

УДК 62-5

Управление неустойчивыми объектами на примере привода вертикальных рулей самолета

08, август 2012

Юдович Е.И.

Студент

кафедра «Специальная робототехника и мехатроника»

Научный руководитель: Медведев В.С.,

д. т. н., профессор кафедры «Специальная робототехника и мехатроника»

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Jenny_yudovich@mail.ru

Неустойчивые объекты

Возможность управления неустойчивыми техническими объектами теоретически рассматривалась уже давно, несколько десятков лет назад. Но практическое значение управление такими объектами приобрело сравнительно недавно. Дело в том, что неустойчивые объекты управления, если ими правильно управлять, обладают рядом полезных качеств, в том числе и быстродействием.

Приступать к изучению свойств систем управления неустойчивыми объектами целесообразно на простых примерах, одним из которых является классический обратный маятник. С одной стороны, эта задача сравнительно простая и наглядная, с другой, она подготавливает исследователя к построению весьма практически значимых моделей двуногих существ (людей, птиц и динозавров), а также антропоморфных устройств (роботов, киберов и др.), перемещающихся на двух опорах.

Технические объекты и системы в зависимости от их назначения могут проектироваться как устойчивые или неустойчивые в отсутствие управления ими. Например, самолеты. Пассажирский самолет проектируется, прежде всего, для достижения максимальной безопасности. Конечно, такие самолеты в отсутствие управления должны быть устойчивыми. Так, при уменьшении скорости полета задолго до того, как самолет пойдет в штопор, его нос опускается и скорость возрастает, сохраняя стабильное положение самолета в пространстве. Самолет – истребитель проектируется для воздушного боя, и одна из его важнейших характеристик это маневренность. Маневренность достигается путем приближения свойств истребителя к границе устойчивости и даже с переходом через эту границу. Пилот не справится с задачей поддержания в устойчивом состоянии истребителя, но его система управления помогает пилоту выполнять эту задачу

Обратный маятник

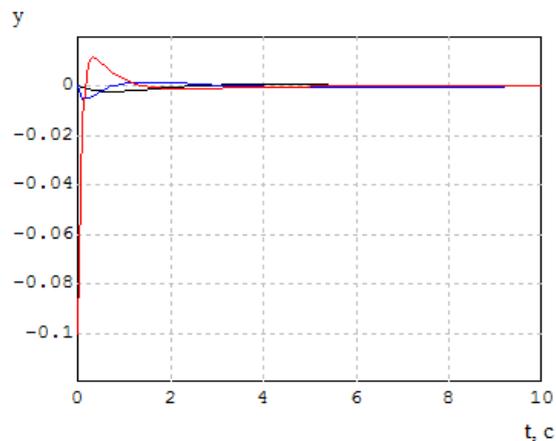
Маятник рассматривается еще в школьном курсе физики. Это груз, подвешенный на нити и способный раскачиваться и возвращаться в нижнее, устойчивое положение с течением времени. Тот же маятник, представляющий собой груз (например, свинцовый шарик, диаметром 4.5 см, имеющий массу 1 кг), закрепленный на конце жесткого стержня, второй конец которого закреплен в шарнире называется обратным маятником,

если задача управления им состоит в выведении груза наверх и поддержании его там. Первое, что сразу приходит в голову инженеру-автоматчику при построении системы слежения и стабилизации, это использовать ПИД – регулятор, хорошо себя зарекомендовавший в управлении многими объектами. Тогда переходные процессы будут представлять собой сходящиеся к нулю, для угла от вертикального положения, его скорости и ускорения, расходящиеся для координаты тележки. Система управления на основе ПИД – регуляторов способна выводить маятник наверх, по крайней мере, при начальных отклонениях, меньших 60° .

