УДК 62-83:621.313.3

**В.В.АЛЕКСЕЕВ**
*Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)*

# РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ ВРАЩАТЕЛЯ БУРОВОГО СТАНКА

Одним из основных направлений совершенствования электромеханических и электротехнических технологий для горно-добывающей и нефтегазовой промышленности является проектирование и применение векторных систем управления частотными приводами с асинхронными двигателями. Показана методика расчета регуляторов системы векторного управления асинхронным электроприводом для вращателя бурового станка. Приведены схемы и модели электропривода, выполненные в системах Диспас и Матлаб. Представлены переходные процессы в приводе с двигателем 4А280S6.

One of the main directions of perfecting of electromechanical and electrotechnical technologies for mining and petroleum and gas industry is the designing and application of vector control systems of frequent drives with asynchronous drives. The technique of account of the governors of a system of vectorial management of the asynchronous electric drive for mechanism of the chisel machine tool is given. The circuits(scheme) and models of the electric drive executed in systems Dispas and Matlab are indicated. The transients in the drive with a drive 4A280S6 are presented.

Структурная схема системы векторного управления с опорным вектором главного потокосцепления и преобразователем частоты в виде апериодического звена с постоянной времени $T_m$ представлена на рисунке. Система содержит канал управления модулем главного потокосцепления $|\Psi_0|$ и канал управления скоростью ω с внутренним контуром регулирования активной составляющей тока $i_2$ асинхронного двигателя.

Вектором выходных переменных является $\{|\Psi_0|, i_2, \omega\}$. Компенсирующие нелинейные связи напряжения $U_{1k} = -p_0\omega L_s(1-k_sk_r)i_2$, $U_{2k} = p_0\omega|\Psi_0|$ содержат составляющую $p_0\omega L_s(1-k_sk_r)i_2 = k_{2k}i_2\omega$, которая может быть использована для реализации контура регулирования с поддержанием постоянства мощности ($i_2\omega$ = const).

Параметры структурной схемы:

$$T_\Psi = \frac{1-k_Sk_r}{1-k_S}\frac{L_r}{r_r};\quad T_i = \frac{(1-k_Sk_r)L_S}{r_S+k_rr_r};$$

$$C_m = \frac{3}{2}p_0;\quad k_\Psi = \frac{k_S(1-k_r)}{1-k_S}\frac{L_r}{r_r};$$

$$k_i = \frac{1}{r_S+k_rr_r};\quad T_m = 0{,}0033-0{,}005\ \text{с}.$$

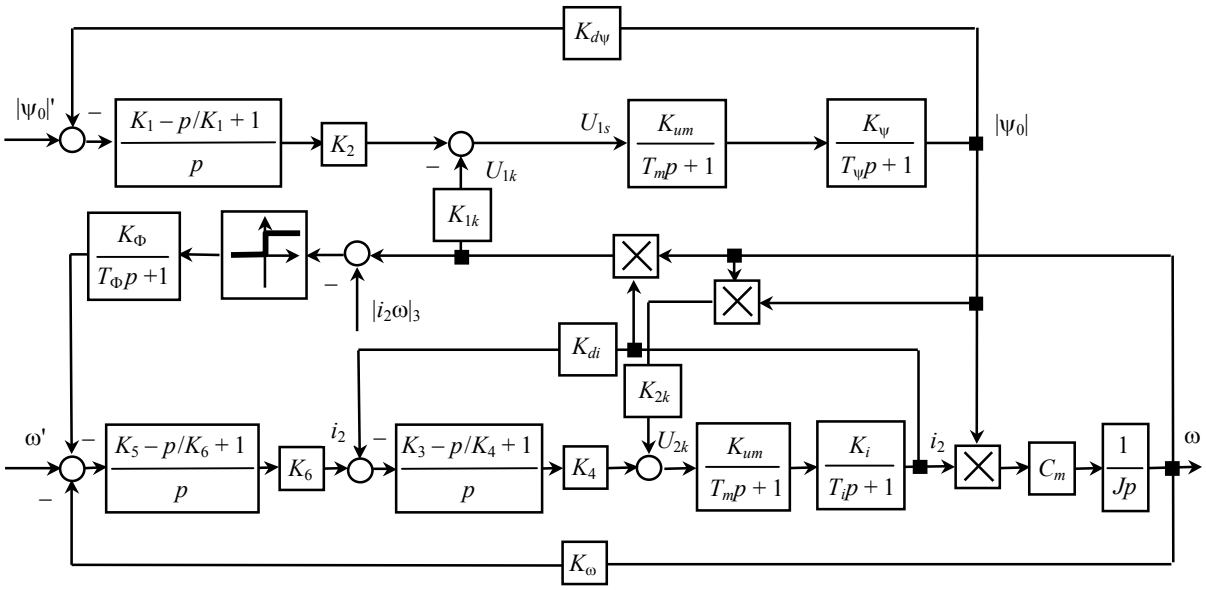
Для расчета параметров структурной схемы и параметров двигателя серии 4А разработана Программа расчета параметров модели АД по Г-образной схеме замещения. В модели двигателя и тексте программ расчета вместо греческих букв применены латинские: вместо Ψ – *F* (или Ф), вместо ω – *n* или *w*, вместо α – *d* и вместо β – *q*.

