

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.3.07

А.В. Григорьев

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МАШИНОЙ ДВОЙНОГО ПИТАНИЯ

Под термином «машина двойного питания» (МДП) понимается асинхронный двигатель с фазным ротором, который может получать питание со стороны как статора, так и ротора [1].

Рассмотрим задачу управления МДП [2] с целью

$$J = \inf \int_0^t (M_Z - M)^2 dt, \text{ где } M_Z - \text{ задаваемое}$$

(необходимое) значение электромагнитного момента двигателя, M - мгновенное значение электромагнитного момента двигателя. Для решения задачи управления представим модель МДП в системе координат, неподвижной относительно вектора напряжения ротора [3]:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{d\Psi_{SX}}{dt} &= U_{SX} - R_S \left(\frac{\Psi_{SX}}{L_{S'}} - \frac{k_R}{L_{S'}} \Psi_{RX} \right) + \omega_2 \Psi_{SY}, \\ \frac{d\Psi_{SY}}{dt} &= U_{SY} - R_S \left(\frac{\Psi_{SY}}{L_{S'}} - \frac{k_R}{L_{S'}} \Psi_{RY} \right) - \omega_2 \Psi_{SX}, \\ \frac{d\Psi_{RX}}{dt} &= U_{RX} - \\ &\quad - R_R \left(\frac{\Psi_{RX}}{L_{R'}} - \frac{k_S}{L_{R'}} \Psi_{SX} \right) + (\omega_2 - p\omega) \Psi_{RY}, \\ \frac{d\Psi_{RY}}{dt} &= U_{RY} - \\ &\quad - R_R \left(\frac{\Psi_{RY}}{L_{R'}} - \frac{k_S}{L_{R'}} \Psi_{SY} \right) - (\omega_2 - p\omega) \Psi_{RX}, \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{J} (M - M_C), \end{aligned} \right.$$

где $\Psi_{SX}, \Psi_{SY}, \Psi_{RX}, \Psi_{RY}$ - составляющие векторов потокоцеплений статора и ротора по осям координатной системы x - y , неподвижной относительно вектора напряжения ротора; $U_{SX}, U_{SY}, U_{RX}, U_{RY}$ - составляющие векторов напряжений статора и ротора по осям координатной системы x - y ; $\omega_2 = 2\pi f_2$ - круговая частота напряжения ротора; f_2 - частота напряжения ротора; p - число пар полюсов двигателя; ω - круговая частота вращения ротора двигателя; $R_S, R_R, L_{S'} = L_{Sl} + k_S L_m, L_{R'} = L_{Rl} + k_R L_m, k_S, k_R$ - активное сопротивление статора, ротора, переходные индуктивности статора и ротора, коэффициенты электромагнитной связи статора и ротора

соответственно; J - момент инерции ротора двигателя; M, M_C - момент электромагнитный двигателя и момент сопротивления механизма соответственно.

Запись модели МДП в системе координат x - y позволяет разделить управляющее воздействие со стороны ротора на две компоненты – амплитуду напряжения ротора U_{rm} и его круговую частоту ω_2 . Последнее позволяет исключить в синтезированной системе управления зависимость между этими воздействиями и временем. В качестве управляющего воздействия примем частоту напряжения ротора. Решение задачи оптимального управления будем искать при помощи принципа максимума Понтрягина [3].

Необходимая при этом вспомогательная функция:

$$\begin{aligned} H(\Psi_S, \Psi_R, U_S, U_R, \alpha) = & \\ = \psi_1 \left(U_{SX} - R_S \left(\frac{\Psi_{SX}}{L_{S'}} - \frac{k_R}{L_{S'}} \Psi_{RX} \right) + \omega_2 \Psi_{SY} \right) + & \\ + \psi_2 \left(U_{SY} - R_S \left(\frac{\Psi_{SY}}{L_{S'}} - \frac{k_R}{L_{S'}} \Psi_{RY} \right) - \omega_2 \Psi_{SX} \right) & \\ + \psi_3 \left(U_{RX} - R_R \left(\frac{\Psi_{RX}}{L_{R'}} - \frac{k_S}{L_{R'}} \Psi_{SX} \right) + (\omega_2 - p\omega) \Psi_{RY} \right) & \\ + \psi_4 \left(U_{RY} - R_R \left(\frac{\Psi_{RY}}{L_{R'}} - \frac{k_S}{L_{R'}} \Psi_{SY} \right) - (\omega_2 - p\omega) \Psi_{RX} \right) & \\ + \psi_5 \cdot \frac{1}{J} \cdot (C \cdot (\Psi_{SY} \Psi_{RX} - \Psi_{SX} \Psi_{RY}) - M_C) + & \\ + \psi_0 \cdot (M_Z - C(\Psi_{SY} \Psi_{RX} - \Psi_{SX} \Psi_{RY}))^2, & \end{aligned}$$

где $\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4, \psi_5, \psi_0$ - составляющие ненулевой вектор - функции $\bar{\psi}$.

