

КОМБИНИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОЗИЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ С ЗАДАЮЩЕЙ МОДЕЛЬЮ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА

К.Я. Шабо

Технический институт (филиал) ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», г. Нерюнгри

Показано, что в целях экономии электроэнергии важную роль играют микропроцессорные системы управления, в основе которых – задающие модели с выходными сигналами, изменяющимися пропорционально диаграммам перемещения, скорости, ускорения (тока), а также производной ускорения во времени (рывка). Автором разработана общая задающая модель второго порядка с тремя выходными сигналами, пропорциональными заданным значениям скорости, ускорения и рывка или положению, скорости и ускорению. Задающая модель построена на базе интегрирующих звеньев и релейных устройств с учетом внутренней обратной связи двигателя, позволяющей формировать оптимальные законы изменения управляемых координат, что облегчит реализацию ограничения производной тока якоря без специального регулятора производной тока, применение которого усложняет настройку системы и повышает ее чувствительность к параметрическим возмущениям.

Ключевые слова: системы управления, комбинированное управление, микроконтроллер, компенсация инерционности, задающая модель, многосвязная система.

Важное место в технической политике любого развитого государства занимают задачи совершенствования оборудования и технологии промышленного производства. Если иметь в виду, что более половины всей электрической энергии, вырабатываемой в каждой промышленно-развитой стране, преобразуется электрическими приводами в механическую энергию, то актуальной становится задача разработки методов и построения структур систем управления, оптимизирующих по определенным критериям режимы работы электроприводов.

Существенное влияние на выбор системы управления электроприводом оказывают разного рода дестабилизирующие факторы, обусловленные нелинейными характеристиками управляемых преобразователей и электрических машин, ограниченной точностью изготовления и конечной жесткостью элементов кинематических цепей, сложной природой технологических процессов, а также неполнотой априорной информации о параметрах и свойствах объекта управления. В этой связи, нельзя добиться желаемых результатов, используя для построения систем управления сложными техническими объектами классические методы синтеза.

Необходимость создания систем управления объектами с переменными параметрами привела к развитию теории комбинированного управления. Построение таких систем базируется на сочетании принципа управления по отклонению при построении основного координатного контура и принципа управления по возмущениям параметрического типа при построении контура адаптации. Однако принципы адаптации не предусматривают устранения влияния координатных возмущений на свойства замкнутых систем.

Теоретически исчерпывающее решение задачи управления нестационарными объектами в условиях действия координатных возмущений дает идея построения систем, устойчивых при неограниченном увеличении коэффициента усиления, реализация которых за счет использования скользящих режимов нелинейных элементов позволяет при определенных условиях обеспечить нулевую чувствительность систем управления к параметрическим и координатным возмущениям.

Создание микропроцессорных систем, с помощью которых возможна реализация сложных алгоритмов, в настоящее время делает реальным проектирование оптимально функционирующих электромеханических систем. Наиболее сложными электромеханическими системами являются многодвигательные технологически взаимосвязанные электроприводы. Такие системы применяются на предприятиях ряда отраслей промышленности (металлургической, горнодобывающей, строительной, полиграфической и т. д.).

Кроме средств контроля технологических параметров, система управления должна обеспечить формирование необходимых ограничений и заданных величин ускорения, ЭДС двигателя, скорости, вращающего момента. Таким образом, система управления многодвигательным электроприводом в общем случае является многосвязной, в ней воспроизведение задающих величин, управляемых переменных реализуется как с помощью замкнутых контуров регулирования, так и с использованием прямых каналов комбинированного управления.

В зависимости от сложности механизма и предъявляемых к точности и быстродействию требований количество используемых прямых каналов может быть различным. Целесообразно на базе

микроконтроллеров построить задающую модель с выходными сигналами, изменяющимися пропорционально желаемым диаграммам перемещения, скорости, ускорения (тока), а также производной ускорения по времени (рывка).

