

Н.В Жукова, Г.В. Пониткова

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

Кафедра автоматики и телекоммуникаций

E-mail: zhnatka@mail.ru, gponitkova@yandex.ru

СИНТЕЗ РОБАСТНОГО РЕГУЛЯТОРА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ЦЕЛИ ПО ДАЛЬНОСТИ ДЛЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ

Аннотация

Жукова Н.В., Пониткова Г.В. Синтез робастного регулятора системы автоматического сопровождения цели по дальности для радиолокационной станции. В статье решается задача синтеза робастного регулятора для системы автоматического сопровождения цели по дальности с использованием H_∞ -метода. Требования к системе формулируются в виде частотных ограничений на сингулярные числа передаточной функции замкнутой системы. Приведены результаты моделирования САУ с робастным регулятором.

Ключевые слова: теория H_∞ - оптимизации, система автоматического сопровождения цели по дальности, переменные состояния, робастный регулятор, передаточная функция.

Общая постановка проблемы.

Главной задачей систем автоматического сопровождения цели по дальности является точное отслеживание изменения дальности до объекта и быстрый переход системы в состояние динамического равновесия. Поэтому к САУ предъявляются жесткие требования по быстродействию и точности. Эффективно решить эту задачу авторами предлагается с помощью методов робастного управления (H_∞ -метода). Развитие известных методов построения робастных законов управления, различные модификации существующих алгоритмов свидетельствуют о том, что задача в полном объеме еще не решена. Поэтому расширение сферы применения данного направления ТАУ является актуальным.

Решение задачи и результаты исследований.

Одним из необходимых и достаточных условий существования H_∞ - контроллера является представление математической модели объекта в пространстве состояний. В [1] приведена структурная схема системы автоматического сопровождения цели по дальности (АСД). Система содержит одно интегрирующее звено, т.е. является астатической 1-го порядка астатизма. В такой системе устраняется лишь ошибка по положению. Для устранения установившейся скоростной ошибки в систему введено еще одно интегрирующее звено. Таким образом, математическое описание объекта в канонической форме управляемости имеет вид:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \cdot u$$

$$y = [k_1 \quad k_2] \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}.$$

Главной задачей синтеза робастных систем управления является поиск закона управления, который сохранял бы выходные переменные системы и сигналы ошибки в заданных допустимых пределах несмотря на наличие неопределённостей в контуре

управління. Неопределённости могут принимать любые формы, однако наиболее существенными являются шумы, нелинейности и неточности в знании передаточной функции объекта управления. Отклонения передаточной функции объекта от номинальной вызываются как изменениями его параметров, так и неучтенной динамикой, и действием различного рода возмущений.

При синтезе робастного регулятора для рассматриваемого объекта авторами были проанализированы различные модификации существующих алгоритмов управления. Удобным с точки зрения единообразной процедуры синтеза и обоснований при формировании частотных ограничений, является методика, описанная в [2], которая и была взята за основу. Структурная схема системы с робастным регулятором представлена на рис.1.

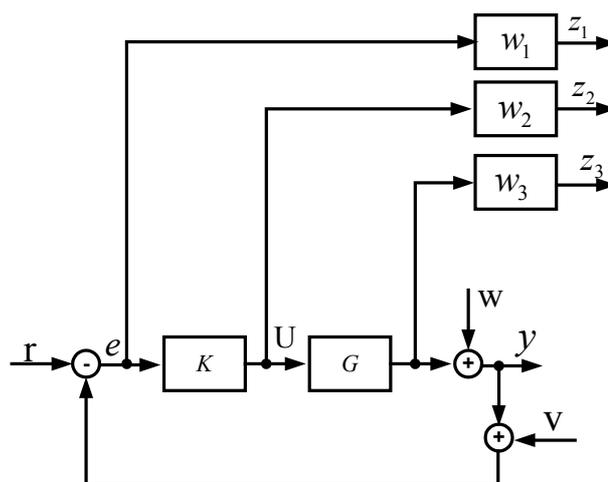


Рисунок 1- Структурная схема системы с робастным регулятором (G – объект, K – робастный регулятор, r – задание, w – возмущение, приложенное к объекту, v – помеха измерения, e – ошибка регулирования, U – управляющее воздействие, w_1 , w_2 , w_3 – функции, зависящие от частоты)

Рассмотрим схему (рис.1). Задача синтеза робастной системы в частотной области связана с определением такого регулятора, при котором чувствительность замкнутой САУ была бы меньше некоторого допустимого значения, а минимизация чувствительности требует выбора такого регулятора, чтобы эта чувствительность была равна или достаточно близка к минимальному значению.