Условия трансверсальности дополнительно обеспечивают:

$$\left\{ \begin{aligned} \psi_1 = \psi_0 \frac{\partial f_0(\Psi_S, \Psi_R, U_S, U_R)}{\partial \Psi_{RX}} \frac{L_{S'}}{R_S \cdot k_R} = & \\ = \frac{2CL_{S'}}{R_S k_R} \Psi_{SY} (M_Z - M), & \\ \psi_2 = \psi_0 \frac{\partial f_0(\Psi_S, \Psi_R, U_S, U_R)}{\partial \Psi_{RY}} \frac{L_{S'}}{R_S \cdot k_R} = & \\ = -\frac{2CL_{S'}}{R_S k_R} \Psi_{SX} (M_Z - M), & \end{aligned} \right.$$

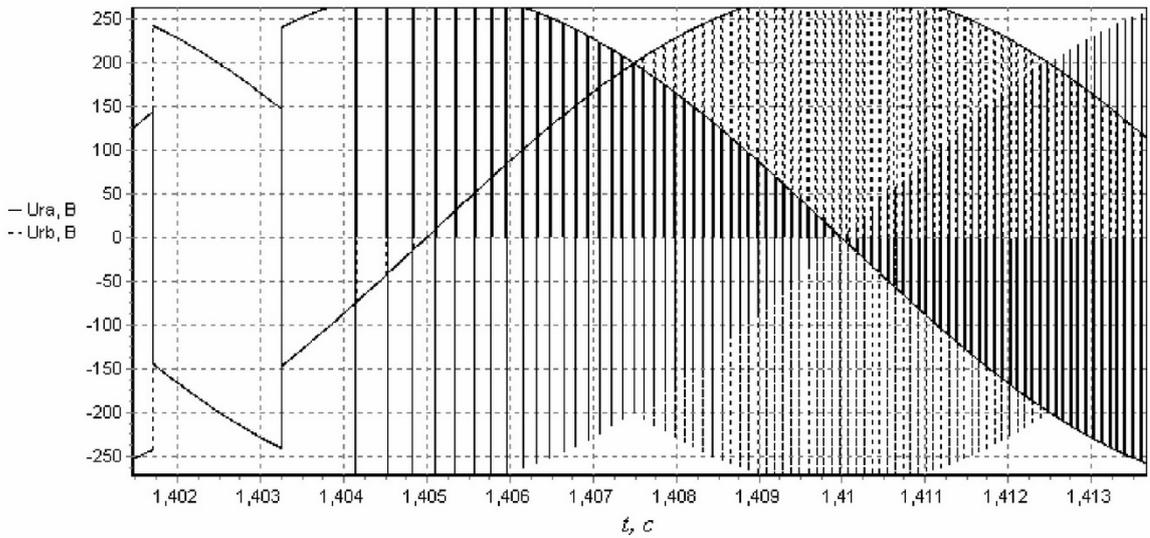


Рис.1. Изменение составляющих вектора напряжения ротора МДП