Рывок является главным обобщающим критерием режимов работы электроприводов с упругими звеньями (приводов различного рода крановых механизмов, шахтных подъемников, одноковшовых экскаваторов, конвейерных установок) и дает возможность правильно подойти к выбору оптимальной скоростной диаграммы разгона и замедления. Для полной компенсации инерционности системы с помощью прямых каналов комбинированного управления универсальная задающая модель должна иметь на выходе сигнал, пропорциональный второй производной ускорения по времени.

Функции многоканальной (задающей модели) состоят в формировании сигналов, пропорциональных заданным значениям управляемых переменных, в пределах, налагаемых на них ограничений. Выходные сигналы подаются по прямым каналам на входы соответствующих регуляторов при сохранении подчиненных контуров регулирования координат. В этом случае быстродействие и точность регулирования координат существенно повышается, так как все сигналы заданных значений управляемых переменных подаются на регуляторы одновременно.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- определить структуру универсальной системы управления электроприводом, обеспечивающей оптимальное распределение нагрузки между двигателями;

- реализовать регулируемое ограничение производной тока с помощью задающей модели без специального регулятора;

- разработать структуру многосвязной системы оптимального распределения сигнала суммарного заданного вращающего момента (тока) между отдельными двигателями;

- обосновать правомерность представления упруго-вязкого звена трансмиссии с распределенными параметрами математической моделью второго порядка и на ее основе составить структурную и алгоритмическую схемы электропривода с упругими звеньями;

- модернизировать структуру задающей модели второго порядка для возможности формирования управляющего сигнала, пропорционального двухступенчатой диаграмме заданного суммарного тока двигателя, обеспечивающей оптимизацию системы электропривода по динамическим нагрузкам.

Итак, в качестве базового устройства в комбинированной системе управления может быть применена многоканальная задающая модель, которая формирует задающие воздействия, изменяющиеся во времени пропорционально желаемому

изменению управляемых координат, и компенсирует ошибку отслеживания [1, 2]. Если кроме задающей модели используется и блок наблюдения за соответствием действительного режима заданному, то система управления будет иметь две степени свободы, следовательно, точность отработки заданного режима повысится. В работе приведены результаты исследований систем оптимального управления позиционным электроприводом.

Современные системы электропривода циклического действия (приводы экскаваторов, подъемных машин, промышленных манипуляторов и других механизмов) строятся по принципу подчиненного регулирования координат. В большинстве случаев главным требованием к механизмам циклического действия является перемещение рабочего органа на заданное расстояние за минимальное время. Поэтому при выборе оптимальных диаграмм скорости и ускорений, а также соответствующих управляющих воздействий такую систему электропривода следует рассматривать как позиционную. Задача оптимизации системы позиционного управления состоит в перемещении рабочего органа на заданное расстояние (S_m) за минимальное время (T_0) при соблюдении следующих ограничений:

$$\int_0^{T_0} V(t) dt = S_m;$$

$$V(t) = \frac{ds}{dt} \leq V_{m.0};$$

$$a(t) = \frac{dv}{dt} \leq a_m;$$

$$P(t) = \frac{a^2 \cdot v}{dt^2} = P_m;$$

$$\frac{dP}{dt} = \infty;$$

$$V(0) = V(T_0) = 0,$$

где $V(t)$, $a(t)$, $P(t)$ – соответственно, скорость, ускорение и рывок, являющиеся в общем случае управляемыми переменными; S_m , $V_{m.0}$, a_m , P_m – их ограничиваемые значения.

Для того чтобы управление было оптимальным, время (t_s), соответствующее любому пройденному отрезку пути S , при заданных ограничениях должно быть минимальным, то есть стремиться к минимальному времени T_0 :

$$t_s = f(V, V_{m.0}, a, a_m, P, P_m, S) \rightarrow \min. \quad (1)$$

Условие (1) будет выполняться, если в каждый момент времени хотя бы одна из переменных достигает ограничиваемой величины. Если за период одного цикла все переменные последовательно достигают ограничений, то текущее значение перемещения $S(t)$ можно представить зависимостью:

$$S(t) = P_m \left[\sum_{i=0,3,5,6} \bar{(t-t_i)}^3 - \sum_{i=1,2,4,7} \bar{(t-t_i)}^3 \right] / 6, \quad (2)$$

где t_i – моменты времени, соответствующие ступенчатому изменению рывка P , который может принимать значения: 0; ($+P_m$); ($-P_m$).

