как Direct Torque Control (DTC) [2,3,4,5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковач К., Рац И. Переходные процессы в машинах переменного тока. -М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. -744 с.
2. Бичай В. Г., Пиза Д. М., Потапенко Е. Е., Потапенко Е. М. Состояние, тенденции и проблемы в области методов управления асинхронными двигателями // “Радіоелектроніка, інформатика, управління” № 1, 2001.
3. F. Bonnet, P.E. Vidal, M. Pietrzak-David. Direct torque control of doubly fed induction machine // Bulletin of the polish academy of sciences. Technical sciences. Vol. 54, No.3, 2006.
4. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.
5. Technical Guide No.1- Direct Torque Control - the world's most advanced AC drive technology. ABB Industry Drives, 1999.

Автор статьи:

Ещин

Евгений Константинович
-докт. техн. наук, проф. каф. вы-
числительной техники и инфор-
мационных технологий