

# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИБКОЙ ОС КАК СРЕДСТВО ОБУЧЕНИЯ

М. К. Хаджинов, А. А. Дулуб, М. А. Знак

Кафедра систем управления, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: kh\_m@tut.by

*Рассматриваются средства обучения этапам проектирования регулятора в обратную связь в виде системы автоматизированного проектирования. Делается акцент на получение дискретной гибкой ОС с минимальной частотой дискретизации, а также повышении робастности системы управления.*

## 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Работа посвящена разработки системы автоматизированного проектирования как средства обучения студентов. Непосредственным предметом разработки являются регуляторы в виде гибкой обратной связи [1,2], обладающие низкой чувствительностью к изменению параметров объекта управления. Постановка задачи состоит в том, что процесс проектирования разделяется на этапы с контролем и оценкой качества проектирования регулятора в ОС для модели объекта управления в виде ЛАХ. На выделенных этапах достигаются цели: высокое быстродействие с желаемым качеством переходных процессов; минимизация частоты дискретизации гибкой ОС; повышенная робастность к изменению параметров объекта управления.

## 2. РАСЧЕТ ГИБКОЙ ОС

Расчёт производится для объекта управления, заданного частотной характеристикой. Пусть ЛАХ объекта на частотах больше частоты среза  $w_{co}$  имеет наклон  $-n$ , ( $n > 2$ ) и контур жёсткой ОС неустойчив. Устраняем неустойчивость введением непрерывного контура с гибкой ОС. Формируем гибкую ОС из 1-го дифференцирующего звена и  $(n - 2)$  форсирующих звеньев. Частоту  $w_f$  форсирующих звеньев выбираем больше величины частоты  $w_{co}$  среза объекта на 20-40%. Коэффициент дифференцирующего звена делаем  $2*(n - 2)/w_f$ . Рассчитанная таким простым алгоритмом непрерывная гибкая ОС без свойства физической реализуемости обеспечивает переходные характеристики с перерегулированием меньше 5%. Придание гибкой ОС свойства физической реализуемости и её дискретизация обычно лишь уменьшают перерегулирование. Рассчитанная таким образом двухконтурная система управления без проблем и сложных пересчётов легко трансформируется в одноконтурную, например, после её дискретизации.

## 3. ФИЗИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗУЕМОСТЬ И ДИСКРЕТИЗАЦИЯ ГИБКОЙ ОС

Произведем совместный расчёт физической реализуемости и микропроцессорной реализации гибкой ОС с целью минимизации частоты дискретизации. Для придание физической реализуемости гибкой ОС необходимо выровнять порядки числителя и знаменателя передаточной функции, добавляя апериодические звенья с какой-то частотой  $w_r$  физической реализуемости. Часть имеющегося в контуре гибкой ОС запаса  $z_f$  по фазе выделяем на физическую реализуемость и дискретизацию, чтобы остаток был 25 – 35 градусов. Из выделенных потерь  $p_f = (z_f - 30)$  запаса по фазе на микропроцессорную реализацию желательно израсходовать наибольшую долю, и одновременно избежать резонансов вблизи граничной частоты от отсечения дискретизацией частот изломов ЛАХ для физической реализуемости. Поэтому частоту  $w_d$  дискретизации берем в 3 раза меньше частоты  $w_r$  физической реализуемости, т.е.  $w_r < w_d * \pi$ . Микропроцессорная реализация расходует запас устойчивости в 1.5 раза больше, чем 1 апериодическое звено для физической реализуемости. К  $(n - 1)$  долям на физическую реализуемость добавляем  $3*1.5 = 4.5$  доли на дискретизацию. Радиан относительно одной доли потерь запаса  $p_z / (n + 3.5)$  указывает на увеличение частоты  $w_r$  реализуемости относительно частоты  $w_{cg}$  среза контура гибкой ОС. Частоту дискретизации берём в 3 раза меньше. Дискретизацию производим с экстраполяцией 'tustin', дающей наименьшие искажения фазовых характеристик. Можно убедиться, что такой способ уменьшения частоты дискретизации надёжно работает и не приводит к неустойчивости дискретного контура.