Расчет регуляторов системы проводится по известной методике*.

Контур стабилизации потока ($|\Psi_0|$) выполняем при помощи ПИ-регулятора

$$W_{\text{пи1}}(p) = \frac{k_2((k_1/k_2)p+1)}{p} = \frac{T_\text{с}p+1}{T_\text{и}p},$$

* *Рудаков В.В.* Электроприводы с программным управлением и последовательной коррекцией / ЛГИ. Л., 1990. 103 с.




Структурная схема векторной системы с асинхронным двигателем

где $T_и = 1/k_{n+1}$ и $T_с = k_n/k_{n+1}$ – постоянные времени интегратора и настройки.

Передаточную функцию разомкнутого канала управления главным потокосцеплением получаем, выбирая $k_1 / k_2 = T_\Psi$,

$$W'_\Psi(p) = \frac{k_2((k_1/k_2)p+1)k_\Psi k_{um} k_{d\Psi}}{p(T_m p+1)(T_\Psi p+1)},$$

где $k_{um}$ – коэффициент передачи преобразователя частоты, В/В; $k_{d\Psi}$ – коэффициент передачи датчика потока, В/Вб.

Настройка на технический оптимум определяет коэффициент

$$k_2 = \frac{1}{2T_m k_\Psi k_{um} k_{d\Psi}}.$$

В контуре составляющей тока $i_2$ канала регулирования скорости ПИ-регулятор тока настраивается на технический оптимум. Его настройки:

$$k_4 = 1/(2T_m k_i k_{um} k_{di});\ k_3/k_4 = T_i$$

при $T_i > T_m$, $T_m = T_a$, $T_i = T_b$;

$$k_4 = 1/(2T_i k_i k_{um} k_{di});\ k_3/k_4 = T_m$$

при $T_i < T_m$, $T_i = T_a$, $T_m = T_b$,

где $k_{di}$ – коэффициент передачи датчика тока, В/А.

Передаточная функция объекта регулирования скоростного контура

$$W_{01}(p) = \frac{C_m k_\omega |\Psi_0|}{k_{di} j(T_T p+1)p} = \frac{k_m}{j(T_T p+1)p},$$

где $k_m = C_m k_\omega |\Psi_0| / k_{di}$; $T_T = 2T_a$; $J$ – момент инерции, кг·м$^2$.

При использовании П-регулятора скорости его передаточная функция

$$k_{rw} = \frac{jk_{di}k_{r\omega}}{C_m k_\omega 4T_a|\Psi_0|}.$$

С целью получения заданной статической точности коэффициент $k_{r\omega}$ рассчитывается по известной методике.

При применении ПИ-регулятора и настройке на технический оптимум имеем

$$k_6 = \frac{j}{8T_T^2 k_m},\ \frac{k_5}{k_6} = T_{em},$$

где $T_{em} = j / C_m|\Psi_0|^2 k_i$ – электромеханическая постоянная времени.