В дальнейшем ищется такой регулятор, чтобы минимизировать норму $\|z_1 z_2 z_3\|_\infty$ [2]. При этом для парирования возмущений необходимо иметь малую ошибку e в диапазоне низких частот, а для обеспечения устойчивости и подавления высокочастотных помех желательно иметь малое значение y в высокочастотном диапазоне. Для этого нужно ошибку e в диапазоне низких частот «взвешивать» с большим весом, чем при высоких частотах, т.е. амплитуда частотной характеристики w_1 должна уменьшаться с ростом частоты. Напротив, амплитуда частотной характеристики w_3 должна увеличиваться при увеличении частоты. Что касается частотной характеристики w_2 , то она может оказаться полезной для ограничения мощности управления, а также как параметр, настраиваемый для регулирования быстродействия. Кроме того, в некоторых случаях введение w_2 необходимо, чтобы рассматриваемая задача имела решение [2]. При этом можно ограничиться простейшим выбором $w_2 = \varepsilon I$, где ε – малая величина, I – единичная матрица. Так как сингулярная

величина чувствительности $S(j\omega)$ определяет ослабление возмущений, то требуемое ослабление возмущений может быть задано как

$$\sigma_1(S(j\omega)) \leq |w_1^{-1}(j\omega)|, \text{ где } S(j\omega) = [1 + G(j\omega)K(j\omega)]^{-1}.$$

Границы для остальных функций чувствительности задаются в виде:

$$\sigma_1(R(j\omega)) \leq |w_2^{-1}(j\omega)|,$$

где $R(j\omega) = K(j\omega)[1 + G(j\omega)K(j\omega)]^{-1}$ - функция чувствительности управления;

$$\sigma_1(T(j\omega)) \leq |w_3^{-1}(j\omega)|,$$

где $T(j\omega) = G(j\omega)K(j\omega)[1 + G(j\omega)K(j\omega)]^{-1}$ - передаточная функция замкнутой САУ.

При этом должно выполняться условие:

$$\sigma_1(w_1^{-1}(j\omega)) + \sigma_1(w_3^{-1}(j\omega)) > 1.$$

Выбор весовых матриц является неоднозначной задачей, требующей достаточного опыта, полученного путем проб и ошибок. Обычно характеристика w_2 принимается равной небольшой постоянной величине, при ее отсутствии задача не решается. Характеристика w_3 принимается в виде:

$$w_3 = \frac{K_f s^2}{100},$$

где K_f - настраиваемый параметр.

$$\text{Характеристика } w_1 = \frac{K_f b (as^2 + 2z_1\omega_0\sqrt{as} + \omega_0^2)}{bs^2 + 2z_2\omega_0\sqrt{bs} + \omega_0^2},$$

где a, b - настраиваемые параметры.

Такое выражение для частотной характеристики можно рассматривать как достаточно общее. После задания весовых матриц существующая система расширяется так, что она включает в себя уравнения этих матриц как дополнительные фазовые координаты.

Все требования к системе по ослаблению возмущений и обеспечению запаса устойчивости сводятся к единственному требованию к норме

$$\|T_{yu}\|_{\infty} \leq 1, \text{ где } T_{yu} = \begin{vmatrix} w_1 S \\ w_2 R \\ w_3 T \end{vmatrix} - \text{функция стоимости смешанной чувствительности.}$$

Для решения задачи минимизации нормы T_{yu} применяется метод двух уравнений Лурье – Риккати [3,4], сочетающий в себе классическую ТАУ и метод пространства состояний (ПС), а именно: постановка задачи производится в частотной области, а ее решение осуществляется с использованием метода ПС. В рамках подхода «два-Риккати» искомый оптимальный регулятор в форме наблюдателя определяется на основе решения двух многомерных уравнений Лурье – Риккати для восстановления состояния и оптимального управления в смысле минимума T_{yu} - нормы замкнутой системы. Такой регулятор обеспечивает устойчивость, минимальную чувствительность к возмущениям и изменению параметров объекта [3,4].

Решение уравнений Риккати получено с помощью встроенной функции `hinfort`, осуществляющей так называемые γ - итерации для расчета оптимального регулятора. При этом используются соотношения:

$$\left\| \gamma T_{yu}(\gamma a) \right\| < 1,$$

где γa - индекс выходных каналов функции стоимости, которые умножаются на γ . Очевидно, что чем больше γ , тем меньше $\|T_{yu}\|_{\infty}$, так что ищется максимальное значение γ , при котором решение задачи существует (начальное значение $\gamma = 1$).

