

# Квазимодальный регулятор с наблюдателем по упрощенной модели

Хаджинов М.К.; Павлова А.В.

Кафедра СУ, ФИТУ

БГУИР

Минск, Республика Беларусь

e-mail: kh\_m@tut.by

**Аннотация** — Решается задача проектирования регулятора в цепи обратной связи с ограниченной полосой пропускания. Для проектирования модального регулятора используется упрощенная модель объекта управления, не содержащая изломов ЛАХ за частотой среза контура управления с жёсткой обратной связью. Используется полноразмерный наблюдатель для упрощенной модели объекта управления. Компенсация несоответствия наблюдателя объекту управления осуществляется введением дополнительного ПД-регулятора или дополнительным входом наблюдателя для сигнала датчика.

**Ключевые слова:** модальный регулятор, наблюдатель; автоматизированное проектирование регуляторов; эталонные модели

## I. ВВЕДЕНИЕ

Задача проектирования квазимодального регулятора решена путем одновременного использования жёсткой и гибкой обратных связей [1]. С увеличением порядка объекта разница полос пропускания контуров жёсткой и гибкой обратных связей всё больше увеличивается. С целью большего ограничения полосы пропускания для реализации квазимодального регулятора вместо контура гибкой обратной связи может быть использован наблюдатель. Ставится задача проектирования регулятора в цепи обратной связи с ограниченной полосой пропускания, приближающегося к свойствам модального регулятора и обеспечивающего достаточно хорошие переходные характеристики.

Одним из компонентов модального регулятора, не подлежащим изменению, является жёсткая обратная связь. Пространство размещения полюсов условно делится на зону модального регулирования (вблизи мнимой оси) и зону компенсации полюсов объекта. Полюса объекта в зоне модального регулирования трансформируются модальным регулятором в систему, геометрически подобную системе полюсов эталонной модели.

Модальный регулятор дополняется средством компенсации влияния больших по модулю полюсов объекта, не подлежащих трансформации. Задача размещения полюсов объекта решается в рамках ограничений на частоту среза контура управления объекта с жёсткой обратной связью.

## II. КОНТУР ГИБКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ КАК КВАЗИМОДАЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР

В [1] для ограничения полосы пропускания, квазимодальный регулятор проектируется как контур гибкой обратной связи в дополнение к уже имеющемуся контуру жёсткой обратной связи. Отрицательная гибкая обратная связь не может нарастить спектр и расширить полосу пропускания контура жёсткой обратной связи. Чтобы не устанавливать дополнительных датчиков, для контура гибкой обратной связи целесообразно использовать сигнал от уже имеющегося датчика жёсткой обратной связи.

Частоты среза контуров жёсткой и гибкой обратных связей достаточно тесно связаны. Частота среза контура гибкой обратной связи выбирается минимальной при заданной частоте среза контура жёсткой обратной связи. Порядок эталонной модели выбирается равным наклону логарифмической амплитудной характеристике (ЛАХ) объекта управления на частоте среза.

Частота среза контура жёсткой обратной связи является масштабирующей частотой для получения из нормированной эталонной модели желаемой модели замкнутой системы управления.

Параметры гибкой обратной связи определяются вычитанием из характеристического полинома желаемой модели замкнутой системы характеристического полинома упрощенного объекта, замкнутого жёсткой обратной связью. При этом первое и последнее слагаемые исчезают, и обратная связь обязательно становится гибкой, так как свободный член полинома отсутствует. Полученный таким образом полином является модальным регулятором для упрощенного объекта.

Чтобы приблизить характеристики системы управления реального объекта к характеристикам системы управления упрощенного объекта, неучтённые полюса объекта компенсируются дополнительным нулём вышеописанного регулятора в цепи гибкой обратной связи. Значение нуля вычисляется как обратная величина суммы обратных величин компенсируемых полюсов.

## III. РЕАЛИЗАЦИЯ КВАЗИМОДАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА С НАБЛЮДАТЕЛЕМ

Для проектирования, как модального регулятора, так и наблюдателя используется одна и та же упрощенная модель объекта, имеющая полюса с модулем, не превышающим частоту среза контура с жёсткой обратной связью. При расчёте модального регулятора эта частота используется для масштабирования желаемых полюсов замкнутой системы. Так как модальному регулятору не требуется компенсировать полюсы с большим модулем в силу их отсутствия в упрощенной модели, полоса пропускания ограничивается минимально необходимым значением.

Так как для наблюдателя используется та же упрощенная модель, не возникает проблем с реализацией управления. Модальный регулятор вместе с упрощенной моделью объекта в наблюдателе образуют шепинг-фильтр, обеспечивающий хорошее управление объектом по упрощенной модели. Регулятор наблюдателя будет притягивать выход упрощенной модели к выходу объекта.

