

СПОСОБ АППРОКСИМАЦИИ ЗВЕНА ЗАПАЗДЫВАНИЯ ПРИ СИНТЕЗЕ РЕГУЛЯТОРОВ САУ

Берчук Д.Ю., Тхан В.З.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
dungvietthan@gmail.com

Введение

В технологических производствах часто встречаются процессы, имеющие транспортное запаздывание. В большинстве случаев они наблюдаются при регулировании температуры. Так, например, выходная величина, характеризующая процесс нагрева гранул полимерного материала в шнеке экструдера при производстве пластиковой нити, имеет транспортное запаздывание в несколько минут.

Объекты с запаздыванием являются наиболее сложными в настройке, так как оказывают существенное влияние на устойчивость и качество процессов управления системой. При синтезе объектов управления часто возникает проблема формирования звена запаздывания в передаточной функции объекта, а для того чтобы оценивать показатели синтеза нужна аппроксимацией звена запаздывания в дробно рациональной форме. Для решения этой задачи большинство используют метод на основе разложения в ряд Паде или ряд Тейлора.

Цель этой статьи - рассмотреть способ аппроксимации на основе вещественного интерполяционного метода.

Постановка задачи

При наличии звена чистого запаздывания в объекте управления сложно оценить показатели управления системы, так как в передаточной функции замкнутой системы будет звено запаздывания в числителе и/или в знаменателе.

Для устранения этого недостатка часто требуется решение дополнительных задач, например, замена звена запаздывания на ряд Паде, Тейлора и другие. Это замена является не точной, и может приводить к большим погрешностям в результате синтеза. Важно задачей является нахождение других способов, которые смогут обеспечить меньшую погрешность.

В статье предложен вещественный интерполяционный метод, который обеспечивает точное решение при замене звена запаздывания и упрощает уравнение синтеза, что в конечном итоге приводит к меньшим вычислениям.

Выбор метода и решение

В данной статье предложен метод аппроксимации на основе вещественного интерполяционного метода.

Метод ВИМ базируется на вещественном интегральном преобразовании

$$F(\delta) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-\delta t} dt, \delta \in [C, \infty), C \geq 0, \quad (1)$$

которое ставит в соответствие оригиналу $f(t)$ изображение $F(\delta)$ в виде функции вещественной переменной δ . Формулу прямого преобразования (1) можно рассматривать как частный случай прямого преобразования Лапласа при замене комплексной переменной $p = \delta + j\omega$ на вещественную δ . Еще один шаг, направленный на развитие инструментария метода, - переход от непрерывных функций $F(\delta)$ к их дискретным аналогам с целью применения средств вычислительной техники и численных методов. Для этих целей в ВИМ введены численные характеристики $\{F(\delta_i)\}_\eta$. Их получают как совокупность значений функции $F(\delta)$ в узлах $\delta_i = 1, 2, \dots, \eta$.

Расчетный пример

Задан объект управления с передаточной функцией, учитывающей звено запаздывания в виде:

$$W_o(p) = \frac{39.2}{1467p + 1} \cdot e^{-6000 \cdot t}.$$

В результате использования метода ВИМ и на основе разложении ряд Паде были получены передаточные функций звена запаздывания в дробно рациональном виде:

– на основе метода ВИМ [3]:

$$e^{-6000p} \approx \frac{-1778p + 1}{7.644 \cdot 10^6 p^2 + 4214p + 1};$$

– на основе разложении в ряд Паде [4]:

$$e^{-6000p} \approx \frac{3 \cdot 10^6 p^2 - 3000p + 1}{3 \cdot 10^6 p^2 + 3000p + 1}.$$

Для оценки качества результатов аппроксимации перейдем к задаче синтеза одного контура управления. Будем полагать, что известны желаемые показатели синтеза контура и необходимо определить параметры регулятора, обеспечивающие в синтезированной САУ следующие показатели:

– перерегулирование $\sigma_3 = 5\%$;

– время регулирования $t_p^{\text{жс}}$ минимальное.

