РАЗДЕЛ I. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Байгулова Н.М.

Сравнительный анализ применения альтернативного метода и численной оптимизации в MATLAB&Simulink для настройки ПИ-регулятора по частотным критериям качества

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»
(Россия, Самара)

doi:10.18411/sciencepublic-12-06-2020-01

idsp: sciencepublic-12-06-2020-01

Аннотация

В данной работе рассматривается задача параметрической оптимизации параметров настройки типовых регуляторов по частотным критериям качества и приводится ее решение альтернативным методом, основанным на решении системы уравнений, составленной на основе специальных свойств частотных характеристик оптимальной системы, и методом численной оптимизации, реализованным программными средствами MATLAB&Simulink. Сравнительный анализ проводится на типовом примере настройки ПИ- регулятора для объекта 4 порядка при действии низко-частотного возмущения на выход объекта.

Ключевые слова: система автоматического управления, ПИ-регулятор, настройка регулятора, параметрическая оптимизация, частотные критерии качества, альтернативный метод.

Введение. Несмотря на существующее разнообразие методов и средств построения и расчета типовых регуляторов, наиболее распространены частотные методы, широко используемые для решения задач синтеза одномерных САУ. Данные методы отличаются простотой, наглядностью и удобством применения в инженерной практике. Применение этих методов для проектирования регуляторов в целях синтеза многомерных САУ затруднительно, однако при использовании максимумов амплитудно-частотных характеристик при формировании критериев оптимальности, исследовании устойчивости, качества и свойств робастности САУ задача параметрической оптимизации многоконтурных САУ может быть сведена к задаче минимизации максимума амплитудно-частотной характеристики замкнутой системы от внешнего входа к внешнему выходу на множестве стабилизирующих регуляторов (стандартная задача). Это позволяет получить эффективные решения основных задач синтеза. [1,2,4]

В инженерной практике особое значение имеют частные варианты параметрического синтеза типовых регуляторов. Значительная часть реально используемых регуляторов имеют простую П-, ПИ- или ПИД-структуру. Инженерные задачи построения САУ на их основе сводятся к выбору соответствующих параметров этих регуляторов применительно к конкретным объектам управления и требованиям к качественным показателям САУ. Ниже приводится задача параметрической оптимизации параметров настройки типовых регуляторов по частотным критериям качества и приводится ее решение альтернативным методом. [1,3]

1. Постановка задачи параметрической оптимизации одноконтурной САУ с ПИ-регулятором. Рассмотрим одноконтурную систему управления (рис. 1), описываемую операторными уравнениями

$$\begin{cases} z_1(s) = W_{u1}(s) \cdot u_1(s) + W_{f1}(s) \cdot f_1(s) \\ u_1(s) = -W_p(s, \Delta_1) \cdot z_1(s), \end{cases} \quad (1)$$

где $z_1(s)$ - управляемая переменная; $W_{u1}(s)$ и $W_{f1}(s)$ - рациональные передаточные функции объекта управления по каналам управляющего и возмущающего воздействий $u_1(s)$ и $f_1(s)$, соответственно.

Рисунок 1. Структурная схема одноконтурной системы автоматического регулирования

Передаточная функция ПИ-регулятора $W_{p1}(s, \Delta_1, \Delta_2)$ считается заданной с точностью до двух параметров, и имеет следующий вид:

$$W_{p1}(s, \Delta_1, \Delta_2) = \frac{\Delta_1 + \Delta_2 \cdot s}{s}, \quad (2)$$

где Δ_1, Δ_2 - искомые неизвестные параметры настройки ПИ-регулятора.

Тогда задача параметрической оптимизации регулятора заключается в определении значений данных параметров.