Ослабив обратные связи регулирования по положению опоры шарнира и его скорости можно получить линейную САУ, способную, пусть и медленно, с большими отклонениями опоры от начала координат, но выводить маятник наверх из любого положения. Отметим в качестве недостатков САУ ударный характер изменения управляемой величины – ускорения опоры маятника, и весьма значительные величины этого ускорения, достигающие 1000 м/сек^2 , т.е. $100g$. Отклонения опоры в процессе регулирования достигают и превышают 150 м при начальных значениях угла отклонения маятника больших 90° .

Снижения ускорений опоры обратного управляемого маятника можно добиться, используя нелинейный алгоритм управления. В этой системе \sin и \cos располагающиеся в каналах управления компенсируют нелинейности самого маятника, таким образом система работает как линейная, приобретая лучшее быстродействие. В результате, система энергично переводит маятник в «положение транспортировки», когда он существенно наклонен для обеспечения эффективного торможения опоры, а после торможения система неспешно устанавливает маятник в вертикальное положение, одновременно выводя его опору точно в начало координат.

График



График

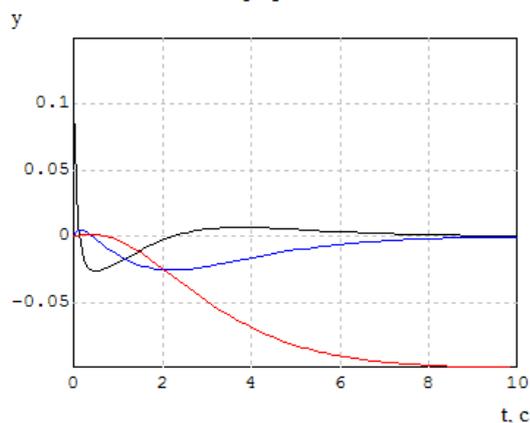


Рис. 1

Неустойчивый самолет

Неустойчивый самолет- самолет, который, будучи выведен из установившегося режима полета какой-либо силой, сам, без помощи органов управления, в первоначальный режим полета не возвращается

В полете самолет находится под постоянным воздействием различных возмущений, связанных с перемещением воздушных масс в атмосфере. Эти возмущения стремятся вывести самолет из равновесия и изменить режим полета. В таких условиях благодаря устойчивости упрощается пилотирование самолета, т.к. самолет сохраняет заданный режим полета и парирует возникающие возмущения самостоятельно. В устойчивом самолете центр давления располагается ближе к хвосту, чем центр тяжести, за счет этого происходит стабилизация. Самолет будет неустойчивым, если центр давления располагается ближе к носу, чем центр тяжести.

Рассмотрим канал тангажа такого самолета. Передаточная функция такой системы будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{4}{s(T^2 s^2 + 2\xi T - 1)}$$

Знак «-» перед единицей, указывает на то, что система неустойчива. Рассматривая конкретные характеристики самолета-истребителя на примере самолетов Су-27, получим передаточную функцию канала тангажа:



Рис. 2

Проведя синтез корректирующих устройств получим систему, способную стабилизировать неустойчивый самолет и дающую возможность при необходимости выполнять сложные фигуры высшего пилотажа. Результаты моделирования системы в Simulink:

