



УДК 586.5

О ПРОБЛЕМЕ ВЫБОРА КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ СИНТЕЗЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

ЕРУЛАНОВА А.Е., БАТЫРКАНОВ Ж.И.

izvestiya@ktu.aknet.kg

Рассматриваются трудности, которые возникают при выборе требований к качеству систем автоматического управления

Одной из центральных задач как теории, так и практики автоматического управления является задача синтеза систем, в результате решения которой определяются, структура системы автоматического управления (САУ) и параметры всех ее устройств из условия удовлетворения заданному комплексу технических требований: обеспечение устойчивости системы и качества переходных процессов (достижение необходимого быстродействия, недопустимость больших перерегулирований), повышение точности управления в установившихся режимах, сохранение указанных качеств функционирования в условиях возможных вариаций параметров объекта управления и др. [1].

Задачу синтеза можно разделить на два типа: параметрический синтез и структурный синтез. Рассмотрим параметрический синтез САУ. К нему можно отнести частотные методы. Они используются и являются одним из основных инструментов анализа и синтеза систем автоматизации. Однако этим методам присущи серьезные недостатки:

- 1) Частотные методы главным образом предназначены для одномерных систем, т. е. для систем, имеющих одно управляющее воздействие и одну управляемую величину;
- 2) Частотные методы по своей сути являются методами анализа. С их помощью можно определять лишь коэффициенты регулятора, в то время как его структуру нужно задать априорно;

Возрастание требований к качеству управления технологическим оборудованием затрудняет применение широко распространенных на практике классических систем одноконтурного управления П, ПИ и ПИД регуляторов пониженного порядка и систем подчиненного регулирования координат. Подобные системы управления могут использоваться лишь при невысоком порядке математической модели ОУ и при отсутствии взаимного влияния его координат. Стремление повысить качество управления объектом ведет к необходимости более детальной проработки его математической модели, что не просто увеличивает ее размерность, но приводит и к появлению дополнительных факторов сложности, появлению перекрестных связей координат ОУ, появлению влияния внешних и параметрических возмущений, нелинейных факторов. [2]

Методы приближенного расчета являются одними из самых простых и удобных методов параметрического синтеза. К ним относятся:

- метод незатухающих колебаний, предложенный учеными Циглером и Никольсом для определения оптимальных настроек регулятора;
- графоаналитический метод Циглера-Никольса;
- метод эмпирических формул.

Эти методы широко используются, как методы первого приближения, и требуют дальнейшей коррекции на реальной системе регулирования.

В тех случаях, когда к системе регулирования предъявляются высокие требования к качеству, целесообразно использовать регуляторы состояния. Разработка таких регуляторов или принципа управления по состоянию относится к задачам структурного синтеза. Принцип управления по состоянию основан на применении регуляторов повышенного порядка и способен значительно расширить возможности проектируемых динамических систем. Линейные регуляторы состояния являются эффективным средством обеспечения динамических показателей работы не только линейных объектов управления любого, сколь угодно высокого порядка, но и объектов, содержащих нелинейные и дискретные звенья, оказывающие существенное, но не определяющее влияние на динамические процессы. При необходимости влияние указанных



факторов может быть скомпенсировано проведением дополнительной настройки САУ поисковыми методами непосредственно на управляющем контроллере в реальных условиях эксплуатации объекта.

Существует два основных детерминированных подхода к созданию систем управления по вектору состояния объекта – АКОР (аналитическое конструирование оптимальных регуляторов) и модальное управление. В 1960 г. появилась работа сотрудника института автоматики и телемеханики АН СССР, профессора А.М. Летова, в которой было получено аналитическое решение задачи об оптимальной стабилизации линейных стационарных объектов при квадратичном функционале качества. Это направление получило название аналитического конструирования регуляторов. В зарубежных источниках оно называется линейно-квадратической оптимизацией, а первой зарубежной публикацией была вышедшая в том же 1960 г. работа американского математика Р. Калмана, в которой решалась задача оптимизации линейных нестационарных объектов [3, 4, 5, 6].

АКОР имеет конечной целью получение закона управления чисто аналитическим путем, исходя из требований, предъявляемых к качеству управления. Задача АКОР формулируется в виде требования отыскать такое управление $U(t)$ (формула 3), при котором достигается минимум квадратичного интегрального критерия (функционала качества). Система управления задается в виде (1).

$$\begin{cases} \dot{X} = AX + BU \\ Y = CX \end{cases}, \quad (1)$$

$$J = \int_0^{\infty} (X^T QX + U^T RU) dt, \quad (2)$$

где Q, R – заданные квадратичные матрицы коэффициентов.