Передаточная функция системы управления по каналу управляющего воздействия $W_{uz}(s)$ определяется в соответствии с заданными номинальными передаточными функциями системы следующим соотношением:

$$W_{uz}(s) = \frac{W_{p1}(s) \cdot W_{u1}(s)}{1 + W_{p1}(s) \cdot W_{u1}(s)}. \quad (3)$$

Предполагается, что возмущения в системе отвечают обязательному требованию существенного их проявления только в низкочастотной области, и передаточная функция объекта управления по каналу возмущающего воздействия может быть представлена в виде (4):

$$W_{fz}(s, \Delta_1, \Delta_2) = \frac{W_f(s)}{1 + W_p(s, \Delta_1, \Delta_2) \cdot W_{u1}(s)} \quad (4)$$

В роли критерия оптимизации реакции системы на внешние возмущения можно рассмотреть максимум амплитудно-частотной характеристики по каналу возмущающего воздействия $I(\Delta_1, \Delta_2) = \max_{\omega \in [0, \infty)} |W_{fz}(i\omega, \Delta_1, \Delta_2)|$, который должен быть минимизирован в результате решения задачи оптимизации параметров настройки. [1]

$$I_1(\Delta_1, \Delta_2) = \max_{\omega \in [0, \infty)} \left| \frac{W_{f1}(i\omega)}{1 + W_p(i\omega, \Delta_1, \Delta_2) \cdot W_{u1}(i\omega)} \right| \rightarrow \min_{\Delta \in G_1 \in E}. \quad (5)$$

где G_1 - множество Δ_1, Δ_2 , обеспечивающее устойчивость контура; $W_{fz}(i\omega, \Delta_1, \Delta_2)$ - амплитудно-фазовая характеристика (АФХ) контура по каналу действия возмущения.

Для задания требований к качеству переходного процесса целесообразно рассмотреть ограничение на максимальное значение амплитудно-частотной характеристики $W_{uz}(i\omega, \Delta_1, \Delta_2)$ контура по каналу "управляющее воздействие - управляемая величина".

Ограничение может быть сформулировано в виде ограничения на показатель колебательности M_1 , представляющий собой относительное максимальное значение АЧХ $W_{uz}(i\omega, \Delta_1, \Delta_2)$ на всей частотной оси:

$$F_1(\Delta_1, \Delta_2) = \max_{\omega \in [0, \infty)} \left| \frac{W_p(i\omega, \Delta_1, \Delta_2) \cdot W_{u1}(i\omega)}{1 + W_p(i\omega, \Delta_1, \Delta_2) \cdot W_{u1}(i\omega)} \right| \leq M_1. \quad (6)$$

Тогда параметризованная задача оптимизации запишется в виде (5), (6), эта задача представляет собой стандартную задачу полубесконечной оптимизации следующего вида:

$$I_1(\Delta_1, \Delta_2) = \max_{\omega \in [0, \infty)} |W_f(i\omega, \Delta_1, \Delta_2)| \rightarrow \min_{\Delta \in G_n \in E^n}. \quad (7)$$

$$F_1(\Delta_1, \Delta_2) = \max_{\omega \in [0, \infty)} |W_{uz}(i\omega, \Delta_1, \Delta_2)| \leq M_1. \quad (8)$$

Решение задачи (7), (8), представляющее собой оптимальные параметры $\Delta_1^{\text{опт}}, \Delta_2^{\text{опт}}$ регулятора $W_{p1}(s, \Delta_1, \Delta_2)$ обеспечивают минимальную реакцию на внешнее возмущающее воздействие, согласно критерию (7) при обеспечении требуемого качества переходного процесса в системе по заданию согласно ограничению (8).

Данная задача может быть решена на базе альтернансного метода параметрической оптимизации, подробно изложенного в [1].

2. Решение задачи параметрической оптимизации ПИ-регулятора на основе альтернансного метода.

Альтернансный метод параметрической оптимизации типовых регуляторов основан на специальных свойствах частотных характеристик системы по каналам возмущающего и задающих воздействий, строго доказанным и подробно изложенным в [1].