Для нашей системы результаты поиска наилучшего решения таковы:

< H-Infinity Optimal Control Synthesis >>

No Gamma D11<=1 P-Exist P>=0 S-Exist S>=0 lam(PS)<1 C.L.

| No | Gamma | D11<=1 | P-Exist | P>=0 | S-Exist | S>=0 | lam(PS)<1 | C.L. |
|----|-------------|--------|---------|------|---------|------|-----------|------|
| 1 | 1.0000e+000 | FAIL | OK | OK | OK | OK | OK | STAB |
| 2 | 5.0000e-001 | OK | OK | FAIL | OK | OK | OK | UNST |
| 3 | 2.5000e-001 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | STAB |
| 4 | 3.7500e-001 | OK | OK | FAIL | OK | OK | OK | UNST |
| 5 | 3.1250e-001 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | STAB |
| 6 | 3.4375e-001 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | STAB |
| 7 | 3.5938e-001 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | STAB |
| 8 | 3.6719e-001 | OK | OK | FAIL | OK | OK | OK | UNST |
| 9 | 3.6328e-001 | OK | OK | OK | OK | OK | OK | STAB |
| 10 | 3.6523e-001 | OK | OK | FAIL | OK | OK | OK | UNST |

Iteration no. 9 is your best answer under the tolerance: 0.0100 . Таким образом, наилучшее значение $\gamma = 0,36328$.

Структурная схема (рис.1) с синтезированным робастным регулятором была промоделирована с помощью пакета прикладных программ Matlab – Simulink (рис.2).

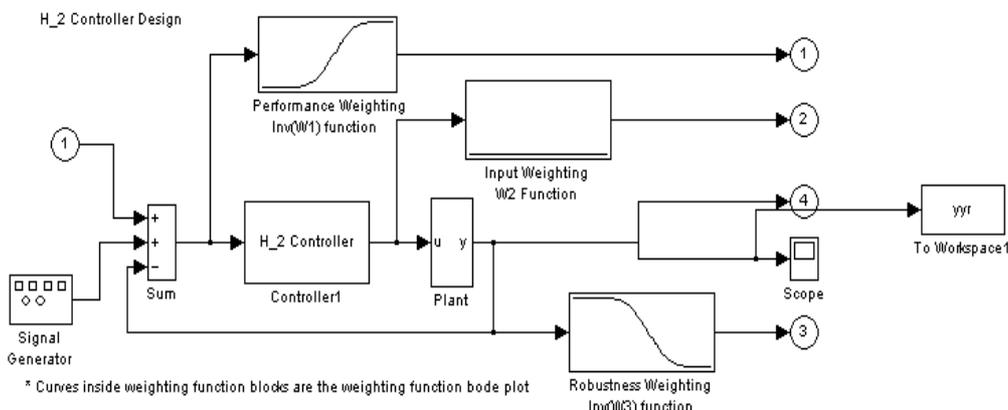


Рисунок 2 - Модель АСД в Simulink

Изменение дальности задано кривой (рис.3).

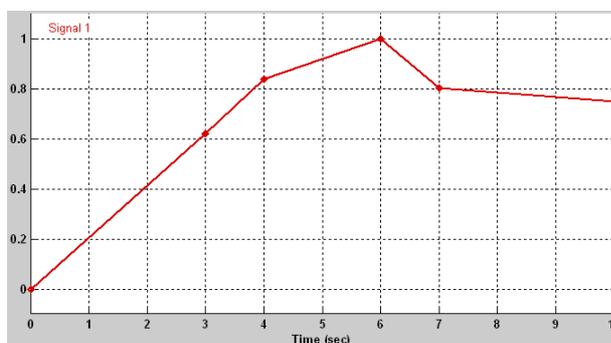


Рисунок 3 - Задающее воздействие для системы АСД

Переходная характеристика по дальности представлена на рис. 4.

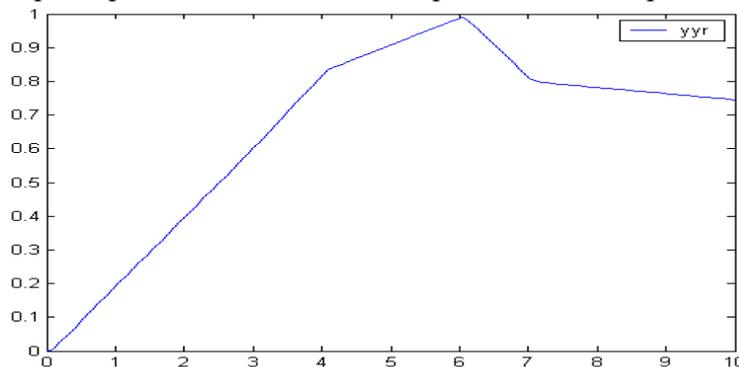


Рисунок 4 - Переходная характеристика дальности системы АСД

Из рис. 4 следует, что система обрабатывает задающее воздействие по дальности с большой точностью и быстродействием.

