

СИНТЕЗ ПИД-РЕГУЛЯТОРА МЕТОДОМ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ

Сатинов Е. Е., Петухов В. И., Кийко В. Н.

Центр 1.6, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

E-mail: satinov.ee.study@gmail.com, vladpetuhov88@mail.ru, kiyko@bsuir.by

Рассматриваются постановка задачи и принцип построения ПИД-регулятора методом обратной задачи динамики на примере коллекторного двигателя постоянного тока.

ВВЕДЕНИЕ

Когда идёт речь об обратных задачах, то под этим понимается задание, где требуется определить причины, если известны полученные в результате наблюдений следствия. Довольно распространены ситуации, в которых объект/процесс недоступны для непосредственного наблюдения. Например, когда требуется определить теплофизические параметры тела по измерениям некоторого температурного поля.

I. ОБЩАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В качестве изучаемого объекта выступает динамическая система, и решение многих прикладных проблем вызывает необходимость определения неизвестных и недоступных прямому измерению характеристик динамической системы (возмущений, помех, управлений, коэффициентов, параметров) по измерениям ее фазовых состояний [2, с. 101].

Общая постановка задачи такова. Пусть имеется объект управления, который можно описать в виде дифференциального уравнения n -го порядка, представленного ниже, в котором присутствует возмущение и управляющий сигнал:

$$F(x^{(n)}, x^{(n-1)}, \dots, x, \xi, t) = u \quad (1)$$

Фазовые переменные, описывающие состояние объекта управления, возмущения ξ и управление u зависят от времени. Выражение (1) может быть нестационарным, т.е. параметры которого явно изменяются во времени, а также содержать нелинейности.

II. ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ РЕГУЛЯТОРА

Принцип построения регулятора заключается в отработке известного закона управления, который описывается дифференциальным уравнением с порядком, не ниже порядка уравнения, описывающего объект управления [1, с. 238]:

$$f(x^{(m)}, x^{(m-1)}, \dots, x, \psi, \psi^{(1)}, \dots, \psi^{(k)}, t) = 0,$$

где $\psi, \psi^{(1)}, \dots, \psi^{(k)}$ – управляющий сигнал и его производные.

Количество производных выбирается так, чтобы полностью описать требуемый закон управления.

III. ПРИМЕР НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Рассмотрим организацию управления коллекторным двигателем постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов. Метод обратной задачи динамики (ОЗД) будет использоваться для компенсации нелинейности в уравнении динамики двигателя, так как имеется существенное влияние нелинейного вязкого трения вала, пропорционального квадрату скорости его вращения. Уравнение электромеханической системы выглядит так:

$$\dot{\omega} = \frac{1}{J} (k_t \Phi I - B\omega - D\omega^2 - M_l);$$

$$\dot{I} = \frac{1}{L} (U - k_e \omega - RI).$$

Разработаем регулятор по методу ОЗД, чтобы динамика ошибки отработки задания по скорости двигателем соответствовала таковой для колебательного звена, описываемого выражением:

$$T^2 \ddot{\omega} + 2T\xi \dot{\omega} + \omega = \psi.$$

Чтобы получить выражение, окончательно описывающее регулятор, необходимо свести систему двух уравнений первого порядка к одному уравнению второго порядка [1, с. 267]. Для этого продифференцируем первое уравнение системы по времени (считая момент нагрузки неизменным):

$$J\ddot{\omega} = \Phi \dot{I} - B\dot{\omega} - 2D\omega\dot{\omega}.$$

Путём преобразований получим:

$$U = \frac{JL}{\Phi K_t} \left[\left(\frac{R}{L} + \frac{B}{J} - \frac{2\xi}{T} \right) \dot{\omega} + \frac{2D}{J} \omega \dot{\omega} + \left(\frac{\Phi K_t K_{e+RB}}{JL} - \frac{1}{T^2} \right) \omega + \frac{RD}{JL} \omega^2 + \frac{RM}{JL} + \frac{\psi}{T^2} \right].$$

Подадим на входы двух двигателей, один из которых дополнен регулятором, реализованным по принципу ОЗД, ступеньку с амплитудой 10 вольт в соответствии со схемой, изображённой на рисунке 1:

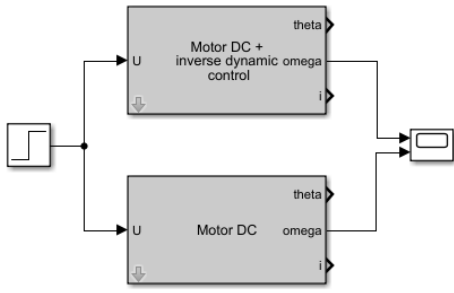


Рис. 1 – Схема для измерения реакции на воздействие

Реакция системы на ступеньку с амплитудой 10 вольт изображена на рисунке 2:

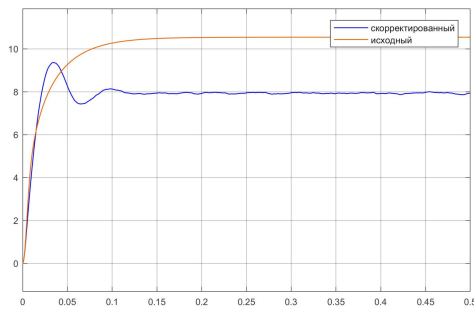


Рис. 2 – Реакция на ступеньку с амплитудой 10 вольт

Теперь сравним два двигателя с ПИД-регуляторами, структурная схема которых приведена на рисунке 3:

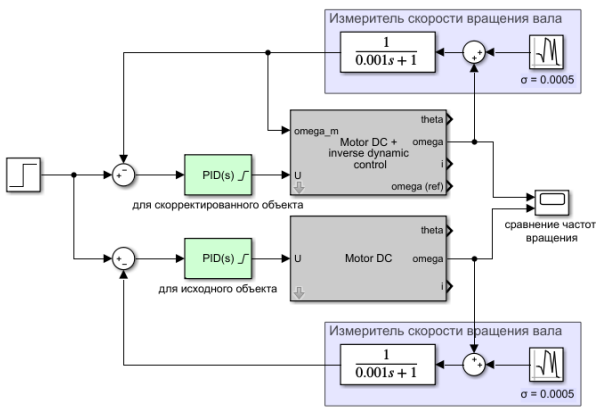


Рис. 3 – Структурная схема двигателей с ПИД-регуляторами

Реакция системы на ступеньку с амплитудой в 10 вольт изображена на рисунке 4:

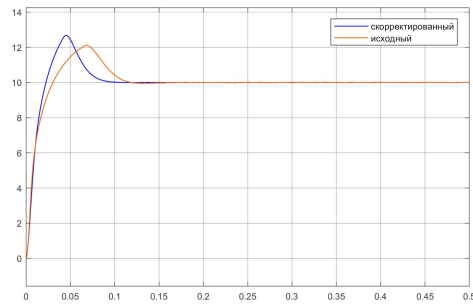


Рис. 4 – Реакция на ступеньку с амплитудой в 10 вольт

В первом случае (Рис. 2), видна нелинейная зависимость показателя колебательности скорректированной системы от амплитуды входного сигнала.

Во втором случае (Рис. 4) видно, что благодаря ПИД-регулятору, построенному по методу ОЗД, реакция системы на ступенчатый управляющий сигнал ускорилась, чего не удалось достичь применением обычного ПИД-регулятора из-за имеющейся в объекте управления нелинейности.

IV. Выводы

В статье был рассмотрен метод, позволяющий построить регулятор для управления нелинейными системами, что было рассмотрено на примере управления двигателем постоянного тока.

Основные преимущества этого метода: простота реализации требуемого закона управления, возможность управления нелинейными и нестационарными системами.

Недостатки метода: необходимость знания всего вектора состояния управляемой системы (для чего могут потребоваться операции дифференцирования, фильтрации), необходимость достаточно точной идентификации параметров управляемой системы, что может снизить робастность, необходимость исследования системы на неустойчивость.

V. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. 2004.
2. Короткий, А. И., Обратные задачи динамики управляемых систем с распределенными параметрами, 1995, Известия высших учебных заведений. Математика, номер 11.
3. Бойчук Л.М. Метод структурного синтеза нелинейных систем автоматического управления. М., «Энергия», 1971.
4. Нестационарные системы автоматического управления: анализ, синтез и оптимизация / Под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007.