Найдено, что решением задачи АКОР является линейное оптимальное уравнение вида

$$U = -R^{-1} B^T KX, \quad (3)$$

где матрица K находится как решение матричного алгебраического уравнения

$$KBR^{-1}B^TK - A^TK - AK - Q = 0. \quad (4)$$

Решение (4) весьма сложно, применение ЭВМ снимает это затруднение. Но трудность задания коэффициентов матриц Q и R функционала качества (2) остается. Эти коэффициенты существенно влияют на качество работы системы регулирования, полученной методом АКОР, но их связь с показателями качества сложна и неоднозначна, поэтому ее установить не удастся. Синтез системы управления с использованием АКОР зависит от выбора проектировщиком подходящих значений коэффициентов матриц штрафов для получения минимума критерия качества, что не вполне удобно.

Суть модального управления состоит в определении численных значений коэффициентов передачи безынерционных обратных связей (ОС) по всем переменным состояниям объекта с целью обеспечения заданного распределения корней характеристического уравнения (собственных чисел) замкнутой САУ.

В методе модального управления алгоритм регулятора так же как (3) имеет вид

$$U = KX, \quad (5)$$

Корни характеристического уравнения САУ полностью определяют ее свободное движение

$$x(t) = c_1 e^{-p_1 t} + c_2 e^{-p_2 t} + \dots + c_n e^{-p_n t} \quad (6)$$

Каждая составляющая $c_i e^{-p_i t}$ такого движения, соответствующая отдельному корню p_i (или паре комплексно сопряженных корней), в зарубежной литературе называется *модой* – отсюда и термин «модальное управление». Корни уравнения однозначно зависят от его коэффициентов, поэтому модальное управление можно трактовать как целенаправленное изменение коэффициентов характеристического уравнения объекта с помощью безынерционных ОС.

Здесь также, как и в АКОР, имеется трудность выбора требуемых собственных чисел. Алгоритмы (3) и (5) в «чистом виде» на практике не используются, так как в них требуется измерять вектор состояния X . Обычно в технических системах он недоступен для контроля.



Измеряемой выходной переменной объекта управления является Y (см. (1)). Для того чтобы обойти эту трудность, используют наблюдатели – преобразователи сигнала Y в оценку вектора состояния X . Наблюдатель (например, фильтр Калмана-Бьюси [4]) также является динамической системой, содержащей совокупность коэффициентов, которые нужно задавать априорно.

Сравнение этих методов, реализуемых соответственно во временной и частотной областях, показывает, что модальный регулятор синтезируется в соответствии с прямыми показателями качества переходных процессов, тогда как при использовании АКОР между указанными показателями и формой выбранного функционала четкого соответствия нет.

Возможная причина возникновения проблем: задание желаемой логарифмической амплитудно-частотной характеристики (ЛАЧХ), коэффициентов функционала, наблюдателя и других исходных данных для систем регулирования является сам принцип построения систем регулирования по обратной связи. В этих системах вычисляется рассогласование выходной переменной от своего задания и подается на регулятор. Для определения самого регулятора принцип обратной связи ничего не дает, здесь приходится привлекать другие идеи и методы (устойчивость, качество и др.). Видимо, отсутствие единого подхода и является основной причиной затруднений.

Таким образом, основной трудностью применения методов пространства состояний является отсутствие регулярных методов задания коэффициентов функционала, наблюдателя, собственных чисел и других элементов, задаваемых априорно, то есть перед расчетом регулятора. Недостатком является также статическая ошибка регулирования как у П-регулятора.

Несмотря на то, что в последние десятилетия вопросам анализа и синтеза уделяется большое внимание, ряд из них, причем принципиальных, не нашли отражения в теории. В литературе не найдено упоминание о применении модального управления и АКОР для объектов с запаздыванием. Это обуславливает необходимость разработки новых способов обеспечения показателей качества работы САУ.

Литература

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления /В.А. Бесекерский, Е.П. Попов.- Изд.4-е, перераб. и доп. – Спб.: Издательство «Профессия», 2003. – 752 с.
2. Дудников Е.Г. Основы автоматического регулирования тепловых процессов. Госэнергоиздат, 1956, С. 264.
3. Кухаренко Н. В. Синтез модальных регуляторов при неполной управляемости объектов // Техническая кибернетика, 1992, № 3, с. 3-10.
4. Кузовков Н. Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. - М.: Машиностроение, 1976.
5. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы. - М.: ВШ, 1989.
6. Андриевский Б.Р., Фрадков А.Л. Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке MATLAB. – СПб.: Наука, 2009. – 475 с., ил.86.
7. Летов А.М. Аналитическое конструирование регуляторов // Автоматика и телемеханика. 1960. № 4-6.