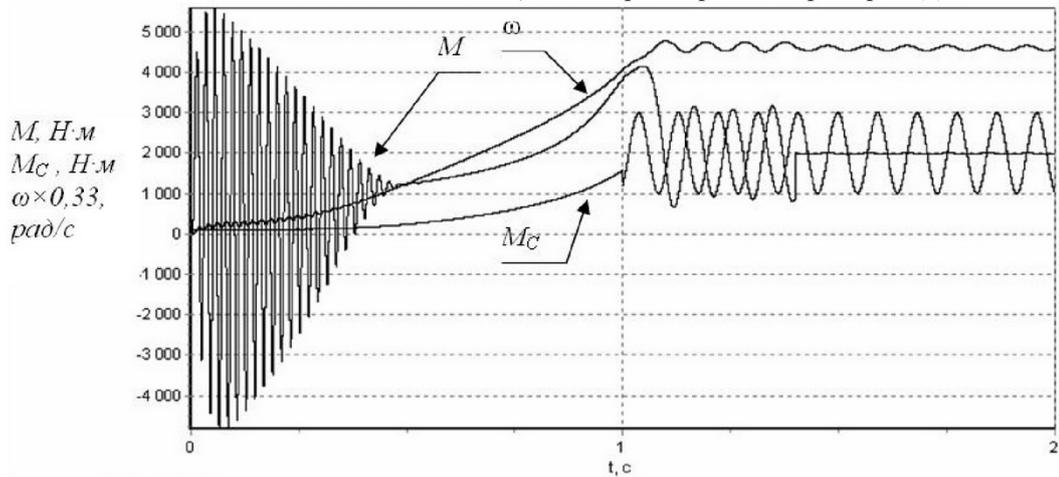


Рис.2. Изменение электромагнитного момента, частоты вращения и момента сопротивления двигателя

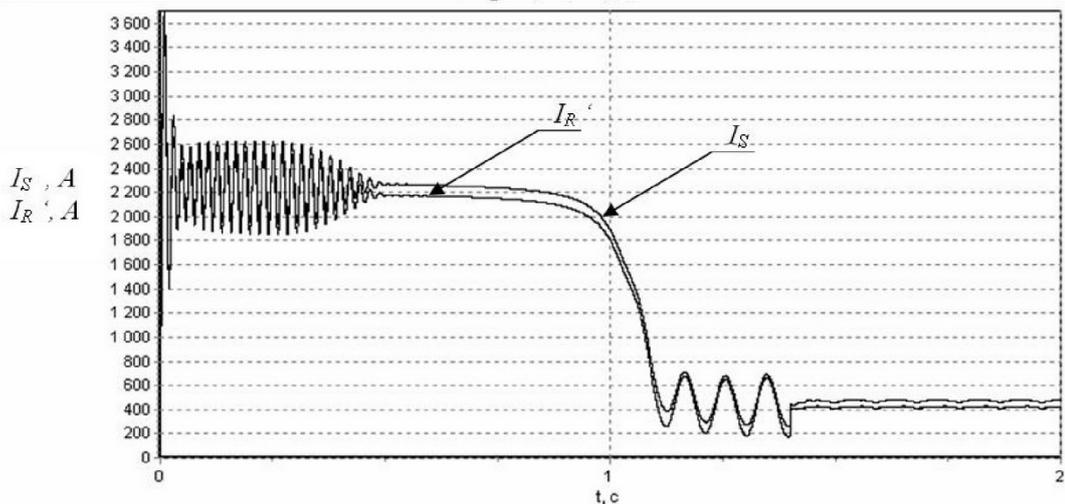


Рис.3. Изменение токов статора и ротора двигателя

Основным условием оптимальности процесса управления применительно к рассматриваемой задаче является [4]:

$$\bar{\psi} \times \bar{U} = \max \quad (1)$$

где $\bar{U} = [U_1, U_2, U_3 \dots]$ - вектор управляющих воздействий.

Если в качестве управляющих воздействий принимать частоту напряжения, подаваемого на