Таким образом, основным управляющим сигналом в устройстве, формирующим оптимальные задающие воздействия, должен быть сигнал U_p , ступенчато изменяющийся по закону изменения рывка P . Из зависимости (2) следует, что, если все переменные (P, a, V, S) достигают ограничений, то число переключений (Z) сигнала U_p будет равно 2^q , где q – порядок высшей производной $S(t)$ по времени. В нашем случае $P = d^3S/dt^3$, т. е. $q = 3$, $Z = 8$ (рис. 1).

При малых заданных перемещениях, а также при различных маневровых операциях возникают режимы работы, когда действительная скорость не достигает ограничиваемых величин за время цикла $t_0 = t_7$.

Так, если только максимальная скорость не достигает ограничения $V_{m,c}$, то

$$S(t) = P_m \left[\sum_{i=0,5,6} \bar{\sum} (t - t_i)^3 - \sum_{i=1,2,7} \bar{\sum} (t - t_i)^3 \right] / 6, \quad (3)$$

и количество переключений Z уменьшается до 6, так как отсутствуют переходы от ускоренного движения к равномерному t_3 и от равномерного хода к периоду замедления t_4 .

При ещё меньших требуемых перемещениях ограничений может не достигать не только скорость, но и ускорение. Тогда

$$S(t) = \left[P_m(t - t_0)^3 - 2P_m(t - t_{1,2})^3 + 2P_m(t - t_{5,6})^3 - P_m(t - t_1)^3 \right] / 6. \quad (4)$$

Здесь отсутствует равномерное движение и периоды равноускоренного и равнозамедленного движения, поэтому моменты времени t_1 и t_2 , а также t_5 и t_6 совпадают ($t_{1,2} = t_1 = t_2$; $t_{5,6} = t_5 = t_6$). Количество переключений Z уменьшается ещё на две единицы и становится равным 4.

Из приведенных зависимостей следует, что для достижения оптимального по быстродействию режима управления электроприводом достаточно обеспечить ступенчатое изменение сигнала, про-

порционального рывку, в моменты времени t_i (изменение сигналов на рис. 1 показано стрелками) или при достижении низшими производными (V и a) определенных, соответствующих периодам t_i значений. Так, если переключение осуществлять по скорости и ускорению, то для режима управления, соответствующего рис. 1, второе переключение должно произойти при $a = a_m$, третье при $V = V_{m,0} - 0,5 \cdot a_m^2/P_m$ и т. д.

Поскольку при малых заданных перемещениях скорость и ускорение не достигают ограничиваемых значений, то система управления должна иметь блок адаптации, определяющий оптимальную для каждого заданного перемещения S_m максимальную скорость $V_m \leq V_{m,0}$.

Характерной особенностью многоканальных ЗМ является формирование нескольких задающих воздействий, которые могут использоваться как входные переменные для замкнутых контуров регулирования или в виде прямых передач сигнала, который не сравнивается с соответствующей данному сигналу управляемой координатой объекта.

Функциональная схема комбинированной системы позиционного управления с ЗМ-З показана на рис. 2. Объект управления представлен регулируемым электроприводом (РЭП) и рабочей машиной (РМ).

Регулируемыми координатами являются перемещение рабочего органа S_d и скорость V_d . Применение задающей модели, формирующей оптимальные управляющие воздействия, оптимизирует систему по режиму управления. Если РЭП обеспечивает обработку управляющих воздействий с минимальными погрешностями ($S_d \approx S$, $V_d \approx V$), то система управления будет оптимальной и по переходным процессам.

Если в системе не ограничивается рывок ρ , полагая в приведенных выше зависимостях $\rho = \infty$, получим задающую модель второго порядка (ЗМ-2) с двумя интегрирующими звеньями (рис. 3), которая может использоваться как в позиционных электроприводах, так и при управлении скоростью.

