

МОМЕНТНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД СИСТЕМ НАВЕДЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

ФАЛЕЕВ М.В., д-р техн. наук, САМОК С.Г., соиск., ПОКЛАД П.М., студ.

Рассматриваются особенности проектирования моментных устройств наведения, построенных на базе векторного управления синхронными двигателями с постоянными магнитами.

Ключевые слова: электропривод, системы наведения, инвариантное управление, нечеткий регулятор, синхронный серводвигатель

THE ELECTRIC MOMENT DRIVE OF GUIDANCE SYSTEMS OF MOBILE ROBOTIC COMPLEXES

M.V. FALEEV, Doctor of Engineering, S.G. SAMOK, Applicant, P.M. POKLAD, Student,

The features of designing of guidance devices constructed on the basis of vectorial moment control by synchronous engines with permanent magnets are considered.

Ключевые слова: the electric drive, guidance systems, invariant control, indistinct regulator(control unit), synchronous servomotor.

Большинство устройств наведения объектов в вертикальной плоскости мобильных робототехнических комплексов систем вооружения стабилизаторов строится на базе гидроприводов [2], что существенно усложняет их эксплуатацию, не позволяет обеспечить высокие быстродействие и точность, отвечающие современным требованиям к тактико-техническим характеристикам этих механизмов, и снижает их конкурентоспособность. Опыт эксплуатации электроприводов переменного тока в робототехнических комплексах корабельного вооружения [1] позволяет выбрать направление модернизации систем вертикального наведения (ВН), заключающееся в замене электрогидравлического привода объектно-ориентированным мехатронным модулем, обеспечивающим выполнение необходимых перемещений посредством только электромашиного преобразователя энергии. Высоким динамическим и энергетическим требованиям, предъявляемым к приводам, используемым в механизмах ВН, отвечают синхронные двигатели с постоянными магнитами, эксплуатируемые в режиме бесколлекторного двигателя (БКД), соединяемые с управляемым объектом через ролик-винтовую передачу. Рассмотрим математическую модель бесколлекторного двигателя, которая определяется следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} U_d &= R I_d + L \frac{dI_d}{dt} - \Omega p L I_q, \\ U_q &= R I_q + L \frac{dI_q}{dt} + \Omega p L I_d + \Omega p K_f, \\ M &= \frac{m}{2} p K_f I_q, \\ J \frac{d\Omega}{dt} &= M - M_c, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где p – число пар полюсов БКД; m – число фаз статора; I_q, I_d – проекции токов на оси d и q соответственно; Ω – угловая скорость ротора; R, L – сопротивление и индуктивность рассеивания статорных обмоток; K_f – конструктивный коэффициент двигателя; J – момент инерции ротора и механизма.

Из системы (1) следует, что БКД обладает существенно нелинейными характеристиками, что обусловлено наличием реактивной составляющей токов статорных обмоток. Наиболее простым способом ее компенсации является использование прямого токового управления (DTC). Однако такой способ управления синхронным двигателем требует непосредственного измерения токов обмоток и малой зависимости электромагнитного момента от положения ротора. При невыполнении последнего условия существенно возрастают пульсации момента БКД, что усложняет применение эффекта «самостабилизации» объекта управления [2]. Учитывая особенности используемого в приводе вертикального наведения бесколлекторного двигателя, система регулирования его момента строится на базе принципов векторного управления в dq -системе координат, при этом инвариантность регулировочных характеристик двигателя достигается при выполнении следующих условий:

$$I_d = 0, \quad \frac{dI_d}{dt} = 0. \quad (2)$$

При этом система (1) приводится к виду

$$\left. \begin{aligned} U_q &= R I_q + L \frac{dI_q}{dt} + \Omega p K_f, \\ M &= \frac{m}{2} p K_f I_q, \\ J \frac{d\Omega}{dt} &= M - M_c. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Однако получение необходимой для реализации векторного управления информации из непосредственно измеряемых токов статорных обмоток посредством координатных преобразований связано с неизбежными погрешностями его реализации при ограниченной разрядности цифровых измерителей тока, дополнительными аппаратными и вычислительными затратами. Это значительно усложняет программные средства системы управления и техническую её реализацию. Кроме того, необходимость обеспечения высокой частоты управления током предъявляет жесткие требования к быстродействию аппаратного вычислительного комплекса системы управления, что далеко не всегда благоприятно сказывается на ее надежности, помехозащищенности и стоимости. Именно поэтому в моментном электроприводе ВН (рис. 1) используется система инвариантного управления моментом с восстановлением искомого значения тока I_q посредством идентификатора состояния (НТ).