Контур регулирования скорости с ПИ-регулятором может настраиваться по условиям симметричного оптимума (при $T_{em} > 4T_a$):

$$k_6 = \frac{j}{32T_a^2 k_m},\ \frac{k_5}{k_6} = 8T_a.$$

Для расчета настроек регуляторов с учетом специфики компьютерных программ типа Диспас, Матлаб (система моделирования Simulink) разработана программа расчет регуляторов векторной САУ с АД.

При моделировании системы можно применить математическую модель АД, представляющую собой систему дифференциальных уравнений, с использованием составляющих потокосцепления и тока статора (в осях $\alpha$, $\beta$):

$$\frac{d}{dt}\Psi_{s\alpha} = U_{s\alpha} - I_{s\alpha}R_s; \quad \frac{d}{dt}\Psi_{s\beta} = U_{s\beta} - I_{s\beta}R_s;$$

$$\frac{d}{dt}\Psi_{r\alpha} = -\frac{R_r}{\sigma L_r}\Psi_{r\alpha} - p_0\omega\Psi_{r\beta} + \frac{k_s R_r}{\sigma L_r}\Psi_{s\alpha};$$

$$\frac{d}{dt}\Psi_{r\beta} = -\frac{R_r}{\sigma L_r}\Psi_{r\beta} + p_0\omega\Psi_{r\alpha} + \frac{k_s R_r}{\sigma L_r}\Psi_{s\beta};$$

$$\Psi_{0\alpha} = \Psi_{s\alpha} - \sigma_s L_s I_{s\alpha}; \quad \Psi_{0\beta} = \Psi_{s\beta} - \sigma_s L_s I_{s\beta};$$

$$I_{s\alpha} = (\Psi_{s\alpha} - k_r\Psi_{r\alpha})/(\sigma L_s); \quad I_{s\beta} = (\Psi_{s\beta} - k_r\Psi_{r\beta})/(\sigma L_s);$$

$$\frac{d}{dt}\omega = \frac{mp_0}{2J}\left(\Psi_{0\alpha}I_{s\beta} - \Psi_{0\beta}I_{s\alpha}\right) - M_c J^{-1},$$

где $I_s$, $\Psi_0$, $\Psi_s$, $\Psi_r$, $U_s$ – проекции обобщенного вектора тока статора, главного потокосцепления, потокосцепления статора и ротора, напряжения статора на неподвижные оси $\alpha$-$\beta$; $R_s$, $R_r$ – активные сопротивления статора и ротора; $\sigma_s = 1 - k_s$ – коэффициент рассеяния статора; $\sigma = 1 - k_s k_r$ – коэффициент полного рассеяния; $k_s = L_m / L_s$ – коэффициент потокосцепления статора; $k_r = L_m / L_r$ – коэффициент потокосцепления ротора; $L_s$ – индуктивность статора; $L_m$ – взаимная индуктивность между обмотками статора и ротора; $\sigma L_s = L_s$ и $\sigma L_r = L_r$ – переходные индуктивности статора и ротора; $m$ и $p_0$ – число фаз статора и число пар полюсов; $\omega$ – частота вращения ротора; $M_c$ – статический момент нагрузки.

Заметим, что другие электромагнитные переменные получаются по формулам

$$I_{r\alpha} = (\Psi_{r\alpha} - k_s\Psi_{s\alpha}) / (\sigma L_r),$$

$$I_{r\beta} = (\Psi_{r\beta} - k_s\Psi_{s\beta}) / (\sigma L_r);$$

$$\Psi_{s\alpha} \approx \Psi_{s\beta} \approx \Psi_{r\alpha} \approx \Psi_{r\beta} \approx U_s / (4{,}44 f).$$

Анализ показывает, что в целом переходные процессы при пуске привода с векторным управлением по схеме (см. рисунок) в натурном приводе и модели идентичны. Особенностью моделирования скалярных систем управления асинхронным двигателем является необходимость учета насыщения магнитной системы машины.