Результаты моделирования при изменении параметров системы: коэффициента усиления преобразователя и временного дискриминатора [1], приведены на рис.5.

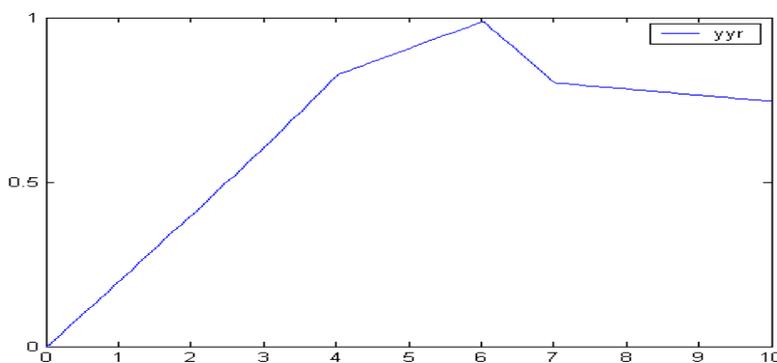


Рисунок 5 - Переходная характеристика дальности системы АСД при изменении коэффициента усиления на 40%

Результаты компенсации возмущающих воздействий, приведены на рис.6. Допустимый уровень шума для РЛС – 10дб.

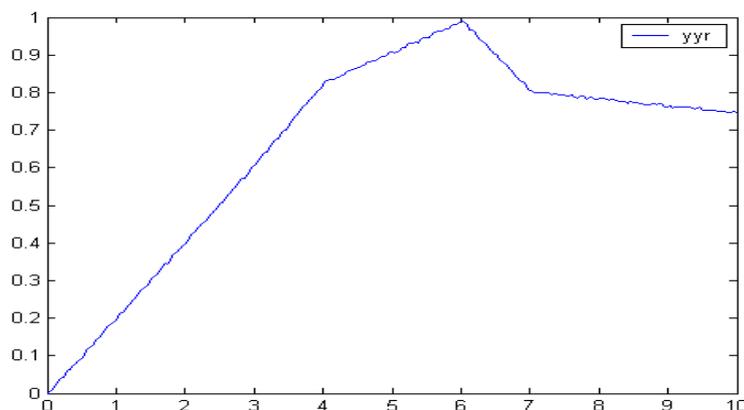


Рисунок 6 - Переходная характеристика дальности системы АСД при действии шума N=10дб

Анализируя результаты моделирования можно сделать вывод, что система является грубой, нечувствительной к изменению параметров объекта и остается устойчивой при действии возмущений.

Выводы.

1. Получена модель объекта управления в ПС.
2. Рассмотрено применение теории управления H_∞ для синтеза системы автоматического сопровождения цели по дальности радиолокационной станции.
3. Сформулированы требования к замкнутой системе в виде частотных ограничений на сингулярные числа передаточной функции замкнутой САУ.
4. Проведено моделирование динамики САУ при изменении параметров объекта и наличия возмущений. Система является робастной.

Литература

1. Зайцев Г.Ф. Теория автоматического управления и регулирования. Киев: Выща школа, 1988
2. В. М. Перельмутер Пакеты расширения MATLAB. Control System Toolbox, Robust System Toolbox – М.: СОЛОН – ПРЕСС, 2008. – 224с.
3. Robust Control Toolbox, User's guide, The MathWorks, 2001
4. Курдюков А.П., Семенов А.В., Павлов Б.В. Применение H_∞ - теории в задачах проектирования // Приборы и системы управления. – 1994. -№11.

Abstract

Zhukova N.V., Ponitkova G.V. Synthesis of robust control system for automatic target tracking in range for a radar station. The problem of synthesis of controller for automatic target tracing in range with the use H_∞ - method is solved. System requirements formulated in terms of frequency limitations on the singular number of the transfer function of the closed-loop system. The results of simulation of a system with a robust controller are reduced.

Keywords: H_∞ - method, automatic target tracking in range, the state variables, robust control, transfer function.

Анотація

Жукова Н.В., Поніткова Г.В. Синтез робастного регулятора системи автоматичного супроводу цілі по дальності для радіолокаційної станції. Вирішена задача синтезу регулятора для системи автоматичного супроводу цілі по дальності з використанням H_∞ - методу управління. Вимоги до системи формуються у вигляді частотних обмежень на сингулярні числа передатної функції замкненої системи. Наведені результати моделювання САУ з робастним регулятором.

Ключові слова: H_∞ - метод, система автоматичного супроводу цілі по дальності, змінні стану, робастний регулятор, передаточна функція.

Здано в редакцію:
30.03.2010р.

Рекомендовано до друку:
д.т.н, проф. Зорі А.А.