Основным ограничением метода построения закона управления с использованием линеаризации системы является то, что построенный закон управления применим лишь в некоторой окрестности рабочей точки (точки равновесия). Метод настройки обратной связи, позволяющий расширить применимость метода линеаризации на случай нескольких рабочих точек. Во многих ситуациях известно, как изменяется динамика системы при смене рабочих точек. Более того, иногда оказывается возможным построить модель системы, в которой рабочие точки параметризуются одной или несколькими переменными, которые мы будем называть настроечными переменными. В этих случаях мы можем выполнить линеаризацию системы в окрестностях нескольких точек равновесия, построить законы управления в каждой из этих окрестностей и реализовать полученное семейство линейных законов управления в виде единого регулятора, параметры которого изменяются в ходе мониторинга настроечных переменных. Подобный регулятор называется регулятором с настраиваемой обратной связью.

Концепция настройки обратной связи была изначально предложена при разработке систем управления полетом. 1) Нелинейные уравнения движения самолета или ракеты линеаризовывались в окрестности выбранных рабочих точек, соответствующих различным эксплуатационным режимам полета. Далее строились линейные регуляторы, которые обеспечивали требуемые свойства устойчивость и желаемые эксплуатационные характеристики линеаризованных систем в окрестности выбранных рабочих точек. Затем параметры регуляторов интерполировались функциями от настроечных переменных. В качестве этих переменных обычно выступали динамическое давление, число Маха, высота полета и угол атаки. Наконец построенный регулятор с настраиваемой обратной связью применялся в исходной нелинейной системе. Рассмотрим простой пример, иллюстрирующий идею настройки обратной связи.

В случае нелинейной системы общего вида рассматриваемая задача стабилизации становится более сложной. С практической точки зрения наиболее простым подходом для решения этой задачи является использование результатов, имеющихся для линейных систем, т.е. использование метода линеаризации. В параграфе 12.2 закон управления будет построен посредством линеаризации системы в окрестности желаемой точки равновесия в виде обратной связи для соответствующей линеаризованной системы. Применимость этого подхода обусловлена первым методом Ляпунова, сформулированным в виде теорем 4.7 и 4.13. Очевидно, что результаты, полученные с использованием этого подхода, будут иметь локальный характер, т.е. он гарантирует лишь асимптотическую устойчивость замкнутой системы, но не позволяет в общем случае определить область притяжения или обеспечить глобальную асимптотическую устойчивость. В параграфе 12.5 будет предложен метод настройки обратной связи, позволяющий расширить сферу применимости метода линеаризации за счет решения задачи стабилизации в различных рабочих точках и последовательного гладкого или скачкообразного перехода регулятора с одного режима на другой.

С учетом результатов этого примера можно предложить процедуру построения стабилизирующего регулятора с настраиваемой обратной связью. Эта процедура состоит из следующих шагов:

1. Линеаризация нелинейной модели в окрестности семейства рабочих точек (точек равновесия), параметризованных настроечными переменными.

2. С использованием линеаризованных систем находится параметризованное семейство линейных стабилизирующих регуляторов, обеспечивающих желаемые характеристики поведения системы в каждой из рабочих точек.

3. Построение регулятора с настраиваемой обратной связью, такого что

для каждого постоянного значения внешнего входного сигнала замкнутая регулятором с настраиваемой обратной связью система имеет ту же точку равновесия, что и система, замкнутая регулятором с фиксированной обратной связью;

линеаризация системы, замкнутой регулятором с настраиваемой обратной связью, эквивалентна линеаризации системы, замкнутой регулятором с фиксированной обратной связью. 4. Проверка достижения цели управления при нелокальном применении регулятора с настраиваемой обратной связью путем моделирования замкнутой нелинейной модели

Второй шаг может быть выполнен путем нахождения соответствующих законов управления для семейства линейных моделей, непрерывно зависящих от настроечных переменных (аналогично тому, как было сделано в предыдущем примере), или путем решения этой задачи лишь для конечного числа рабочих точек с использованием регулятора, имеющего для каждой из этих точек аналогичную структуру, но с учетом возможности изменения параметров регулятора при переключении системы управления с одной рабочей точки на другую. После этого параметры регулятора интерполируются в промежуточных рабочих точках, что приводит к получению параметризованного семейства линейных регуляторов. Этот интерполяционный процесс в каждом конкретном случае специфичен по своей природе и связан с физикой рассматриваемой системы

Планирование коэффициентов усиления - распространенный метод управления нелинейными системами, динамика которых меняется от одного рабочего состояния к другому. Планирование усиления используется, когда один набор коэффициентов усиления регулятора не обеспечивает желаемую производительность и стабильность во всем диапазоне рабочих условий для установки.

Проектирование регулятора с планированием усиления обычно включает следующие шаги:

Линеаризация нелинейной модели установки при различных рабочих условиях для получения линейных моделей, описывающих поведение установки вблизи рабочей точки, которой соответствует линейная модель.

Настройка коэффициентов усиления регулятора для всех линейных моделей установки.

Реализовать архитектуру регулятора с планированием усиления, в которой усиление регулятора "планируется" с помощью переменной планирования, такой как измеренный выход или состояние системы.

Gain scheduling – метод для построения нелинейных регуляторов, используя линейные техники.

Применим только для систем динамика которых изменяется медленно как функция относительно настроечных переменных.

Традиционный алгоритм gain scheduling:

1. Имеем нелинейную модель с настроечными параметрами
2. Выберем определенные рабочие точки (зависящие от настроечных параметров) и линеаризуем систему в окрестности этих точек. В итоге получили семейство линеаризованных моделей параметризованных настроечными параметрами
3. В каждой рабочей точке настраиваем коэффициенты регулятора
4. Составляем таблицу коэффициентов, зависящих от настроечных параметров (поверхность)
5. Необходимо измерять реальные настроечные параметры и динамически выбирать коэффициенты регулятора

Минусы:

1. Ручная настройка регуляторов в каждой рабочей точке
2. После настройки регуляторов в каждой рабочей точке необходимо син езировать общую модель завивисмоти коэффициентов регулятора от настроечных параметров для гладкого перехода между рабочими точками

Можем использовать MATLAB для решения этих проблем:

1. Настройка сразу всей поверхности коэффициентов
2. В результате настройки всей поверхности получаем гладкую поверхность с явной формулой

Для этого мы параметризуем gains как функции от настроечных параметров. Выбор вида функции делается на основе решаемой задачи.

Для каждой рабочей точки мы определяем качество переходных процессов которые мы отим наблюдать. Эти требования могут быть одинаковыми для всех рабочих точке или же нет.

В конце мы находим такие коэффициенты, что наша поверхность удовлетворяет нашим требованиям к переходным процессам в опреедленных рабочих точках

https://www.mathworks.com/help/control/ug/tuning-of-gain-scheduled-three-loop-autopilot.html