

УДК 621.34:62-50

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С НЕЛИНЕЙНЫМ МОДАЛЬНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ

А.Б. ВИНОГРАДОВ, В.Ф. ГЛАЗУНОВ, Н.Е. ГНЕЗДОВ, С.К. ЛЕБЕДЕВ

(Ивановский государственный энергетический университет)

В настоящей статье (см. также [1], [2]) рассматривается электропривод много-массового объекта с нелинейным модальным регулятором переменной структуры, обеспечивающий устранение

колебаний и расширение полосы пропускания. Функциональная схема системы управления электроприводом представлена на рис.1.

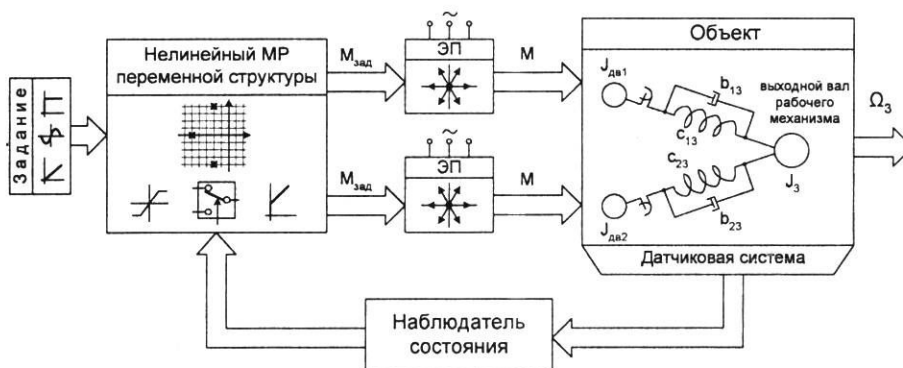


Рис. 1

Задающий сигнал (рис. 1) от системы управления верхнего уровня (контура положения или технологического регулятора) поступает на нелинейный модальный регулятор, задачей которого является обеспечение монотонного характера переходных процессов в системе. Каждый из двух электроприводов состоит из двигателя переменного тока, силового транзисторного преобразователя и системы управления электроприводом, реализующей векторное управление током статора двигателя с ориентацией по полю ротора [3]. Поскольку переходные процессы в контуре момента двигателя длятся менее 1 миллисекунды [4], привод считаем безынерционным преобразователем сигнала

управления в момент двигателя.

В качестве объекта регулирования принята упруговязкая трехмассовая система, параметры которой экспериментально определены на действующей двухдвигательной установке. В целях синтеза элементов системы управления (регуляторов и наблюдателей) трехмассовая система была эквивалентирована двухмассовой и затем приведена к валу двигателя [5].

Для регулирования скорости выходного вала рабочего механизма разработан нелинейный модальный регулятор, требующий информации обо всех переменных состояниях объекта. Поскольку в реальной установке мы имеем информацию только о

скорости двигателя, в системе управления в качестве устройства косвенного определения координат объекта используется наблюдатель состояния.

Из множества синтезированных вариантов наблюдателей (наблюдатель состояния полного порядка (НС), редуцированный (РНС), астатический (АНС), астатический редуцированный (АРНС), наблюдатели состояния с повышенным порядком астатизма, наблюдатели состояния с несколькими входами) в предлагаемой системе управления использован наблюдатель состояния полного порядка, так как он обеспечивает наилучший баланс между

качеством восстановления переменных объекта и простотой практической реализации [5].

Основной с точки зрения динамики целью управления в рассматриваемой системе является достижение монотонности переходных процессов и расширение ее полосы пропускания. Обеспечение астатичности контура скорости системы к изменению момента нагрузки часто не является обязательным условием, так как задача статической точности может быть решена во внешних контурах управления.

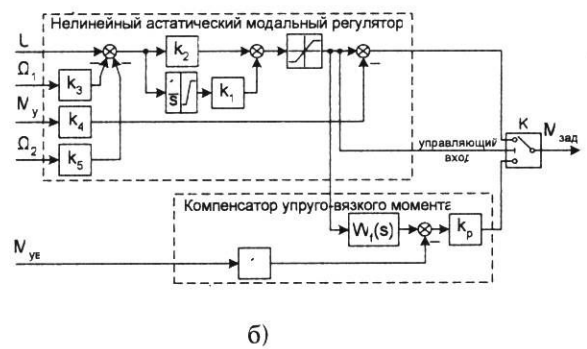
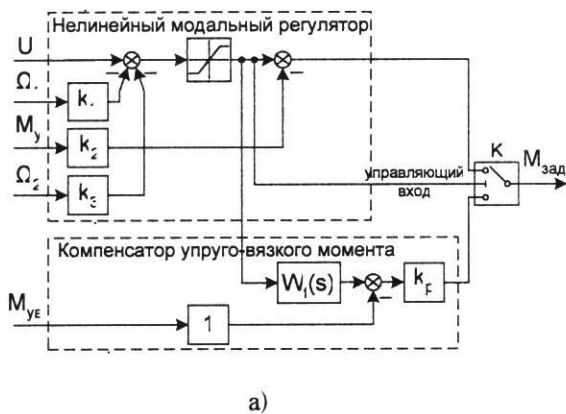