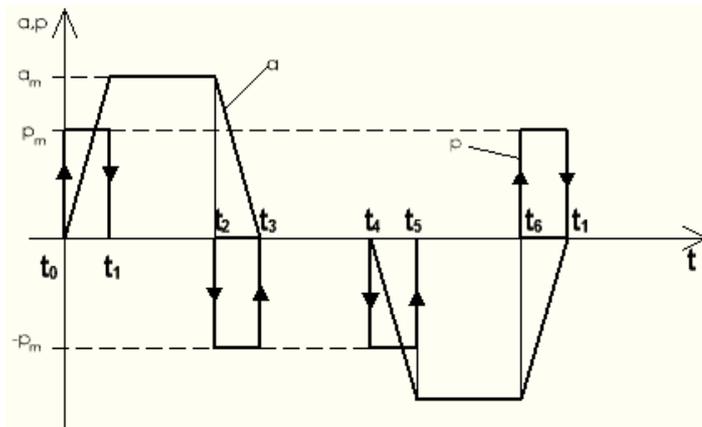


Рис. 1. Диаграмма изменения ускорения и рывка при числе переключений $n = 8$

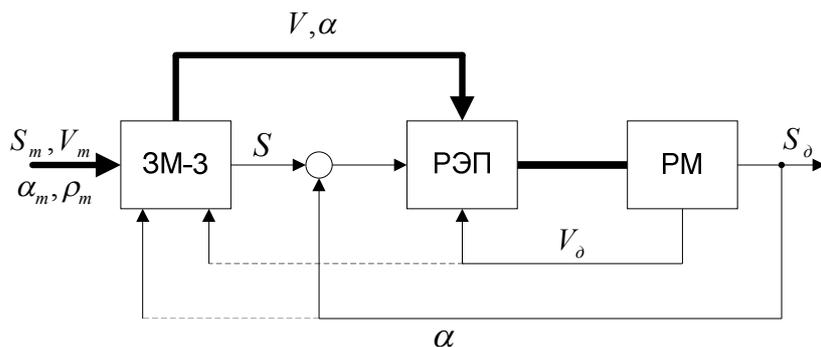


Рис. 2. Функциональная схема комбинированной системы позиционного управления с ЗМ-3

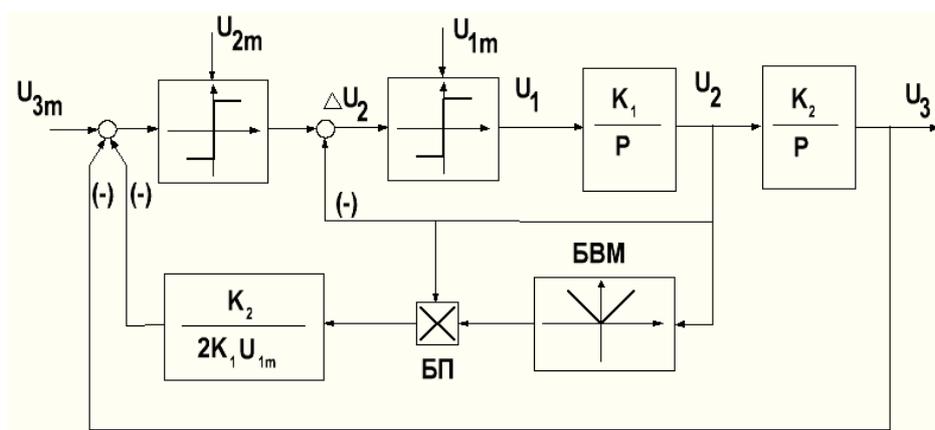


Рис. 3. Схема задающей модели второго порядка (ЗМ-2) с двумя интегрирующими звеньями: U_{1m} , U_{2m} , U_{3m} – управляемые сигналы; U_1 , U_2 , U_3 – исходящий сигнал; K_1 , K_2 – коэффициенты, определяемые отношением (T_0/T_i) ; БМ – блок внутреннего моделирования; БП – блок переключения

Литература

1. Чермалых, В.М. Построение адаптивных систем позиционного управления электроприводами машин и установок / В.М. Чермалых, Ю.А. Афанасьев, Т.В. Чермалых // Изв. вузов. Горный журнал. – 1992. – № 10. – С. 73–77.
2. Алтухов, Е.И. Алгоритмическое обеспечение микропроцессорного управления машинами и установками циклического действия / Е.И. Алтухов, Т.В. Чермалых // Вестник Киевского политехнического института. «Горная электромеханика и автоматика». – 1993. – Вып. 24. – С. 20–29.

