

Лабораторная работа по курсу “Управление техническими объектами”

2020 г.

Общие требования к исполнению лабораторной работы

В некоторых задачах есть несколько вариантов, они обозначены пометками **а), б) в)**.

Работа включает два этапа:

1. **Этап 1: теория.** Результат выполнения задачи оформляется в виде структурных схем и текста, содержащего необходимые уравнения и пояснения.
 - (а) Составить расширенную схему системы управления с учетом основных неидеальностей и нелинейностей.
 - В качестве блоков структурной схемы выступают отдельные элементы описанной в задании системы — датчики, линии связи, исполнительные устройства и т.п. При необходимости один блок разбивается на несколько.
 - Каждый блок должен быть снабжен математической моделью, описывающей его работу.
 - Сигналы должны быть подписаны, указаны их единицы измерения.
 - Все параметры моделей должны иметь числовые значения. Значения параметров вычисляются по данным из условия задачи. В некоторых ситуациях надо сделать обоснованный выбор их значений.
 - В качестве регуляторов предлагается использовать стандартные П-, ПИ-, ПД- и ПИД-структуры.
 - (б) **Составить упрощенную схему** системы управления.
 - Упрощенная схема должна описывать непрерывную, дискретную или непрерывно-дискретную систему управления. Для дискретных систем допустимо присутствие не более чем одной частоты дискретизации.
 - Большинство неидеальностей можно пренебречь или заменить их линейными моделями. При этом нужно пояснение, почему это можно или нельзя сделать в данном случае, к каким негативным эффектам может привести наличие неидеальностей.
 - В отдельных случаях требуется провести линеаризацию нелинейной системы в заданной рабочей точке. Это делается стандартными способами.

(с) **Синтезировать регулятор по линейной модели объекта**

- Первый подход: синтез регулятора по непрерывной модели. Дискретная часть упрощенной модели (если она есть) заменяется непрерывным аналогом и проводится синтез непрерывного регулятора. Дискретный регулятор получается дискретизацией непрерывного.
- Второй подход: прямой синтез дискретного регулятора. В этом случае происходит переход полностью дискретной модели, а затем синтезируется регулятор.
- В большинстве случаев задачу решает П- или ПД-регулятор (ОУ имеет второй порядок). Добиться заданного качества СУ можно путем назначения характеристического полинома замкнутой системы.

2. Этап 2: моделирование. Требуется реализовать упрощенную и расширенную схему в среде Simulink.

- Блоки расширенной схемы (если они нетривиальны и содержат больше стандартных 2-3 звеньев) будут соответствовать подмоделям Simulink.
- Желательно избегать прямого числового задания параметров. Рекомендуется сделать вспомогательный скрипт, сохраняющий значения параметров в переменные и, если требуется, проводящий вспомогательные вычисления. В блоках Simulink используются переменные из этого скрипта.
- Для лучшей организации workspace можно объединять относящиеся к одному блоку переменные в структуры. Например: `motor` (параметры привода), `imu` (параметры акселерометра и гироскопа). Надо разделять реальные значения параметров и номинальные.
- Блоки должны иметь осмысленные имена (Current Sensor, DC Motor, Tank). Сигналы подписаны (указано название сигнала и единицы измерения).
- Модель снабжается средствами отображения (Scope), позволяющие отслеживать на одном графике задающее воздействие и контролируемую величину.

Задача 1. Импульсный понижающий стабилизатор напряжения

В настоящий момент импульсные стабилизаторы напряжения получили широкое распространение благодаря высокому КПД и малым габаритам по сравнению с линейными. Они повсеместно применяются в блоках питания различной электронной техники. В рамках данного задания предлагается построить математическую модель подобного преобразователя.

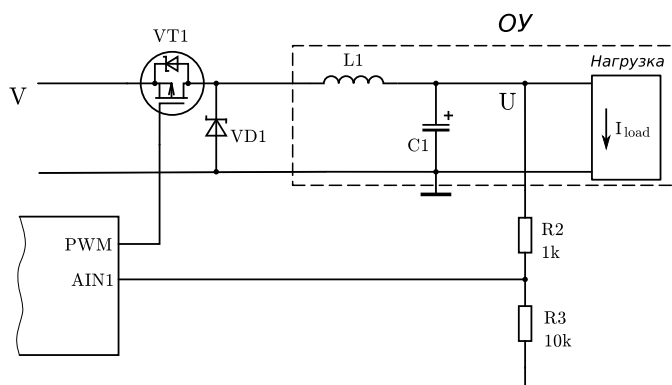


Рис. 1: Импульсный регулятор напряжения.