Рис. 2

В основе предложенной многоконтурной модальной нелинейной системы управления может быть либо нелинейный модальный регулятор (МР) (рис. 2-а), либо нелинейный астатический модальный регулятор (АМР) (рис. 2-б). Синтез МР и АМР и полученные аналитические зависимости коэффициентов регуляторов от параметров объекта и среднегеометрического корня регулятора ω_{0r} приведены в [5].

Нелинейность регулятора заключается в использовании ограничения сигнала, поступающего на вход контура упругого момента (рис. 2-а, б). Это ограничение позволяет предотвратить превышение упругим моментом определенной величины, что весьма важно в реальной системе. Однако на время действия ограничения система управления фактически размыкается по скоростям двигателя и нагрузки и функционирует лишь замкнутый контур упру-

го момента с постоянным сигналом на входе, равным уровню ограничения.

Как показали исследования, динамика контура упругого момента не удовлетворяет заданным требованиям. Так, при обработке скачкообразного изменения задания имеют место затухающие колебания упругого момента с начальной амплитудой, в 1,7 раза превышающей уровень задания. Вследствие этого контур упругого момента на время действия ограничения в модальном регуляторе должен быть оптимизирован.

Критерием оптимизации является требование монотонности переходных процессов в контуре упругого момента при действии ограничения в модальном регуляторе. Поскольку разница упругого M_y и упруговязкого $M_{ув}$ моментов есть величина постоянная, а сигналы указанных моментов равнодоступны благодаря использованию наблюдателя состояния, то с целью

упрощения процедуры оптимизации был рассмотрен контур упруговязкого момента $M_{ув}$. Расчетная схема контура упруговязкого момента приведена на рис. 3.

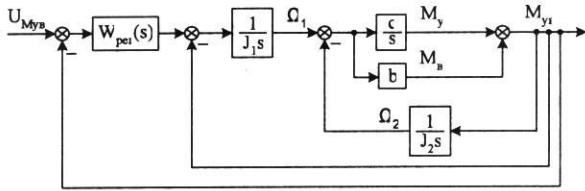


Рис. 3

Одно из возможных решений этой задачи достигается изменением структуры регулятора на время действия ограничения. Переключение структуры системы управления осуществляется ключом К (рис. 2). Порог срабатывания К связан с уровнем ограничения упругого момента, ниже которого линейный МР (или АМР) обеспечивает монотонное изменение скорости выходного вала рабочего механизма. При превышении уровня ограничения упругого момента структура переключается на компенсатор упруговязкого момента (рис. 2), обеспечивающий монотонность переходных процессов этой координаты. Компенсатор состоит из регулятора, встраиваемого в прямой канал контура, и входного фильтра.

Синтезированы следующие варианты регулятора упруговязкого момента: пропорциональный (П), дифференциальный (Д), интегро-дифференциальный (ИД), пропорционально-дифференциальный (ПД) и пропорционально-интегро-дифференциальный (ПИД). Их анализ показал, что

несмотря на то, что при использовании П-, Д- и ИД-регуляторов отсутствует возможность независимого задания среднегеометрического корня ω_{0t} характеристического уравнения оптимизированного контура упруговязкого момента, все варианты регуляторов упругого момента одинаково хорошо обеспечивают монотонность процессов. Это позволило принять за основу в разработанной системе управления П-регулятор, как наиболее простой в реализации.

Однако при его использовании в оптимизированном по характеристическому уравнению контуре упруговязкого момента имеет место негативное влияние нулей передаточной функции контура на его динамику. С целью исключения этого влияния на входе замкнутого контура упругого момента располагаем фильтр, компенсирующий действие нулей передаточной функции замкнутого контура.