При инвариантном управлении БКД выполнение условий (2) достигается формированием напряжения U_d посредством блока компенсации (БК), алгоритм работы которого представляется следующим выражением:

$$U_d(s) = -\Omega(s) p L \frac{U_q(s) - p K_f \Omega(s)}{T_a s + 1}, \quad (4)$$

где $T_a = L/R$ - электромеханическая постоянная времени статора.

Выражение (4) получено из условия инвариантности динамических характеристик БКД относительно момента нагрузки и частоты вращения его вала. Компенсация тока I_d позволяет трактовать БКД как двигатель постоянного тока, что существенно снижает трудоемкость синтеза оптимального управления, достигаемого путем регулирования тока I_q , од-

нозначно определяющего величину электромагнитного момента двигателя. Восстановление тока I_q по скорости и напряжению управления БКД производится редуцированным наблюдающим устройством, алгоритм которого определяется уравнениями вида

$$\left. \begin{aligned} \frac{dY_q}{dt} &= D_I (U_q K_U - \omega K_n - X_q), \\ X_q &= Y_q - \omega L_I, \end{aligned} \right\}$$

где K_U, K_n, L_I - параметры НТ; D_I - добротность НТ; Y_q - внутренняя переменная НТ; X_q - восстановленное значение тока I_q ; ω - вычисленное значение скорости вала.

Для цифровых систем управления очень важным является выбор способа выполнения вычислений, существенно влияющий на качественные показатели привода и комплекс требований, предъявляемых к используемому вычислителю. При этом обработка данных в формате с плавающей запятой характеризуется значительными временными затратами, что делает практически невозможным получение требуемой полосы пропускания электропривода. Компромиссным решением задачи является использование целочисленной математики, применение которой ведет к некоторым особенностям методики настройки элементов управления моментным приводом.

Необходимая достоверность воспроизведения тока I_q обеспечивается выбором добротности наблюдателя D_I с учетом его программной реализации исходя из следующего условия:

$$D_I = \frac{1024}{T_a f_I}, \quad (5)$$

где f_I - частота прерывания контроллера электропривода.

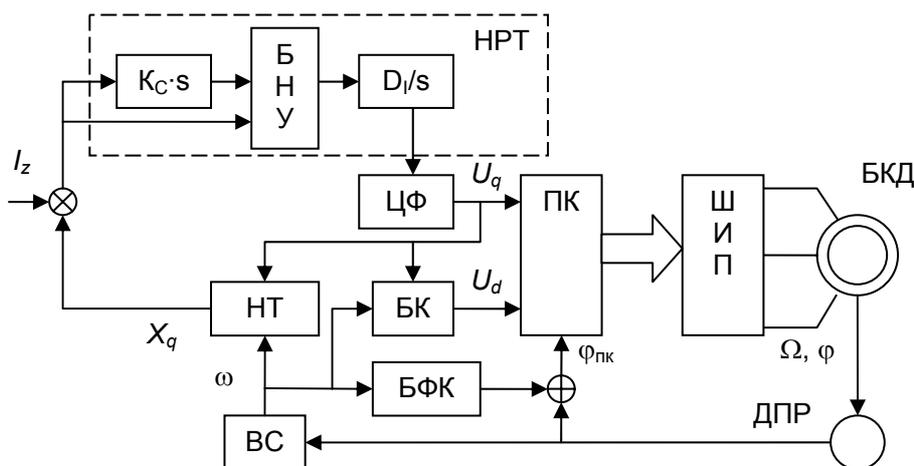


Рис. 1. Функциональная схема моментного привода: БКД – синхронный двигатель с постоянными магнитами; ДПР – датчик положения ротора; ШИП – силовой преобразователь на базе интеллектуального IGBT модуля; ПК – преобразователь координат; НРТ – нечеткий регулятор тока; БНУ – блок нечеткого управления; ЦФ – цифровой фильтр; НТ – наблюдатель тока; БК – блок компенсации I_d ; ВС – вычислитель скорости; БФК – блок фазовой коррекции

Снижение влияния вариации параметров объекта и повышение робастных свойств моментного электропривода обеспечиваются его «интеллектуализацией», которая достигается за счет применения нечеткого управления в регуляторе тока [3]. Основным свойством блока нечеткого управления является существенная зависимость его частотных свойств от величин и соотношения амплитуд входных сигналов, в качестве которых используются ошибка управления током и ее производная. Установлено, что свойства НРТ существенно зависят от формы функций принадлежности и метода дефазификации. Показано, что с ростом амплитуд входных сигналов при нечетком управлении плавно уменьшается коэффициент усиления при сохранении фазовой характеристики, что обеспечивает увеличение степени устойчивости моментного привода и его помехозащищенности. Однако при «малых» величинах управляющих сигналов нечеткий регулятор тока практически не отличается от линейного, что позволяет использовать традиционные методы синтеза таких систем.