Объект управления. Объектом управления является четырехполюсник [1, с. 74], образованный дросселем $L1$ (индуктивность 3 мГ, сопротивление 5 Ом), конденсатором $C1$ (200 мкФ) и нагрузкой, моделируемую постоянным током I_{load} (1 А).

Исполнительное устройство. ИУ представлено транзистором $VT1$ и диодом $VD1$. Если на управляющем проводнике PWM высокий уровень, то напряжение на входе четырехполюсника $L1C2R_{load}$ равно нулю, если низкий уровень, то оно равно напряжению питания $V = 15$ В. PWM является выходом ШИМ модулятора, конструктивно являющегося частью микроконтроллера. Считать, что модулятор 8-битный, частота тактирования счетчика совпадает с тактовой с частотой микроконтроллера.

Датчики. Выходное напряжение стабилизатора U , пропущенное через делитель $R1-R2$ измеряется при помощи АЦП микроконтроллера (вход $AIN1$). Разрядность АЦП равна 8-бит, опорное напряжение 1.1 В, длительность цикла преобразования — 208 тактов МК. Считать, что измерения напряжения зашумлены гауссовским белым шумом с стандартным отклонением 0.05 В.

Преобразующее устройство. 8-битный микроконтроллер atmega328p с тактовой частотой 16 МГц.

Цель управления. Удерживать выходное напряжение U в заданном значении U_r из диапазона 1...3 В (выбрать U_r самостоятельно).

Замечания:

- В данной задаче объект управления линеен, однако точка, где происходит стабилизация отлична от нуля.

- Ток реальной нагрузки будет зависеть от напряжения U . При падении напряжения, он тоже будет падать до нуля. Например, можно использовать $I_{load} = \frac{U}{R_{load}}$ ($R_{load} = 5 \text{ Ом}$). Такая нагрузка меняет модель ОУ.
- Широтно-импульсный модулятор способен формировать только импульсы одной полярности.
- Подумайте, какие эффекты могли бы вызвать некратные значения периоды ШИМ и цикла управления.

Задача 2. Электрический привод

Электрические сервоприводы являются одним из самых распространенных исполнительных механизмов. В зависимости от решаемой задачи применяются различные приводы с обратной связью по позиции, скорости или усилию. В рамках данной задачи предлагается построить модель сервопривода на основе двигателя постоянного тока.

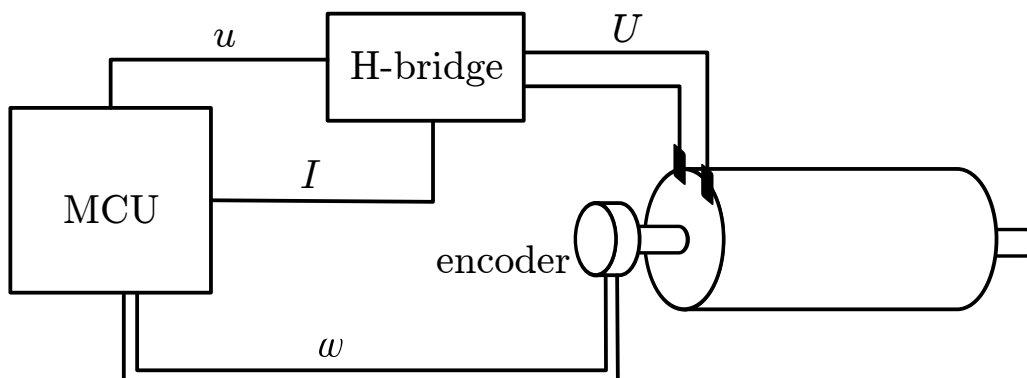


Рис. 2: Схема системы управления двигателем постоянного тока.