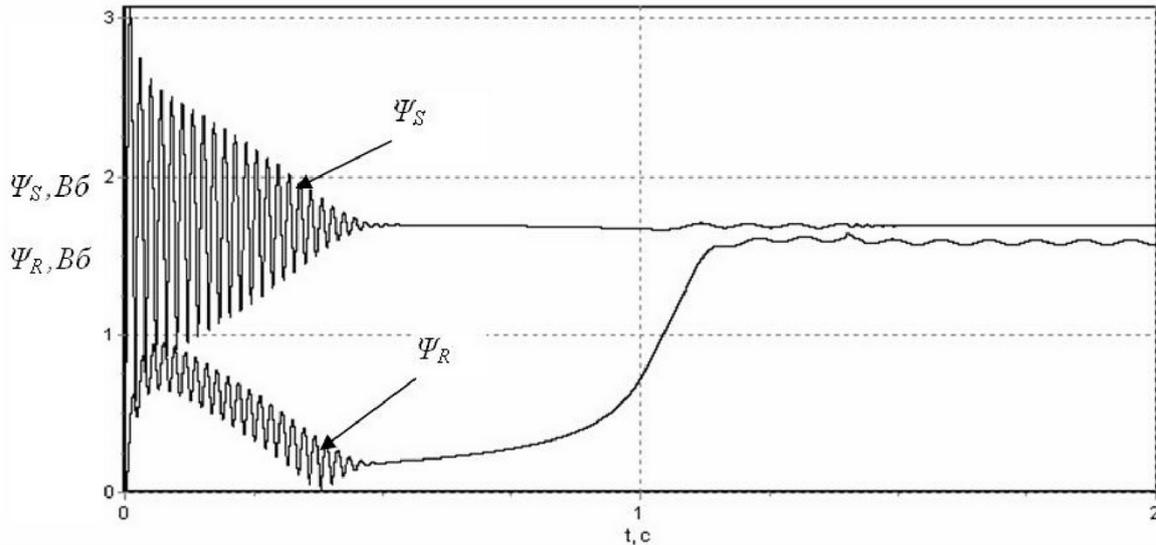


Рис.4. Изменение амплитуд потокосцеплений статора и ротора

ротор двигателя, то выражение (1) примет вид :

$$\frac{2CL_S'}{R_S k_R} \Psi_{SY} (M_Z - M) \omega_2 + \frac{2CL_S'}{R_S k_R} \Psi_{SX} (M_Z - M) \omega_2 = \max \quad (2)$$

откуда вытекает алгоритм управления МДП:

$$\begin{cases} (M_Z - M)(\Psi_{SY} + \Psi_{SX}) < 0, \omega_2 = -\omega_{2\max}, \\ (M_Z - M)(\Psi_{SY} + \Psi_{SX}) > 0, \omega_2 = \omega_{2\max}, \end{cases} \quad (3)$$

Одной из возможных технических реализаций полученного способа управления является изменение чередования фаз на роторе.

Полученный способ управления был апробирован на компьютерной модели, составленной средствами среды программирования Delphi 7. Для моделирования использовались параметры

двигателя 4АНК355S4Y3 мощностью 315 кВт.

Пуск двигателя моделировался нерегулируемый, нагрузка до $t = 1$ с – вентиляторная, после – пульсирующая, изменяющаяся по закону $M_C = 2000 + 1000 \sin(62.8t)$ Н×м. Результатом управления является поддержание электромагнитного момента на уровне $M_Z = 2000$ Н×м после момента времени $t = 1,4$ с.

На рис.1 представлены изменения составляющих вектора напряжения в координатной системе α - β , неподвижной относительно статора. На рис.2 представлены графики электромагнитного момента, момента сопротивления и круговой частоты вращения двигателя. На рис.3 представлены графики модулей векторов токов статора и ротора двигателя, на рис.4 – графики модулей векторов потокосцеплений статора и ротора.

На рис.2 - 4 видно, что поставленная задача

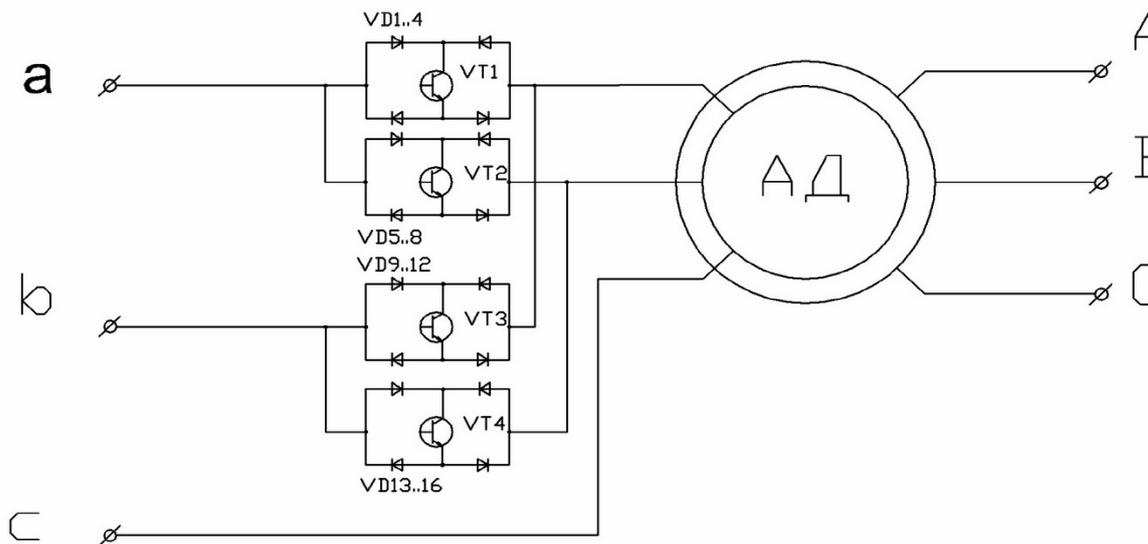


Рис.5. Принципиальная электрическая схема МДП с преобразователем, осуществляющим изменение чередования фаз

