Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

**«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)**

Кафедра систем автоматического управления

# Реферат

по дисциплине

**«Нелинейное адаптивное управление в технических системах»**

Студент группы 9492 Викторов А.Д.

Преподаватель Путов В.В.

Санкт-Петербург

2024

# Содержание

# 1 Введение

Адаптивное управление — это метод управления динамическими системами с неизвестными или изменяющимися параметрами. Основная идея адаптивного управления заключается в том, чтобы подстраивать параметры регулятора в реальном времени, обеспечивая устойчивость и желаемые характеристики системы. В данном реферате мы рассмотрим несколько ключевых теорем и лемм, относящихся к адаптивной стабилизации и робастным алгоритмам высокого порядка.

# 2 Теорема 6.8: Адаптивная стабилизация по выходу строго пассивной системы

Пусть выполняются допущения 6.3 и 6.4. Тогда закон управления (6.124), (6.125) обеспечивает для объекта (6.120), (6.121) при любых $\gamma > 0$ и произвольных начальных условиях $x_0 = x(0), \hat{\theta}_0 = \hat{\theta}(0)$ ограниченность $x(t)$ и $\hat{\theta}(0)$. Если регрессор w(t) ограничен, то, дополнительно, все сигналы в замкнутой системе ограничены и $\lim_{t\to\infty} S(x(t)) = 0$. Основной вопрос, который возникает в связи с представленными результатами: насколько ограничительным является допущение 6.4? Как было показано в 2.6.3, условия (6.122), (6.123) выполняются только в том случае, если система

$$\dot{x} = f(x) + g(x)u, \tag{1}$$

$$y = h(x) \tag{2}$$

является строго пассивной. В частности, это означает, что относительная степень системы равна елиницы, а состояине равновесия x = 0 автономной части уравнения (1) является ассимптотически устойчивым. Таким образом, необходимо, необходиом признать, что допущение 6.4 является крайне ограничительным и как следствие - теорема 6.8 имеет ограничечнное практическое значение.

## Понятие строгой пассивности

Пусть у нас есть система, описываемая входом $u(t)$ и выходом $y(t)$. Система называется строго пассивной, если существует положительно определенная функция Ляпунова $V(x)$ такая, что:

$$\dot{V}(x) \leq u(t)y(t) - \alpha\|y(t)\|^2,$$

где $\alpha > 0$ — некоторая положительная постоянная, а $\|y(t)\|$ обозначает норму выходного сигнала.

### Пример адаптивного регулятора

Для стабилизации системы по выходу можно использовать закон адаптации для корректировки параметров регулятора в реальном времени:

$$\dot{\theta} = \gamma y(t) u(t),$$

где $\theta$ — вектор адаптивных параметров, а $\gamma$ — скорость адаптации.

## 3 Теорема 6.9: Адаптивная стабилизация по выходу строго минимально-фазовой системы

**Описание теоремы**: Теорема 6.9 касается минимально-фазовых систем, у которых все нули правой части передаточной функции находятся в левой полуплоскости. Такие системы можно стабилизировать только по выходу, используя адаптивный регулятор.

### Минимальная фаза

Система является минимально-фазовой, если её передаточная функция $G(s)$ имеет все нули в левой полуплоскости. Это свойство выражается через условие:

$$\mathrm{Re}(s_i) < 0, \quad \forall i,$$

где $s_i$ — корни числителя передаточной функции.

### Адаптивный регулятор

Для минимально-фазовой системы можно использовать регулятор с обновляемыми параметрами:

$$u(t) = -ky(t),$$

где $k$ — адаптивный параметр, который обновляется по правилу:

$$\dot{k} = \gamma y(t) \left( y_d(t) - y(t) \right),$$

где $y_d(t)$ — желаемое значение выходного сигнала.

# 4 Леммы 6.1 - 6.4 и Теорема 6.10: Адаптивное управление с расширенной ошибкой

**Лемма 6.1**: В этой лемме рассматривается поведение ошибки адаптации при наличии расширенной ошибки. Для системы с выходом $y(t)$ и референтной моделью $y_r(t)$, расширенная ошибка определяется как:

$$e(t) = y(t) - y_r(t).$$

**Лемма 6.2**: Эта лемма доказывает, что функция Ляпунова $V(x)$ для расширенной ошибки $e(t)$ остаётся положительно определенной.

**Лемма 6.3**: Здесь рассматривается условие для сходимости параметров адаптации.

**Лемма 6.4**: Условие, обеспечивающее ограниченность функции Ляпунова.

### Теорема 6.10

В этой теореме описывается, как можно построить адаптивный регулятор с использованием расширенной ошибки. Пусть функция Ляпунова имеет вид:

$$V(e, \theta) = \frac{1}{2}e^2 + \frac{1}{2}\|\theta - \theta^*\|^2,$$

где $\theta$ — вектор текущих параметров, а $\theta^*$ — истинные параметры системы. Теорема утверждает, что можно построить такой закон адаптации, что $e(t) \to 0$ при $t \to \infty$.

# 5 Теорема 6.11: Алгоритм адаптации высокого порядка

**Описание теоремы**: Теорема 6.11 утверждает, что можно разработать алгоритм адаптации высокого порядка, который учитывает производные ошибок более высокого порядка для более точной стабилизации системы.

### Задача стабилизации

Стабилизационный алгоритм учитывает не только текущую ошибку $e(t)$, но и её производные:

$$u(t) = -k_1 e(t) - k_2 \dot{e}(t) - \cdots - k_n e^{(n-1)}(t).$$

### Адаптивное обновление параметров

Параметры $k_i$ адаптируются на основе производных ошибок, чтобы обеспечить быструю сходимость и минимизировать ошибку управления.

# 6 Теорема 13: Нелинейный робастный алгоритм высокого порядка

**Описание теоремы**: Теорема 13 касается робастных алгоритмов адаптации, способных стабилизировать системы, даже если они подвержены нелинейным воздействиям и возмущениям.

### Робастность

Робастный алгоритм стабилизации учитывает внешние возмущения $d(t)$ и использует нелинейные функции управления:

$$u(t) = -k_1 \mathrm{sat}(e(t)) - k_2 \mathrm{sat}(\dot{e}(t)) - \cdots - k_n \mathrm{sat}(e^{(n-1)}(t)),$$

где $\mathrm{sat}(\cdot)$ — нелинейная функция насыщения, ограничивающая значения управления для повышения устойчивости системы к возмущениям.

### Функция Ляпунова для робастности

Используя ограничение на сигнал ошибки, можно записать:

$$\dot{V}(x) \leq -\alpha V(x) + \beta \|d(t)\|^2,$$

где $\alpha$ и $\beta$ — положительные постоянные. Это ограничение помогает гарантировать робастность системы.

## Заключение

Адаптивные и робастные алгоритмы управления позволяют стабилизировать сложные динамические системы даже при наличии неопределенности и возмущений. Применение адаптивных методов повышает устойчивость системы и её способность адаптироваться к изменениям параметров.