

УДК 621.313.323

**СИСТЕМА ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ
СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С ЕМКОСТНЫМ НАКОПИТЕЛЕМ
ЭНЕРГИИ В КОНТУРЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ**

В. Б. Низимов, *д-р тех. наук, профессор;*

А. А. Снижко, *аспирант,*

*Днепродзержинский государственный технический университет,
г. Днепродзержинск*

Разработана система векторного управления электроприводом с ориентацией по полю ротора на основе синхронного двигателя с емкостным накопителем энергии в контуре возбуждения. Приведена структурная схема полученной системы. Выполнен синтез регуляторов скорости и тока.

Ключевые слова: *векторное управление, синхронный двигатель, емкостный накопитель, электропривод.*

Розроблено систему векторного керування електроприводом з орієнтацією по полю ротора на основі синхронного двигуна з ємнісним накопичувачем енергії в контурі збудження. Наведено структурну схему отриманої системи. Виконано синтез регуляторів швидкості та струму.

Ключові слова: *векторне управління, синхронний двигун, ємнісний накопичувач, електропривод.*

ВВЕДЕНИЕ

Каждый из видов двигателей переменного тока имеет свою целесообразную область практического применения в регулируемых электроприводах. Для синхронного двигателя (СД) такой областью являются, прежде всего, электроприводы средней и большой мощности (с номинальным моментом $M_{ном} > 3$ кНм) с достаточно большим диапазоном регулирования скорости (более 2:1).

Наряду с этим определен целый ряд рабочих машин, где переход к синхронным регулируемым приводам даст значительный эффект повышения производительности, качества продукции, надежности конструкции. Здесь играют роль такие свойства СД, как практически неограниченная единичная мощность, высокая перегрузочная способность, быстродействие системы автоматического регулирования, широкие возможности выбора габаритных размеров двигателя. Среди таких перспективных применений регулируемых СД можно отметить главные приводы редукторных трубопрокатных станов, непрерывных станов прокатки труб на оправке, пилигримовых трубных станов, непрерывных станов горячей и холодной прокатки листа, обжимных станов, электроприводы на основных механизмах прокатных станов, механизмах копания мощных шагающих экскаваторов.

В регулируемых электроприводах проявляются также дополнительные преимущества СД, такие как повышенная управляемость, возможность выполнить как тихоходные, так и быстроходные приводы на основе разнообразных преобразователей частоты [1].

Вместе с тем управляемые синхронные электроприводы не получили широкого распространения. Одной из причин этого есть сложность процессов их пуска и самозапуска. Добиться значительного повышения момента СД в процессе пуска позволяет емкостный накопитель энергии в цепи его возбуждения [2]. Указанное устройство форсирует пусковой ток, что положительно сказывается на динамике электропривода в целом и позволяет осуществить надежный пуск двигателя асинхронным способом.

Одним из подходов для построения систем автоматического управления является ориентация векторных переменных, характеризующих параметры двигателя, друг относительно друга. Обычно их выбирают исходя из критериев получения оптимальных динамических и статических свойств электропривода, или упрощения структуры системы управления.

Широкое распространение в системах векторного управления получил способ ориентации переменных по вектору потокосцепления ротора [3], позволяющий получить простую структуру системы автоматического регулирования, близкую к системе для двигателя постоянного тока. Часто такой способ называют ориентацией по полю.

Постановка задачи. Синтезировать систему векторного управления электроприводом синхронного двигателя с емкостным накопителем энергии в контуре возбуждения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве накопителя энергии используется электрическая емкость с сопротивлением X_c , зашунтированная резистором R_{cH} .