Для анализа предложенной системы управления был создан ряд моделей в Simulink Matlab. При этом были приняты следующие значения параметров трехмассовой упруговязкой системы, экспериментально определенные на реальной двухдвигательной установке и приведенные к валу двигателя:

$$J_{дв1} = J_{дв2} = 0,0277 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_{н} = J_3 = 0,277 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$c_{13} = c_{23} = 276,816 \text{ Н} \cdot \text{м/рад};$$

$$b_{13} = b_{23} = 0,415 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с/рад}.$$

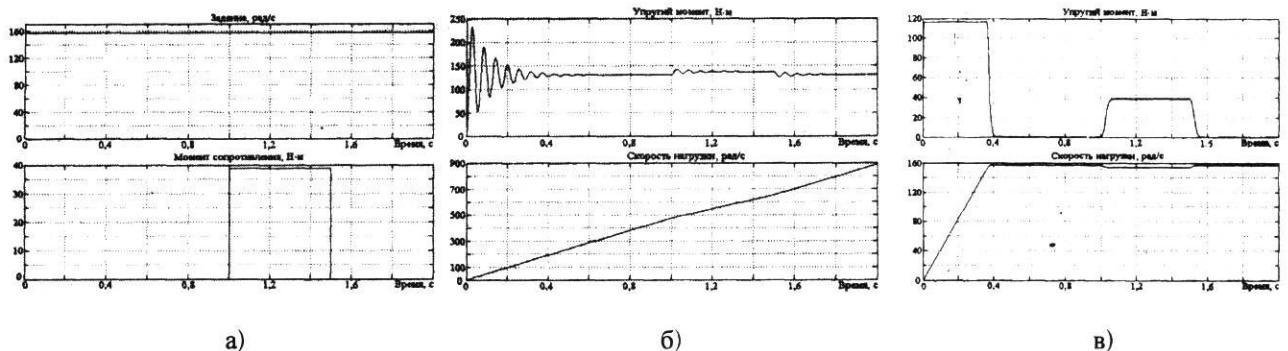


Рис. 4

Было проведено исследование объекта управления – трехмассовой упруговязкой системы. На рис. 4-а представлены графики входных воздействий – задания и возмущения, а на рис. 4-б – реакция трехмассовой упруговязкой системы на эти воздействия. Из рис. 4-б следует, что объект по своей природе является колебательным.

Исследования позволили установить, что частота собственных колебаний рассматриваемого объекта составляет 17,3 Гц, что сопоставимо с рабочими частотами современных электроприводов (50...250 Гц), то есть система управления должна ком-

пенсировать негативное действие упругих кинематических связей.

Проведены исследования разработанной системы управления на разных уровнях скорости вниз от номинальной в диапазоне 1000:1. Система управления настраивалась на полосы пропускания от 10 до 200 Гц. На рис. 4-в представлена реакция системы с разработанным регулятором (рис. 2-а) на воздействия, представленные на рис. 4-а. При этом параметры регулятора с настройкой на полосу пропускания системы 20 Гц определены следующим образом:

$$k_1 = \frac{3J_1 J_2 \omega_{0r} - b(J_1 + J_2)}{J_2} = 24,91 \text{ (Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с/рад)},$$

$$k_2 = \frac{-bJ_1 J_2 \omega_{0r}^3 + 3cJ_1 J_2 \omega_{0r}^2 - c^2(J_1 + J_2)}{J_2 c^2} = 5,57,$$

$$k_3 = \frac{J_1 J_2^2 \omega_{0r}^3 - 3cJ_1 J_2 \omega_{0r} + bc(J_1 + J_2)}{J_2 c} = 81,58 \text{ (Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с/рад)},$$

$$k_p = \frac{4cJ_1 J_2 - b^2(J_1 + J_2)}{b^2 J_2} = 175,63, \quad W_f(s) = \frac{c(J_1 + J_2(1 + k_p))}{J_2 k_p (c + bs)}.$$

Полученные результаты подтверждают, что система управления обеспечивает монотонность динамики в упруговязком объекте в указанных выше диапазоне регулирования скорости и заданиях полосы пропускания.

ВЫВОДЫ

1. Предложенная система управления с нелинейным модальным регулятором переменной структуры обеспечивает монотонность переходных процессов в широком диапазоне регулирования скорости.

2. Разработанные методики синтеза элементов этой системы при микропроцессорной реализации обеспечивают простоту алгоритмов расчета и автонастройки параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глазунов В.Ф., Тарарыкин С.В. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1980, №1. С.76...80.
2. Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г. Автоматизированный электропривод с упругими связями. 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербург. отд-ние, 1992.
3. Рудаков В.В., Столяров И.М., Дартау В.А. Асинхронные электроприводы с векторным управлением. – Л.: Энергоатомиздат, 1987.
4. Виноградов А.Б., Чистосердов В.Л., Сибирцев А.Н. // Электротехника. – 2003, №7. С.7...17.
5. Виноградов А.Б., Глазунов В.Ф., Гнездов Н.Е., Лебедев С.К. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2003, №5. С.87...93.

Рекомендована кафедрой электропривода и автоматизации промышленных установок. Поступила 31.01.05.