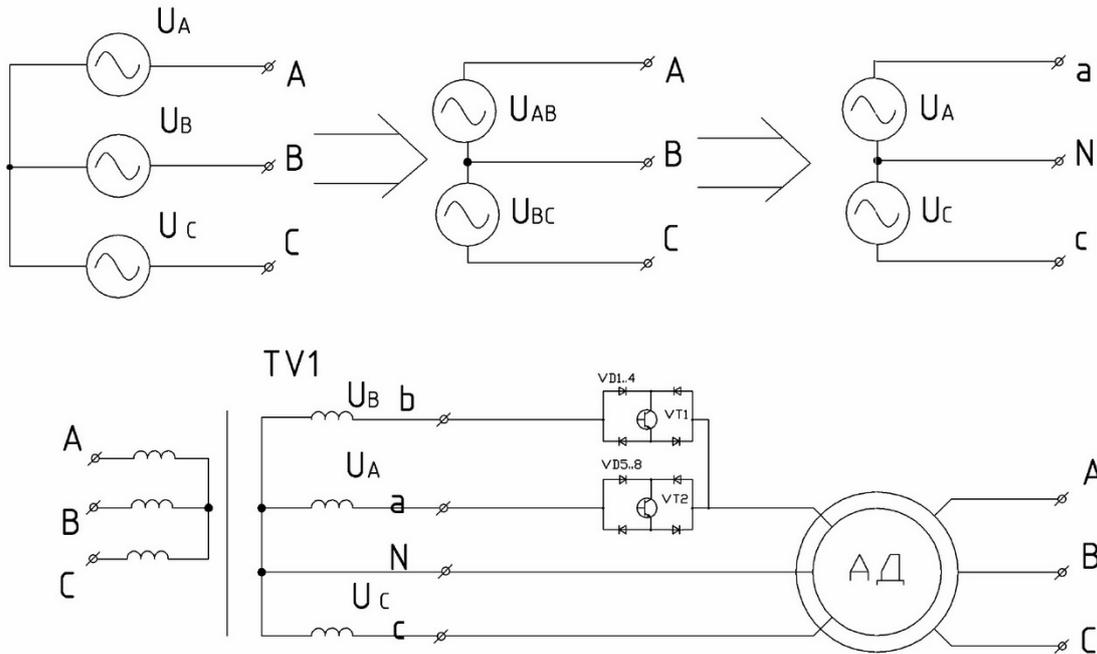


Рис.6. Принципиальная электрическая схема МДП с преобразователем, осуществляющим изменение чередования фаз и эквивалентные схемы трёхфазной цепи переменного тока

выполнена, при этом происходит также стабилизация вектора потокосцепления статора на некотором допустимом уровне. Для реализации полученного способа управления можно использовать схему преобразователя, представленного на рис.5.

Схема на рис.5 включает в себя всего 4 полностью управляемых элемента (транзисторы VT1..VT4) и 16 диодов (VD1..VD16), что выгодно отличает её от схем управления с преобразователями частоты, содержащими промежуточное звено постоянного тока и автономный инвертор напряжения, включающий 6 полностью управляемых элементов.

Для упрощения принципиальной схемы можно трёхфазную цепь переменного тока заменить на эквивалентную ей двухфазную. Если в качестве линейных напряжений в эквивалентной схеме использовать фазные, т.е. необходимо иметь вывод средней точки трансформатора N, то изменение чередования фаз производится включением вместо фазы A источника питания фазы B так, как показано на рис.6.

В случае использования преобразователя второго типа сокращается стоимость установки, но для его реализации необходимо иметь вывод средней точки трансформатора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода: Учебник для вузов. – 6-е изд., доп. и перераб. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.
2. Ещин Е.К. Электромеханические системы многодвигательных электроприводов. Моделирование и управление. – Кемерово: Кузбасский гос. техн. ун-т, 2003. – 247 с.
3. Теория автоматизированного электропривода / Ключев В.И., Чиликин М.Г., Сандлер А.С. – М.: Энергия, 1979 г., 616 с.
4. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. -4-е изд. -М.: Наука, 1983. -392 с.

□ Автор статьи:

Григорьев
Александр Васильевич
- студент гр. ЭА-02