Тогда уравнения электрического равновесия напряжений для контуров СД в координатах $d, q, 0$ в системе относительных единиц, исходя из [4], примут вид

$$\begin{cases} U_d = R_1 i_d + p\Psi_d - \omega\Psi_q; \\ U_q = R_1 i_q + p\Psi_q + \omega\Psi_d; \\ U_f = R_2 i_f + p\Psi_f + \frac{1}{p} X_c (i_f - U_c/R_{cH}), \end{cases} \quad (1)$$

где потокосцепления определяются следующими выражениями:

$$\begin{cases} \Psi_d = X_d i_d + X_{fd} i_f; \\ \Psi_q = X_q i_q; \\ \Psi_f = (X_c + X_f) i_f + X_{fd} i_d. \end{cases} \quad (2)$$

Преобразуем ее относительно потокосцепления ротора и получим

$$\begin{cases} U_d = R_1 i_d + \sigma p i_d + k_f p \Psi_f - \omega X_q i_q; \\ U_q = R_1 i_q + X_q p i_q - \omega (k_f \Psi_f - \sigma i_d); \\ p \Psi_f = U_f - R_2 i_f - \frac{1}{p} X_c (i_f - U_c/R_{cH}), \end{cases} \quad (3)$$

или

$$\begin{cases} U_d = i_d(T_{fd}p + 1) - \omega X_q i_q + k_f p \Psi_r; \\ U_q = i_q(T_{fq}p + 1) - \omega(k_f \Psi_f - \sigma i_d) \end{cases} \quad (3a)$$

при $\Psi_f = const$, где $k_f = \frac{X_{rd}}{X_c + X_f}$; $T_q = \frac{X_q}{R_1}$; $\sigma = 1 - \frac{X_{rd}^2}{(X_c + X_f)X_d}$; $T_{rd} = \frac{\sigma}{R_1}$.

Чтобы описание двигателя было полным, в систему (3a) следует ввести выражения для описания его механической части. Запишем их также относительно потокосцепления ротора:

$$\begin{aligned} \frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{J}(M_e - M_c), \\ M_e &= \frac{3}{2}z_p \left((\sigma i_d + k_f \Psi_f) i_q - X_q i_q i_d \right). \end{aligned} \quad (4)$$

Поскольку система (3a) имеет в своем составе перекрестные нелинейные обратные связи – ЭДС вращения $\omega X_q i_q + k_f p \Psi_f$ и $\omega(k_f \Psi_f - i_d \sigma)$, то практическая ее реализация является проблематичной, но если их скомпенсировать, то можно получить линейную систему с постоянными коэффициентами (рис.1). С этой целью в структуру системы управления вводится блок компенсации (БК), который выдает корректирующие воздействия U_{dk} и U_{qk} , равные значениям компенсируемых нелинейных обратных связей.

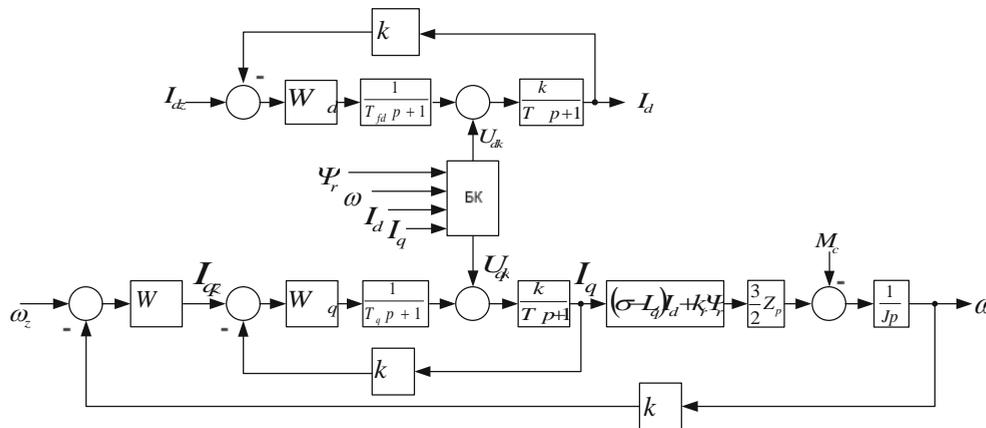


Рисунок 1 – Структурная схема системы векторного управления СД, БК – блок компенсации нелинейных перекрестных обратных связей

Синтезируем регулятор тока по оси d с учетом следующих условий:

- ориентация по вектору потокосцепления выполнена идеально;
- влияние перекрестных нелинейных обратных связей скомпенсировано подачей соответствующих сигналов на выход регулятора;

$$- |\bar{\Psi}_r| = const, (I_d = const);$$

- динамика преобразователя частоты (ПЧ) по каналу q приближенно описывается линейным звеном чистого запаздывания на период модуляции:

$$H_{нч}^q(p) = k_{нч} e^{-T_m p},$$

который можно представить как

$$H_{nv}^q(p) = \frac{k_{nv}}{T_m p + 1}.$$

Выполним настройку контура на стандартный переходный процесс, соответствующий фильтру Баттерворта 2-го порядка [3], передаточная функция которого для разомкнутого контура имеет вид

$$W_{\phi B}^{раз}(p) = \frac{1}{2T_{kt} p (T_{kt} p + 1)}.$$

Передаточная функция разомкнутого контура тока имеет вид

$$H_{kt}^{раз}(p) = H_{rt}(p) \frac{k_{nv} k_{\partial m}}{(T_{kt} p + 1)(T_{fd} p + 1)}.$$

Таким образом, передаточная функция регулятора тока будет иметь вид

$$W_{PTd}(p) = \frac{T_{rd} p + 1}{2T_{nv} p k_{nv} k_{\partial m}}. \quad (5)$$

Полученный регулятор в структуре контура тока представлен на рис. 2.

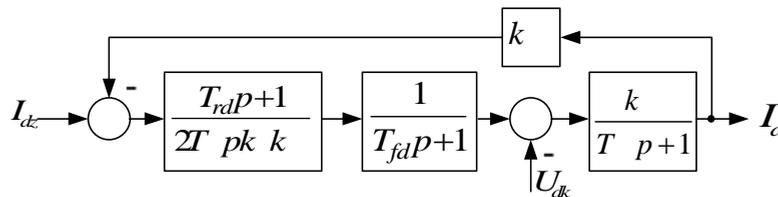


Рисунок 2 – Структурная схема контура тока по оси d

Аналогично синтезируем регулятор тока по оси q, в результате получим его передаточную функцию в виде

$$W_{PTq}(p) = \frac{T_q p + 1}{2T_{nv} p k_{nv} k_{\partial m}}. \quad (6)$$

Полученный регулятор в структуре контура тока представлен на рис. 3.

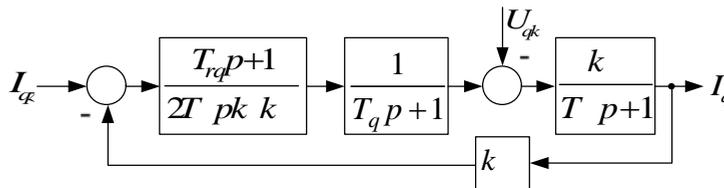


Рисунок 3 – Структурная схема контура тока по оси q

Синтез регулятора скорости выполним для замкнутого контура регулирования скорости ЕП, в котором осуществляется формирование задания по активной составляющей тока статора. Синтез проведем для

привода с жёсткой механикой, описываемой уравнениями (4), при этом учтем следующие допущения:

– выполненный ранее синтез регуляторов позволяет приближенно описывать динамику контура тока по оси q апериодическим звеном 1-го порядка:

$$H_{rt}(p) \approx \frac{1/k_{\partial m}}{2T_{ht}p + 1};$$

– в контуре скорости должен быть обеспечен астатизм к постоянному возмущающему воздействию.

Настройку регулятора скорости выполним на симметричный оптимум [5], что соответствует следующей передаточной функции разомкнутого контура скорости:

$$H_{co}^{paz}(p) = \frac{4T_{kc}p + 1}{8T_{kc}^2p^2(T_{kc}p + 1)}, \quad (7)$$

где T_{kc} – малая некомпенсируемая постоянная времени контура скорости, в качестве T_{kc} можно выбрать T_j – механическую постоянную времени.