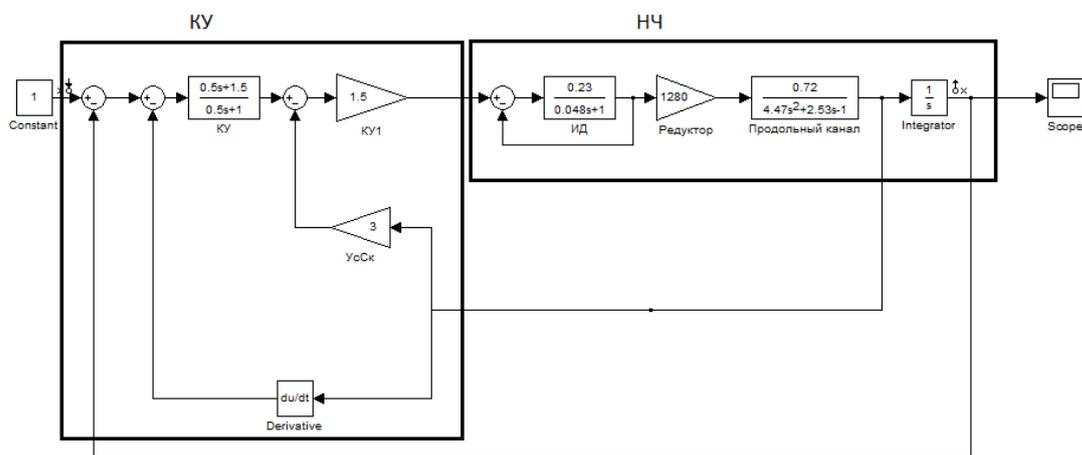


Рис. 3

Переходной процесс:

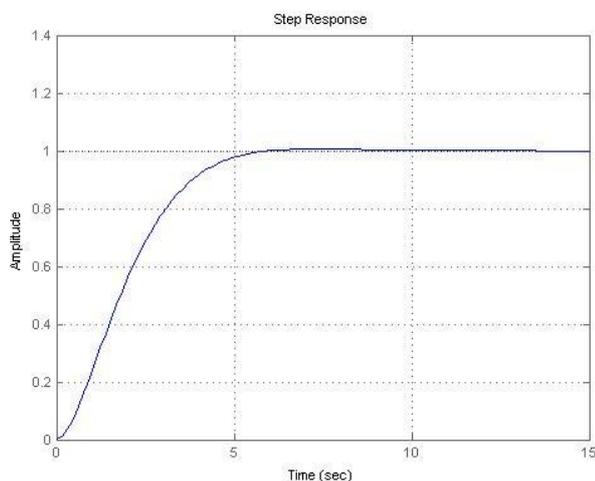


Рис 4

При реализации системы принято решение в качестве исполнительного элемента использовать вентильный двигатель типа ДБ-50-160-15. В пользу этого говорит отсутствие щеточного контакта, что увеличивает срок службы, повышает надежность, уменьшает массу исполнительного механизма, облегчает обслуживание. Ещё одним обстоятельством влияющим на выбор, в качестве исполнительного элемента следящего электропривода, именно бесконтактного двигателя постоянного тока стало, то обстоятельство, что он: во-первых обладает “идеальной” регулировочной характеристикой; во-вторых жёсткими механическими характеристиками; в-третьих имеет очень маленькие постоянные времени (при выборе определённых конструктивных соотношений); в-четвёртых может быть довольно легко интегрирован в бортовые цифровые системы управления полётом, благодаря электронному управлению коммутацией инвертора ; в-пятых возможность работы при более чем двукратных электромагнитных перегрузках и широкий диапазон условий применения.

Последние достижения в области редкоземельных самариевокобальтовых магнитных материалов, бесконтактных электрических машин с постоянными магнитами, силовых транзисторных ключей обеспечивают в настоящее время значительное увеличение удельной мощности электромеханических приводов по сравнению с существующими гидравлическими. Удовлетворение требований к рулевым приводам самолета при использовании электромеханических агрегатов с учетом массо-габаритных ограничений сопряжено с необходимостью более чем двукратного повышения удельных

электромагнитных нагрузок на электродвигатель при одновременном обеспечении высокой кратности регулирования частоты вращения привода. Эти ограничения в рамках существующих технических решений ставили непреодолимый барьер реализации концепции энергоснабжения на унифицированной элементной и агрегатной базе.

В настоящее время ситуация коренным образом изменилась, развитие силовой электроники, главным образом силовых транзисторных схем, в значительной мере снижает остроту проблемы регулирования электропривода, а разработка высококоэрцитивных постоянных магнитов на базе самарий-кобальтовых сплавов, обладающих высокой удельной энергией, позволяет существенно снизить массу и габариты привода при одновременном повышении его быстродействия.