3. Чермалых, Т.В. Системы оптимального управления позиционным тиристорным электроприводом с многоканальной задающей моделью / Т.В. Чермалых, Халед Махди, Камил Шабо // Институт электродинамики НАН Украины. – 1994. – С. 10–11.

4. Бутковский, А.Г. Оптимальное управление системами с распределенными параметрами / А.Г. Бутковский // Тезисы докладов на втором международном конгрессе ИФАК. – М. – 1963. – 17 с.

5. Бутковский, А.Г. Характеристики систем с распределенными параметрами: справ.е пособие. – М.: Наука. – 1979. – 224 с.

Шабо Камил Якуб, канд. техн. наук, доцент, кафедра «Электропривод и автоматизация производственных процессов», Технический институт (филиал) ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», г. Нерюнгри; kamilshabo@rambler.ru.

Поступила в редакцию 16 мая 2016 г.

COMBINED SYSTEM OF POSITIONAL CONTROL WITH SETTING THIRD-ORDER MODEL

K.Ya. Shabo, kamilshabo@rambler.ru

*Technical Institute (Branch) of M.K. Ammosov North-Eastern Federal University,
Neryungri, Russian Federation*

The microprocessor control systems based on the setting models with outputs changing proportionally to the diagrams of displacement, rate, acceleration (current) and derivate acceleration in time (jerk) play an important role in power saving. The authors have developed a general second-order model with three output signals proportional to the set values of speed, acceleration and jerk or to position, velocity and acceleration. This setting model is based on integral units and relay gears considering internal motor feedback. They enable development of optimum patterns of controlled coordinate change and facilitate implementation of the limits of the derivative of the armature current without a special controller of the current derivative, which complicates the system configuration and increases its sensitivity to parametric changes.

Keywords: control system, combined control, microcontroller, inertia compensation, setting model, multi-variable system.

References

1. Chermalykh V.M., Afanas'ev Yu.A., Chermalykh T.V. [Construction of Adaptive Positional Control Systems of Electric Machines and Plants]. *Izv.vuzov. Gornyyzhurnal* [Proceedings of the Universities. Mining Journal], 1992, no. 10, pp. 73–77. (in Russ.)
2. Altukhov E.I., Chermalykh T.V. [Algorithmic Support of Microprocessor Control of Cyclic Machines and Plants]. *Vestnik Kievskogo politekhnicheskogo instituta. Gornaya elektromekhanika i avtomatika* [Bulletin of the Kiev Polytechnic Institute. Mining Electrical and Automation], 1993, no. 24, pp. 20–29. (in Russ.)
3. Chermalykh T.V., Makhdi Khaled, Shabo Kamil. [Optimal Control Systems of Positional ThyristorElectric Drive with a Multi-Channel Defining Model]. *Institut elektrodinamiki NAN Ukrainy*, 1994, pp. 10–11. (in Russ.)
4. Butkovskiy A.G [Optimal Control of Systems with Distributed Parameters]. *Tezisy dokladov na vtorom mezhdunarodnom kongresse IFAK*, Moscow, 1963. 17 p. (in Russ.)
5. Butkovskiy A.G. *Kharakteristiki sistem s raspredelennymi parametrami: spravochnoe posobie* [Characteristics of Systems with Distributed Parameters: a Reference Guide]. Moscow, Nauka Publ., 1979. 224 p.

Received 16 May 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Шабо, К.Я. Комбинированная система позиционного управления с задающей моделью третьего порядка / К.Я. Шабо // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 47–51. DOI: 10.14529/power160206

FOR CITATION

Shabo K.Ya. Combined System of Positional Control with Setting Third-Order Model. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2016, vol. 16, no. 2, pp. 47–51. (in Russ.) DOI: 10.14529/power160206