

ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ СИНТЕЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДАМИ ПОВОРОТНО-ПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМОВ

А. Н. Русакович, А. Г. Стрижнев

НПООО «ОКБ ТСП», Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

E-mail: aliaksei.rusakovich@gmail.com

Представлены методы определения и компенсации влияния нелинейностей механизмов, идентификации нелинейных объектов управления, синтеза цифрового регулятора на основе гибких обратных связей, позволяющие повысить показатели качества работы систем управления электроприводами поворотных механизмов.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время к качеству работы современных систем автоматического управления (САУ) предъявляются все более жесткие требования по точности и быстродействию. Добиться эффективности любой системы можно, по меньшей мере, двумя способами – интенсивным и экстенсивным. Экстенсивным способом является применение более мощных и быстродействующих устройств, а интенсивным – использование более совершенных алгоритмов, позволяющих обеспечивать максимальные показатели качества. В ряде случаев, например, при модернизации существующих систем, использование первого способа не всегда экономически выгодно, а порой и невозможно, поэтому упор необходимо делать на второй способ – создание эффективных алгоритмов синтеза САУ. Разработка любой высокоточной системы состоит из нескольких этапов, начиная с проектирования и анализа различных механизмов и заканчивая синтезом регуляторов. Поэтому эффективность можно обеспечить лишь комплексным подходом, т.е. на всех этапах разработки необходимо учитывать нелинейности механизмов, обеспечить точную идентификацию объектов управления (ОУ), в т.ч. при наличии нелинейностей и ограничений различного рода, синтезировать регуляторы, обеспечивающие требуемые качественные показатели.

I. НЕЛИНЕЙНОСТИ МЕХАНИЗМОВ

В технике широко применяются различные поворотные-подъемные механизмы (зубчатые или рычажные), которые преобразуют движение выходных звеньев электро-, пневмо-, гидроприводов в движение нагрузки и тем самым выводит ее на требуемую координату. Данные механизмы имеют нелинейные характеристики, которые нужно учитывать при проектировании САУ. Для выявления и компенсации влияния нелинейностей были исследованы различные простые [1], сложные [2] и многозвенные механизмы [3] электро- и гидроприводов. В результате исследования установлено, что во время работы при-

водов и линейном вращении ротора электродвигателя или линейном движении штока гидроцилиндра происходят нелинейные изменения коэффициентов преобразования K_{Π} механических передач. Получены аналитические выражения K_{Π} различных механизмов, которые представлены в работах [1-3]. Например, в исследованном приводе разворачивания антенны при изменении угла возвышения в пределах рабочей зоны коэффициент K_{Π} изменяется по нелинейному закону от 0,0048 до 0,024, т.е. примерно в 5 раз. Также было установлено [1,2], что величины нелинейностей механических передач достигают 5,8% в простых и 16,17% – в сложных рычажных механизмах. В случаях, когда требуется компенсировать влияние нелинейной зависимости коэффициента K_{Π} на работу привода, удобно использовать нормированный коэффициент преобразования $K_n = K_{\Pi, \phi_2=25^\circ} / K_{\Pi}$. В качестве нормирующей величины выбирается значение коэффициента K_{Π} , вычисленное при среднем угле возвышения. Для компенсации влияния нелинейного коэффициента преобразования на работу привода достаточно, используя функцию K_n , осуществить модуляцию сигнала управления электродвигателем или гидроцилиндром.

II. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

При проектировании САУ одной из ключевых задач является определение математических моделей ОУ, т.е. их идентификация. В настоящее время разработано множество методов идентификации, которые успешно используются при синтезе САУ. Однако существуют ОУ, работающие в узком диапазоне выходных координат, осуществить идентификацию которых на основании классических методов затруднительно или невозможно. Диапазон выходных координат может быть ограничен, исходя из особенностей конструкции изделия, или искусственно: например, когда ОУ имеет нелинейный K_{Π} (пункт I), идентификацию необходимо производить в зоне наибольшей линейности. При подаче входных сигналов на ОУ, работающие в узком диапазоне, выходная величина не успевает