Кобра Пугачева

Кобра — фигура высшего пилотажа, которая демонстрирует управление тангажом в динамике полёта, стабильность на больших углах атаки и возможности сверхманёвренности реактивного самолёта.

Впервые в мире данную фигуру выполнил в испытательном полете на самолёте Су-27 заслуженный лётчик-испытатель СССР Игорь Волк. Впервые фигуру продемонстрировал на авиашоу лётчик-испытатель Виктор Пугачёв, поэтому она также известна как «кобра Пугачёва». При выполнении «кобры» самолёт резко задирает нос, вплоть до запрокидывания назад, но при этом сохраняет прежнее направление полёта. Таким образом, самолёт выходит на углы атаки больше 90 градусов: для Су-27 — 110°, для Су-37 — до 180° (то есть Су-37 может летать хвостом вперёд). Затем, самолёт возвращается в нормальный режим полёта практически без потери высоты. Технически манёвр выполняется путём отключения продольной устойчивости. Практическая значимость этой фигуры в бою заключается в возможности пуска ракет вверх-назад при использовании нашлемной системы указания. При экстренной посадке манёвр «кобра» позволяет быстро сбросить горизонтальную скорость самолёта, например, когда нет времени на проход по посадочному коридору.

В рассмотренном нами примере неустойчивого самолета выполнение этой фигуры достигается отключением обратной связи в канале тангажа. А выход из фигуры соответственно включением ее, при чем самолет должен выравниваться. На модели такая ситуация достигается включением в контура.

Выводы

Возможность управления неустойчивыми техническими объектами теоретически рассматривалась уже давно, несколько десятков лет назад. Но практическое значение управление такими объектами приобрело сравнительно недавно. Дело в том, что неустойчивые объекты управления, если ими правильно управлять, обладают рядом полезных качеств, в том числе и быстродействием. Но при выходе из строя автоматической системы управления неустойчивый объект может представлять собой существенную угрозу, опасность и для человека, и для окружающей среды.

Мы рассмотрели управление неустойчивыми объектами на примере неустойчивого самолета. Современный уровень развития силовой электроники и мощности, достигаемый в электрических машинах с применением самарий-кобальтовых сплавов позволяют выполнить привод рулей электрическим. А неустойчивость самолета при управлении по тангажу позволяет выполнять такие фигуры пилотажа как Кобра Пугачева.

Таким образом, неустойчивые объекты являются перспективной и безусловно интересной областью для изучения.

Литература

1. Федосов Б.Т. Управление неустойчивыми объектами. Казахстан: Рудненский индустриальный институт
2. Волокитина Е.В., Шалагинов В.Ф. Вентильные электродвигатели постоянного тока для автоматизированных приводов автономных объектов // Труды IV Междунар. симпоз. ЭЛМАШ-2002. М: “Интерэлектромаш”, 2002. – С.77.

3. Панкратов В. В. Вентильный электропривод: от стиральной машины до металлорежущего станка и электровоза. Электронные компоненты. – 2007. – № 2.
4. Редько П.Г., Ермаков С.А., Селиванов А.М. и др. Концепция развития систем рулевых приводов перспективных самолетов. Полет №1, 2008г. С.50-60.
5. Бюгшенс Г.С., Студнев Р.В. Аэродинамика самолета. Динамика продольного и бокового движения. М., Машиностроение. 1979г.
6. Hanagud S. F-15 Tail buffet alleviation: a smart structure approach. School of Aerospace Engineering Georgia Institute of Technology Atlanta, Georgia, 1998
7. Bolling J. G. Implementation of Constrained Control Allocation Techniques Using an Aerodynamic Model of an F-15 Aircraft. Blacksburg, Virginia, 1997
8. http://www.uvauga.ru/E_library/Aerodynamics/171.htm- “Устойчивость и управляемость самолета”
9. <http://www.warlib.ru/>-“Военная библиотека Федорова. Кобра Пугачева”
10. <http://ru.wikipedia.org/wiki/>- “Кобра Пугачева”