Оптимальное управление током, а следовательно, и моментом достигается посредством ПИ-регулятора с передаточной функцией вида

$$W_{CC}(s) = \frac{D_C}{s} (1 + K_C s), \quad (6)$$

где D_C , K_C – добротность и коэффициент коррекции регулятора тока.

В соответствии с методикой синтеза систем подчиненного управления, оптимальная настройка контура управления током «в малом», обеспечиваемая при полной компенсации электромагнитной постоянной времени БКД, достигается при выборе коэффициента коррекции регулятора K_C по следующему выражению:

$$K_C = \frac{1024}{D_I}. \quad (7)$$

Выражение (7) связывает настройки наблюдателя и регулятора тока. Необходимая полоса пропускания контура регулирования тока ограничивается цифровым фильтром с эквивалентной передаточной функцией вида

$$W_{DF}(s) = \frac{1}{1 + \frac{16s}{D_F f_I}}, \quad (8)$$

где D_F – добротность ЦФ.

Оптимальная настройка контура тока достигается при выборе добротности регулятора тока, обеспечивающего необходимое распределение корней характеристического уравнения, соответствующее настройке конту-

ра на «модульный» оптимум. Исходя из этого, добротность регулятора тока определяется как

$$D_C = \frac{D_F}{16 K_U K_{FC}}, \quad (9)$$

где K_{FC} – коэффициент связи между выходом НТ и входом регулятора тока.

На рис. 2 представлены частотные характеристики моментного привода ВН, снятые при разных амплитудах сигналов задания M_K .

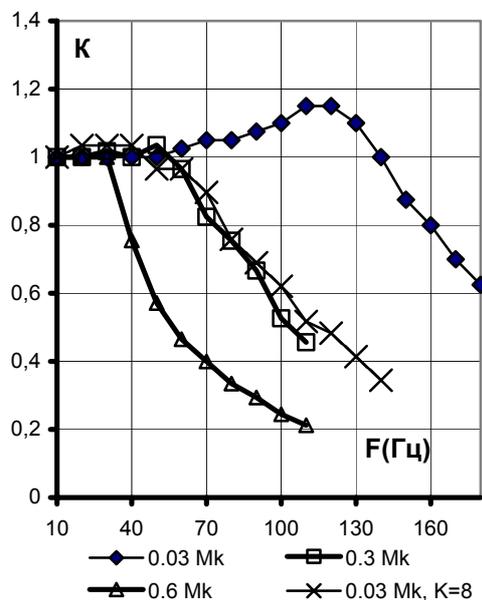


Рис. 2. Частотные характеристики привода ВН

Установлено, что при больших значениях производной ошибки ограничивается коэффициент усиления регулятора, что приводит к резкому уменьшению выходного сигнала.

Результаты предварительного исследования моментного электропривода для вертикального наведения показывают, что выбранные способы его построения обеспечивают высокие робастные свойства системы, широкую (до 150 Гц) полосу пропускания при низкой чувствительности к скоростным возмущениям.

Список литературы

1. Новоселов Б.В., Зезин И.Г. Три поколения приводов переменного тока для зенитных корабельных комплексов ПВО // Оборонная техника. – 2006. – № 8. – С. 32–44.
2. Новоселов Б.В., Слипенко Г.К. Результаты теоретической и экспериментальной отработки электрогидравлического привода наведения стабилизации танковой пушки в вертикальной плоскости // Оборонная техника. – 2006. – № 8. – С. 24–29.
3. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления / Под ред. Н.Д. Егушова. – М.: Изд-во МГТУ, 2002.

Самок Сергей Георгиевич,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
соискатель кафедры технологии автоматизированного машиностроения,
телефон (4932) 26-97-73.

Фалеев Михаил Владимирович,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор кафедры технологии автоматизированного машиностроения,
телефон (4932) 26-97-73.

Поклад Павел Михайлович,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
студент кафедры электроники и микропроцессорных систем,
телефон (4932) 26-97-73.