Идея задачи синтеза заключается в составлении и решении уравнения синтеза [3]

$$W_{\text{ж}}(p) = \frac{W_p(p) \cdot W_o(p)}{1 + W_p(p) \cdot W_o(p) \cdot k_{oc}} \quad (2)$$

Уравнение сформировано на основе равенства желаемой передаточной функции контура управления $W_{\text{ж}}(p)$ и модели синтезируемого контура, представленной в правой части (2). В реальных ситуациях нет возможности добиться точного равенства левой и правой части выражения (2), поэтому приходится искать приближительное решение [3].

На основе вещественного интерполяционного метода найдем решение по уравнению синтеза в простом виде

$$W_c(p) \approx W_p(p) \cdot W_o(p) \quad (3)$$

На основе метода Коновалова-Оурка была получена передаточная функция замкнутого контура в виде:

$$W_{\text{ж}}^3(p) = \frac{1.45 \cdot 10^6 p + 210}{8.56 \cdot 10^7 p^2 + 13837p + 1},$$

При коэффициенте обратной связи $k_{oc} = 0.001$ получена передаточная функция разомкнутого контура в виде:

$$W_{\text{ж}}^p(p) = \frac{1.45 \cdot 10^6 p + 210}{8.56 \cdot 10^7 p^2 + 12387p + 0.79}.$$

Уравнение синтеза можно записать в простом виде [3]:

$$W_{\text{синтез}}^p(p) \approx W_p(p) \cdot W_{\text{нч}}(p).$$

На основе методики, которая описана в [3] была получена синтезируемая передаточная функция, и графики переходных процессов. Для оценки полученных результатов были построены графики переходных процессов желаемой и синтезируемой функции замкнутого контура на основе аппроксимации по ВИМ и по Паде. Графики представлены на рисунке 2

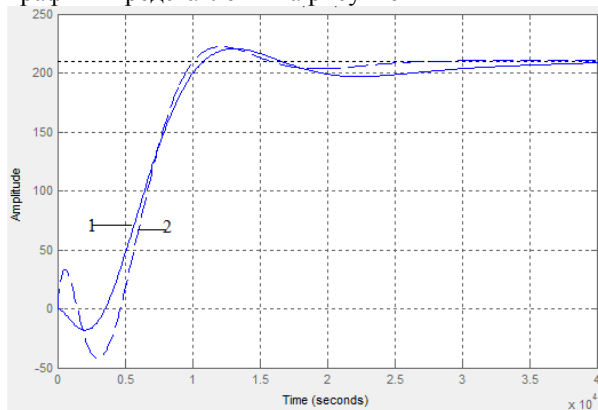


Рисунок 2. Графики переходных процессов желаемой (1) по ВИМ и синтезируемой (2) по Паде замкнутого контура

На графике видно, что требуемые показатели были достигнуты.

Заключение

При сравнении двух методов аппроксимации, явное преимущество в точности достигается использованием ВИМ. Также метод ВИМ проще алгоритмизируется для использования в ЭВМ. Таким образом, использование метода рекомендуется для решения задач синтеза, где в структурную схему системы управления входит звено с чистым запаздыванием.

Список литературы

1. Раувендааль Крис Экструзия полимеров: пер. с англ. / К. Раувендааль; П. Дж. Грэмман; Б. А. Дэвис; Т. А. Оссвальд, - СПб.: Профессия, 2006, -768 с.; ил., - Hanser, - Библиогр.: с, 751-754, -Алфавитно-предметный указатель: с, 755-762,. - ISBN 5-93913-102-6.
2. Пупков К.А., Егупов Н.Д., Методы классической и современной теории автоматического управления, Синтез регуляторов систем автоматического управления, Том 3.
3. Goncharov V.I., Aleksandrov I.A., Rudnitsky V.A., Liepinsh A.V. Real Interpolation Method for Automatic Control Problem Solution. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2014.
4. О.Л. Ибряева, новый алгоритм вычисления аппроксимаций Паде и его реализация в Matlab // Вестник ЮУрГУ, Серия: «Математическое моделирование и программирование». - №37 (254), вып. 10, 2011- С. 99-107.