Обычно АЧХ системы с ПИ-регулятором отвечают условию $R_f = 1$ и(или) $R_u = 1$, поэтому СУ необходимо дополнить условием существования экстремума указанных частотных характеристик в этих точках. Тогда система уравнений примет следующий вид:

$$\begin{cases} |W_{fz}(i\omega_{fq}^{\text{опт}}, \Delta_1^{\text{опт}}, \Delta_2^{\text{опт}})| - I_1(\Delta_1^{\text{опт}}, \Delta_2^{\text{опт}}) = 0; \frac{\partial}{\partial \omega} |W_{fz}(i\omega_{fq}^{\text{опт}}, \Delta_1^{\text{опт}}, \Delta_2^{\text{опт}})| = 0 \\ |W_{uz}(i\omega_{us}^{\text{опт}}, \Delta_1^{\text{опт}}, \Delta_2^{\text{опт}})| - M_1 = 0; \frac{\partial}{\partial \omega} |W_{fz}(i\omega_{us}^{\text{опт}}, \Delta_1^{\text{опт}}, \Delta_2^{\text{опт}})| = 0 \\ q = \overline{1, R_f}, s = \overline{1, R_u}, R_f + R_u = k + 1, \end{cases} \quad (9)$$

Для случая, когда $R_f + R_u < k + 1$, дополнительное уравнение записывается из условия равенства нулю определителя, который составляется из производных по неизвестным параметрам настройки $\Delta_1^{\text{опт}}, \Delta_2^{\text{опт}}$ АЧХ соответствующего контура по каналам действия управляющего и возмущающего воздействий [1,4], следовательно система уравнений (9) дополнится определителем (10):

$$\det \left[\frac{\partial |W_{uz}(i\omega_{us}^{\text{опт}}, \Delta_1^{\text{опт}}, \Delta_2^{\text{опт}})|}{\partial \Delta_1^{\text{опт}}, \Delta_2^{\text{опт}}}; \frac{\partial |W_{fz}(i\omega_{fq}^{\text{опт}}, \Delta_1^{\text{опт}}, \Delta_2^{\text{опт}})|}{\partial \Delta_1^{\text{опт}}, \Delta_2^{\text{опт}}} \right] = 0 \quad (10)$$

$$q = \overline{1, R_f}, s = \overline{1, R_u}.$$

Полученная система уравнений будет решаться относительно 5 неизвестных: параметров настройки регуляторов $\Delta_1^{\text{опт}}, \Delta_2^{\text{опт}}$, координат точек ω_{f1}, ω_{u1} и минимакса $I_1(\Delta_1^{\text{опт}}, \Delta_2^{\text{опт}})$.

3. Решение задачи параметрической оптимизации для объекта четвертого порядка

Рассмотрим применение альтернансного метода к решению задачи параметрической оптимизации для объекта четвертого порядка со следующими передаточными функциями:

1. Передаточная функция объекта управления по каналу управляющего воздействия:

$$W_{u1}(s) = \frac{3.32}{(22s + 1) \cdot (55s + 1)^3};$$

2. Передаточная функция объекта управления по каналу возмущающего воздействия:

$$W_{f1}(s) = \frac{3.32}{(22s + 1) \cdot (55s + 1)^3}.$$

Решим поставленную выше задачу параметрической оптимизации ПИ-регулятора двумя методами – встроенным методом численной оптимизации в пакете MATLAB&Simulink и альтернансным методом параметрической оптимизации при заданном коэффициенте колебательности $M=1,05$. Результаты расчета сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

Оптимальные параметры настройки ПИ-регулятора

Метод настройки	$K_p (\Delta_2^{\text{опт}})$	$T_i (\Delta_1^{\text{опт}})$	I
Численная оптимизация	0.2948	0.001998	0.263
Альтернансный	0.3069	0.001942	0.232

Сравнение амплитудно-частотных характеристик по каналам управляющего и возмущающего воздействий при оптимальных параметрах настройки ПИ-регулятора представлено на рисунках 2 и 3.

