
РОБАСТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

При синтезе систем управления обычно предполагается, что характеристики объекта управления известны точно и в процессе работы остаются неизменными. Для таких режимов работы структура и параметры регуляторов рекомендуется определять методами стандартных передаточных функций, по критериям модульного, симметричного и компромиссного оптимумов. Такой подход является общепринятым для электроприводов постоянного и переменного тока и обеспечивает заданные показатели качества.

Практика проектирования и эксплуатации систем автоматического управления промышленными объектами показала, что системы, синтезированные по критериям модульного и симметричного оптимумов, а также по квадратичному критерию качества, чувствительны к изменениям параметров объектов управления, характеристикам входных, возмущающих воздействий, к изменениям структуры и параметров модели объекта управления, которая используется в контурах управления. Такие системы могут терять и оптимальность, и работоспособность, если информация об объекте и среде функционирования известна с некоторой достоверностью или неопределённостью. Неопределённость (ошибка) в модели и знаниях о внешней среде приводит к решению задачи синтеза регулятора и системы управления в целом в условиях этой неопределённости.

Для промышленного электропривода особенно значимы изменения момента нагрузки от нуля (режим холостого хода) до максимального (режим стопорения), момента инерции вращающихся частей (изменяется монотонно, циклически или скачкообразно), напряжения питания и характеристик окружающей среды (температура, влажность, вибрация, пыль). Например, для современных двигателей с алюминиевыми и медными проводниками, с классом изоляции F и H при колебаниях температуры корпуса от -40 до $+125$ °C колебания активного сопротивления лежат в пределах от -24 % до $+45$ % от номинального. Эти изменения влияют как на жесткость механических характеристик, так и на качество переходных процессов.

Разрешение проблемы априорной неопределённости возможно с помощью адаптивных систем управления. Однако трудности с реализацией и синтезом алгоритмов адаптации, а также инерционность контура адаптации иногда становятся препятствием на пути решения этой проблемы. Вследствие этого в последнее время получили развитие методы синтеза робастных систем управления, не являющиеся адаптивными, но обеспечивающие приемлемое качество работы при изменении характеристик воздействий и нестабильности параметров объекта управления в широком диапазоне. Регулятор, который должен быть работоспособным при наличии неопределённостей, называется робастным и обеспечивает робастную устойчивость и робастное качество для всех допустимых неопределённостей.

В качестве примера рассматривается двухконтурная система управления двигателем постоянного тока независимого возбуждения с неперереверсивным тиристорным преобразователем (ТП – ДПТНВ). Предполагается работа системы ТП – ДПТНВ при непрерывном токе, а её неопределённость обусловлена колебаниями момента нагрузки в процессе работы, момента инерции вращающихся частей электропривода, температуры корпуса двигателя и силового электрооборудования, отклонением питающего напряжения и т.д. Объект управления – двигатель постоянного тока мощностью 68 кВт, напряжением питания 440 В и угловой скоростью 125,5 с⁻¹.

Считается, что передаточный коэффициент и постоянная времени тиристорного преобразователя, индуктивность и сопротивление якорной цепи системы ТП – ДПТНВ изменяются в диапазоне ± 20 %, а момент инерции, приведенный к валу двигателя – в диапазоне ± 40 % от номинальных значений. Влияние разброса параметров в заданных диапазонах на статические и динамические свойства разомкнутой системы исследовано методом Монте-Карло с помощью пакета прикладных программ MATLAB + Simulink и пакетов расширения Control System Toolbox и Robust Control Toolbox. Получено семейство переходных и логарифмических частотных характеристик. Имитационное моделирование показало, что разомкнутая система в этом случае имеет отклонение по угловой скорости от -15 % до $+23$ % от номинальной.

Аналогичные исследования были выполнены и для замкнутой системы управления с регуляторами тока и скорости, структура и параметры которых были выбраны по критерию модульного оптимума на основании номинальных данных. При заданных диапазонах неопределённостей она показала неудовлетворительные результаты (например, перерегулирование возросло до 38 %). Одновременно было определено наилучшее сочетание переменных характеристик системы, на основании которых была реализована корректировка настроек регуляторов (выбор регуляторов для наилучшего варианта). Моделирование в среде MATLAB показало, что такие регуляторы обеспечивают перерегулирование, не превышающее 8 % от номинальной угловой скорости при всех режимах работы электропривода, и заданное быстродействие. Такие же результаты получены и для системы, в которой регулятор скорости выбирался по критерию симметричного оптимума.

Введение гибких обратных связей и предфильтра также улучшают робастность системы управления.