Но объект управления и его упрощенная модель различаются на высоких частотах, и это различие может сильно ухудшить качество управления. Различие объекта управления и модели уменьшается компенсирующим нулём. Компенсирующий ноль реализуется отдельно в виде ПД-регулятора. ПД-

регулятор должен быть физически реализуемым и может размещаться:

в прямой цепи перед объектом управления;

в цепи датчика обратной связи, т.е. после объекта управления.

Общий порядок системы управления будет складываться из порядка наблюдателя и ПД-регулятора.

Размещение ПД-регулятора в прямой цепи последовательно с объектом управления форсирует динамику объекта, притягивает её к динамике упрощенной модели. Физические ограничения на управление объекта будут сильнее проявляться и ограничивать динамику управления. Возможно возникновение режима, похожего на затухающие автоколебания с фактической задержкой управления. Чтобы ослабить форсирующие свойства ПД-регулятора, можно увеличить его инерционность. Моделирование показало, что для большинства объектов форсировки увеличения в два – три раза вполне достаточно, чтобы процессы в объекте управления шли как в упрощенной эталонной модели.

Размещение ПД-регулятора в цепи датчика обратной связи последовательно с объектом управления форсирует лишь динамику подстройки модели объекта в наблюдателе, не форсируя управление объектом. Очевидно, что при размещении ПД-регулятора в цепи датчика переходные процессы объекта будут сильнее отличаться от заложенных свойств в модальное управление, чем при размещении ПД-регулятора в прямой цепи управления объектом. Размещение

ПД-регулятора в цепи датчика может создать проблемы при сильной зашумлённости датчика.

ПД-регулятор без свойства физической реализуемости может быть встроен в наблюдатель без увеличения его порядка. Регулятор наблюдателя при этом усложняется и к имеющемуся каналу по рассогласованию оценки датчика появляется дополнительный канал по сигналу датчика. Это сравнительно легко сделать при использовании присоединённой управляемой канонической формы для упрощенной модели объекта в наблюдателе. Создание нуля в присоединённой столбцовой управляемой канонической форме проще.

#### IV. ВСТРАИВАНИЕ КВАЗИМОДАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА С НАБЛЮДАТЕЛЕМ В МИКРОКОНТРОЛЛЕРНУЮ ПРОГРАММУ

Микроконтроллерная программа отражает модель объекта управления в пространстве состояний (матрицы  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ) с дополнительными входами, реализующими модальный или линейно-квадратичный регулятор наблюдателя (столбцы  $L1$ ,  $Ld$ ) и дополнительным выходом, реализующим модальный регулятор (строка  $K$ ) объекта управления.

Дополнительный вход по производной к входу, задаваемому столбцом матрицы  $L1$ , получается смещением элементов столбца по вертикали вниз, если в матрице  $A$  диагональ единиц под главной диагональю, или вверх – в противоположном случае. В матрицу  $D$  записываем произведение строки  $C$  на столбец  $L1$ . В смещённый столбец  $L1$  вместо недостающего элемента записываем нуль. К смещённому столбцу добавляем столбец коэффициентов характеристического уравнения из матрицы  $A$ , умноженный на лишний элемент матрицы  $L1$ . Чтобы ввести параметры ПД-регулятора, все элементы столбца ( $B$  и  $D$ ) нового входа умножаются на постоянную  $T$  времени дифференцирования ПД-регулятора.

После встраивания нуля ПД-регулятора каноническая форма уравнений может быть изменена на любую другую, более удобную для вычисления микроконтроллером.

#### V. МОДЕЛИРОВАНИЕ КВАЗИМОДАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА

Разработана программа для автоматизированного проектирования и моделирования систем управления с квазимодальным регулятором в пакете Матлаб. В результате работы с программой выяснились особенности настроек модальных регуляторов объекта и наблюдателя.

Оказалось желательным разносить динамику контуров регулирования объекта и наблюдателя в три – пять раз для уменьшения взаимного влияния, приводящему к ухудшению переходных характеристик. Так как контур регулирования объекта обычно вариации не подлежит, варьировалась динамика наблюдателя от «медленной» до «быстрой».

При компьютерной реализации даже «быстрого» наблюдателя период дискретизации управления мог выбираться в три и более раз большим, чем в случае квазимодального регулятора с гибкой обратной связью. Эта разница существенно увеличивалась для «медленного» наблюдателя, таким образом, налицо существенная экономия вычислительных ресурсов.

Перевод компенсирующего ПД-регулятора в цепь сигнала датчика сглаживает управление объектом и уменьшает перерегулирование, но незначительно.

Исследование чувствительности квазимодальных регуляторов выявило существенное преимущество регулятора с гибкой обратной связью, сохраняющего устойчивость и качество управления даже при замене объекта управления на неустойчивый, изменением знака полюса. Разумеется, что трансформация объекта лежит в полосе пропускания контура и не сильно меняет частоту среза контура.

[1] М. К. Хаджинов, «Система автоматизированного проектирования квазимодального регулятора», Доклады БГУИР, № 8, 2010. С. 33-37.