Было проделано экспериментальное исследование увеличения запаса по фазе путем увеличения частоты  $w_r$  физической реализуемости за пределы граничной частоты дискретизации  $w_d * \pi$  в 2, 4, 8 раз. Возникали резонансные явления вблизи граничной частоты. С точки зрения устойчивости дискретного контура результат получался непредсказуемым. Редко бывали устой-

чивыми или не устойчивыми все 3 дополнительных варианта. Достаточно часто выход за граничную частоту в 2 раза не приводил к неустойчивости дискретного контура, и можно было в 2 раза сэкономить расход запаса устойчивости по фазе на физическую реализуемость гибкой ОС. Но определённой закономерности такого явления выявить не удалось.

#### 4. УВЕЛИЧЕНИЕ ЗАПАСА ПО АМПЛИТУДЕ

Теоретически система с гибкой ОС без свойства физической реализуемости имеет бесконечный запас устойчивости по амплитуде. Однако придание системе физической реализуемости и микроконтроллерной реализации уменьшает ее запас по амплитуде до конечного значения. Это значение может быть увеличено достаточно простой расчётной процедурой. Одновременное увеличение частот  $w_r$  физической реализуемости и  $w_d$  дискретизации гибкой ОС ведёт к увеличению запаса по амплитуде практически пропорционально увеличению частот  $w_r$ ,  $w_d$ . При этом запас по фазе контура гибкой ОС в подавляющем числе случаев только растёт.

#### 5. РОБАСТНОСТЬ

Получившаяся система управления с гибкой ОС высоко робастна и сохраняет устойчивость и практически неизменную переходную характеристику при изменении полюсов объекта в широких пределах, если их частоты не приближаются к частоте среза контура гибкой ОС. Устойчивость сохраняется даже при изменении знака полюса объекта управления. Потеря запаса устойчивости по фазе контура гибкой ОС при изменении знака полюса равна двум отношениям частоты полюса к частоте среза. Практически можно менять знаки всех полюсов, расположенных в полосе пропускания основного контура управления, учитывая, что полоса пропускания контура гибкой ОС шире в несколько раз. Форма и длительность переходных характеристик при этом практически не меняются, так как определяются свойствами частотной характеристики гибкой ОС, остающейся неизменной.

#### 6. ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Система автоматизированного проектирования реализована программой в среде Матлаб и используется для обучения студентов в курсе «Компьютерные технологии проектирования систем автоматического управления». В программе используется случайная генерация объектов управления заданного класса. Производится сравнение результатов работы спроектированной пользователем системы управления с «эталонной», вычисляемой программой гибкой ОС со свойствами модального регулятора. Свой результат пользователь оценивает величиной отставания от эталона по длительности и качеству переходных характеристик. Для выявления причин отставания представляются асимптотические ЛАХ обоих вариантов.

#### 7. ВЫВОДЫ

Компьютерная программа в среде Матлаб, реализующая систему автоматизированного проектирования гибкой ОС позволяет:

- обучать студентов простой методике расчётов регуляторов в обратной связи;
- обучать проектированию дискретных систем управления с хорошим качеством переходных процессов и высоким быстродействием;
- достичь минимума частоты дискретизации микроконтроллерного управления;
- при необходимости легко увеличивать запас по амплитуде контура управления;
- убедиться, что качество управления сохраняется даже при изменении знаков полюсов объекта управления.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грук Е. И. Использование различных эталонных моделей при проектировании регуляторов в обратной связи / Е. И. Грук, М. К. Хаджинов, В. И. Шуина // Информационные технологии и системы. – 2015. – С. 70-71.
2. Дулуб А. А. Проектирование гибкой обратной связи как модального регулятора / А. А. Дулуб, Е. Р. Жилинская, М. А. Знак, М. К. Хаджинов // Информационные технологии и управление. – 2015. – С.43.