достичь установившегося значения. Кроме того, при подаче входных сигналов большой амплитуды, могут происходить удары ОУ об ограничители (упоры) и, как следствие, поломка техники. Для преодоления указанных трудностей и решения ряда других задач был разработан новый метод исследования нелинейных ОУ [4], который содержит несколько последовательно выполняемых этапов: снятие и построение регулировочной (РХ) и логарифмической амплитудно-фазовой частотной (ЛАФЧХ) характеристик, определение передаточной функции ОУ. Суть метода заключается в том, что на вход ОУ подаются ступенчатые сигналы равномерно изменяемой амплитуды и, не доходя 5–10% до максимума заданного диапазона выходной координаты, осуществляется изменение знака входных сигналов. При этом образуются входные сигналы, имеющие форму меандра, а выходные сигналы оказываются «привязанными» к рабочему диапазону. При снятии РХ координаты точки реверсирования остаются неизменными, а амплитуда сигнала меняется в каждом цикле сканирования. После симметрирования, нормирования и аппроксимации, полученная РХ может использоваться для выявления нелинейностей, выбора амплитуды входных сигналов для ЛАФЧХ и моделирования. При снятии ЛАФЧХ на вход ОУ также подаются сигналы в форме меандра, однако при этом, изменяя координаты точки реверсирования, обеспечивается регулирование частоты входных и выходных сигналов ОУ. Данный метод в сравнении с классическим обеспечивает получение ЛАФЧХ в более узком диапазоне частот, поэтому предлагается использовать комбинированную ЛАФЧХ, полученную авторским и классическим методами. Полученные характеристики в дальнейшем используются для получения передаточной функции ОУ и моделирования.

III. СИНТЕЗ ЦИФРОВОГО РЕГУЛЯТОРА

После идентификации следующей задачей является синтез корректирующих устройств (КУ), которые придают системе требуемые динамические свойства. Для расчета последовательных КУ (регуляторов) необходимы полные и точные сведения обо всех звеньях контура управления, а главное об изменении их параметров в процессе эксплуатации. Изменение параметров звеньев ОУ обычно принято компенсировать путем их охвата параллельными корректирующими обратными связями (ОС) или применением параллельных КУ (квазимодальных, линейно-квадратичных). Следует заметить, что практически такое же качество управления может быть получено с помощью цифрового регулятора на основе гибкой ОС (ЦРГОС). Предложенный метод синтеза ЦРГОС [5] состоит из нескольких этапов: повышение быстродействия прямой цепи

системы, коррекция вида переходного процесса и реализация регулятора в цифровом виде. Повышение быстродействия САУ осуществляется с помощью дополнительного усилителя, включенного в прямую цепь системы. Для коррекции вида переходного процесса определяется структура передаточной функции корректирующей ОС и рассчитываются ее параметры. На заключительном этапе полученная передаточная функция дискретизируется с помощью автоматизированных методов пакета MATLAB. В результате проведенного сравнительного анализа работы различных КУ установлено, что ЦРГОС обладает очень низкой чувствительностью к изменению параметров ОУ (коэффициента усиления, постоянной времени), при этом обеспечивая высокое качество работы. Синтез и реализация ЦРГОС достаточно проста, что позволяет использовать его при проектировании САУ с изменяющимися параметрами, при условии обеспечения требуемых характеристик системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на каждом этапе разработки САУ необходимо стремиться к обеспечению максимально возможной эффективности. Так, выявление и компенсация влияния нелинейностей механических передач на этапе проектирования САУ позволяет стабилизировать коэффициент преобразования, а также в дальнейшем получить более качественную модель ОУ. Разработанный метод исследования ОУ с ограниченным диапазоном выходных координат позволяет выявить различные нелинейности и получить более точные математические модели ОУ. И в заключение, с помощью предложенного метода синтеза можно получить регулятор, обеспечивающий высокое качество работы САУ с изменяющимися параметрами.

1. Стрижнев, А.Г. Нелинейности простейших рычажных механизмов гидроприводов / А.Г. Стрижнев, Г.В. Ледник // Вестник ВА. – 2011. – № 3. – С. 128-132.
2. Стрижнев, А.Г. Нелинейности сложных рычажных механизмов электро- и гидроприводов / А.Г. Стрижнев, А.Н. Русакович // Наука и техника. – 2014. – № 1. – С. 12-19.
3. Стрижнев, А.Г. Подходы к определению и компенсации влияний нелинейностей электро- и гидроприводов, содержащих многозвенные рычажные механизмы / А.Г. Стрижнев, А.Н. Русакович // Новости науки и технологий. – 2015. – № 2 – С. 41-48.
4. Стрижнев, А.Г. Метод исследования нелинейных объектов управления, работающих в заданном диапазоне выходных координат / А.Г. Стрижнев, А.А. Шихов, А.Н. Русакович // Информатика. – 2015. – № 47 – С. 81-89.
5. Стрижнев, А.Г. Синтез цифрового регулятора, включенного параллельно единичной обратной связи / А.Г. Стрижнев, М.К. Хаджинов, А.Н. Русакович // Доклады БГУИР. – 2014. – № 4(82). – С. 80-86.