Рисунок 2. АЧХ системы по каналу возмущающего воздействия:

а – настройка альтернансным методом параметрической оптимизации, *б* – настройка методом численной оптимизации в пакете MATLAB&Simulink

Рисунок 3. АЧХ системы по каналу управляющего воздействия:
а – настройка альтернансным методом параметрической оптимизации, *б* – настройка методом численной оптимизации в пакете MATLAB&Simulink

На рисунке 4 приведены графики переходных процессов одноконтурной САР при оптимальных параметрах настройки ПИ-регулятора.

Рисунок 4. Переходные характеристики САР (1 – настройка методом численной оптимизации в пакете MATLAB&Simulink, 2 – настройка альтернансным методом параметрической оптимизации)

Заключение. На основе альтернансного метода параметрической оптимизации и метода численной оптимизации реализованного в программном пакете MATLAB&Simulink были получены оптимальные параметры настройки ПИ-регулятора для одноконтурной САР. Проведенный сравнительный анализ амплитудно-частотных и

переходных характеристик позволяет сделать вывод о практически полном совпадении полученных результатов оптимизации. При этом альтернативный метод демонстрирует незначительный выигрыш по критерию минимизации реакции системы на возмущающее воздействие.

1. Рапопорт Э.Я. Альтернативный метод в прикладных задачах оптимизации. – М.: Наука. 2000. – 336 с.
2. Рапопорт Э.Я. Робастная параметрическая оптимизация динамических систем в условиях ограниченной неопределенности // Автоматика и телемеханика. 1995. №3.
3. Рапопорт Э.Я., Плешивцева Ю.Э. Алгоритмически точный метод параметрической оптимизации в краевых задачах оптимального управления системами с распределенными параметрами неопределенности // Автоматика. 2009. 45, №5. С. 103-112.
4. Рапопорт Э.Я. Альтернативный метод параметрического синтеза H^∞ -оптимальных систем автоматического управления // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2000. №1. С. 79-90.

Демьяненко А.Е., Самохвалова С.Г.

Разработка аппаратно-программного обеспечения системы SCHome и ее модулей по технологии «Internet of Things»

*ФГБОУ ВО «Амурский государственный университет»
(Россия, Благовещенск)*

doi:10.18411/sciencepublic-12-06-2020-02

ids: sciencepublic-12-06-2020-02

Процесс развития информационных технологий не стоит на месте. На данный момент производство техники и оборудования различного назначения наращивает обороты. Все больше техники появляется в жилых помещениях, на предприятиях, образовательных учреждениях.

С увеличением количества техники так же увеличиваются энергозатраты и появляются проблемы с ее управлением.

Для снижения энергозатрат обычно используют «умную» технику, основанную на технологии «Internet of Things». К примеру умный чайник имеет доступ к интернету через подключение по WiFi, собственное мобильное приложение для автоматизации подогрева воды (удержание температуры, включение по расписанию и т.д). Но если используемой техники от разных производителей большое количество, то на смартфоне появляется несколько приложений, что создает неудобства, заставляя пользователя постоянно переключаться между ними, ведь каждый производитель разрабатывает приложение только под свою технику.

Решение полностью автоматизировать все процессы по расписанию не является на данный момент верным – ведь очень трудно научить подобные системы отслеживать действия и предпочтения пользователя, а порой и невозможно или ненужно (к примеру, для управления светом пользователю лучше подойдет его удаленное управление, чем работа по расписанию).

Также существует проблема подавляющего наличия «неумной» техники, которую необходимо включать и выключать из сети 220 В.

Для решения выше поставленных проблем было поставлена цель разработки системы управления техникой и оборудованием путем удаленного доступа к системам «умной» техники через их интерфейсы, а также через модули данной системы. Разработка спец модулей таких как SCHome-Switch позволит управлять различной техникой без интерфейса, путем установки реле в разрыв питания. А разработка модулей таких как SCHome-Atmos позволит собирать информацией об окружающей обстановке, помогать системе принимать решения и посылать запросы на другие модули для управления.