Получим передаточную функцию разомкнутого контура скорости

$$H_{kc}^{paz}(p) = H_{pc}(p) \frac{3((\sigma - L_q)I_d + k_r\Psi_r)z_p}{2Jpk_{\partial m}k_{\partial c}(T_{kc}p + 1)}. \quad (8)$$

Сравнивая (7) и (8), получим передаточную функцию регулятора скорости

$$H_{pc}(p) = \frac{(4T_{kc}p + 1)k_{\partial m}k_{\partial c}J}{12T_{kc}^2pz_p((\sigma - L_q)I_d + k_r\Psi_r)}, \quad (9)$$

то есть получили ПИ-регулятор. Передаточная функция замкнутого контура скорости примет вид

$$H_{kc}(p) = \frac{(4T_{kc}p + 1)/k_{\partial c}}{8T_{kc}^3p^3 + 8T_{kc}^2p^2 + 4T_{kc}p + 1}. \quad (10)$$

Чтобы она соответствовала передаточной функции стандартного фильтра Баттерворта 3-го порядка, необходимо ввести фильтр первого порядка с передаточной функцией $H_\phi(p) = \frac{1}{4T_{kc}p + 1}$.

На рис. 4 показано положение полученных регулятора и фильтра в структуре контура скорости разрабатываемой системы управления электроприводом.

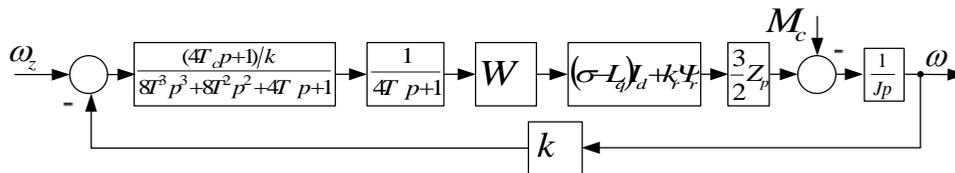


Рисунок 4 – Структурная схема контура скорости, $W_{кт}$ – передаточная функция контура тока по оси q

ВЫВОДЫ

Сочетание качеств емкостного накопителя энергии и частотного регулирования в системе электропривода СД позволяет добиться надежной его работы в условиях переменной нагрузки, частых пусков и остановов, повысить качество готовой продукции и снизить энергозатраты на ее производство. Синтез системы векторного управления выполнен таким образом, чтобы добиться минимального перерегулирования по скорости и ограничить ток в допустимых пределах, сохраняя при этом приемлемые параметры динамики электропривода.

SUMMARY

SYSTEM OF VECTOR CONTROL SYNCHRONOUS MOTOR WITH CAPACITIVE ENERGY STORAGE IN THE EXCITATION CIRCUIT

V. B. Nizimov, A. A. Snizhko
Dneprodzerzhinsk State Technical University
snizhkoa@ukr.net

A system for controlling the electric vector with the orientation of the rotor field by a synchronous motor with a capacitor bank in the circuit excitation was created. The diagram of this system was presented. The synthesis of speed and current regulators was done.

Key words: vector control, synchronous motor, capacitor, electric drive.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вейнгер А.М. Регулируемый синхронный электропривод / А.М. Вейнгер. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 224 с., ил.
2. Низимов В.Б. Влияние дискретного накопителя энергии на пусковые характеристики синхронного двигателя / В.Б. Низимов, А.А. Снижко // Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. – 2010. – №3, Ч.1. – С. 67-70.
3. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / А.Б. Виноградов / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2008. – 298 с.
4. Низимов В.Б. Математическая модель синхронного двигателя с емкостными накопителями энергии в контуре возбуждения / В.Б. Низимов, Р.В. Низимов // Проблемы создания новых машин и технологий. – Кременчуг: КГПИ, 2000. – Вып.1. – С. 41-44.
5. Башарин А.В. Управление электроприводами: учебное пособие для вузов / А.В. Башарин, А.В. Новиков, Г.Г. Соколовский. – Л.: Энергоиздат, Ленингр. отд-ние, 1982. – 392 с., ил.

Поступила в редакцию 6 июня 2011 г.