Объект управления. Коллекторный двигатель постоянного тока с понижающим редуктором кратности 1:18.75. Номинальное напряжение питания $V = 12$ В. Максимальный момент на выходе редуктора $M_{stall} = 0.5$ Н·м при силе тока $I_{stall} = 5$ А (ось неподвижна), угловая скорость выходной оси редуктора при отсутствии нагрузки равна $\omega_{free} = 500$ об./мин. при силе тока $I_{free} = 0.5$ А. Считать индуктивность обмотки ротора равной $L = 6$ мГн, а момент инерции нагрузки, якоря и редуктора $J = 0.005$ кг·м² (на выходе редуктора). Использовать модель двигателя третьего порядка [1, с. 78].

Исполнительное устройство. Представлено ШИ-модулятором микроконтроллера и H-мостом, усиливающим сигнал, что позволяет формировать входе двигателя трехуровневый ШИМ сигнал [1, с. 219]. Разрядность ШИМ микроконтроллера 10-бит, напряжение питания $V = 12$ В.

Датчики. В качестве датчика позиции (и скорости) используется относительный магнитный энкодер. Принцип работы совпадает с оптическим. Датчик смонтирован непосредственно на оси двигателя и дает 16 импульсов в одном канале на полный оборот.

Сила тока измеряется датчиком, встроенным в исполнительное устройство. Датчик выдает напряжение относительно общего проводника, силе тока в 1 А соответствует напряжение в 0.58 В на выходе датчика. Выход датчика подключен к АЦП микроконтроллера. Разрядность АЦП равна 10-бит, опорное напряжение 3.3 В, длительность цикла преобразования 832 циклов МК. Считать его измерения зашумленным белым шумом со стандартным отклонением соответствующей напряжению 0.03 В.

Преобразующее устройство. Микроконтроллер atmega1280 на отладочной плате DFRuino Mega 1280. Тактовая частота МК равна 16 МГц. Частоту ШИМ и длительность цикла управления выбрать самостоятельно.

Цель управления. В зависимости от контролируемой величины (угол поворота вала, скорость вала, момента на вале) можно построить три различные системы управления. Во всех случаях управляющим воздействием является напряжение на двигателе.

- а) Управление по позиции. Стабилизировать выходной вал в заданном положении независимо от неизвестной стационарной нагрузки (выбрать не более 30% от максимального момента M_{stall}). Начальное положение считать нулевым.
- б) Управление по скорости. Обеспечить заданную скорость вращения вала независимо от неизвестной стационарной нагрузки (выбрать не более 30% от максимального момента M_{stall}).
- в) Управление по силе. Обеспечить заданный вращающий момент при неподвижном вале.

Замечания:

- Объект управления линеен, однако в пунктах а) и б) содержит два входа. Параметры модели электродвигателя можно рассчитать, используя его статическую характеристику и приведенные в условии значения.
- Использовать модель вязкого трения или трения Кулона. Для его расчета можно использовать тот факт, что в режиме вращения со скоростью ω_{free} 10% момента двигателя расходуется на преодоление трения ($I_{free}/I_{stall} = 0.1$).
- Перед использованием пропускать сигнал тока через сглаживающий фильтр с постоянной времени 5 мс. Фильтр реализуется при помощи МК, т.е. его модель будет дискретной.
- Во всех случаях имеет смысл использовать ПД-регулятор, однако в пункте а) невозможно назначить полностью желаемый полином. Достаточно просто добиться устойчивости.

Задача 3. Модель стабилизированной платформы

Стабилизированная платформа способна сохранять свою ориентацию и положение независимо от движения ее основания. Часто стабилизированные платформы используются, чтобы оградить от вибраций различные приборы (например, камеры или дальномеры). Сходные принципы используются в системах стабилизации орудий. Следует отметить, что многие современные суда оборудованы компенсацией качки, что также фактически превращает их в большие стабилизированные платформы. Особенно это важно для судов проводящих операции бурения.

В рамках данной задачи предлагается построить модель стабилизированной платформы.

Объект управления. Платформа (рис. 3), присоединенная к выходному валу электропривода (servo 1). Поворот вала заставляет платформу поворачиваться вокруг горизонтальной оси Ox . Масса платформы составляет 250 г, она имеет размеры параллелепипеда (100x100x20 мм), ось Ox проходит через центры меньших его граней. Номинальное напряжение питания двигателя равно $V = 6$ В. При этом напряжении он развивает

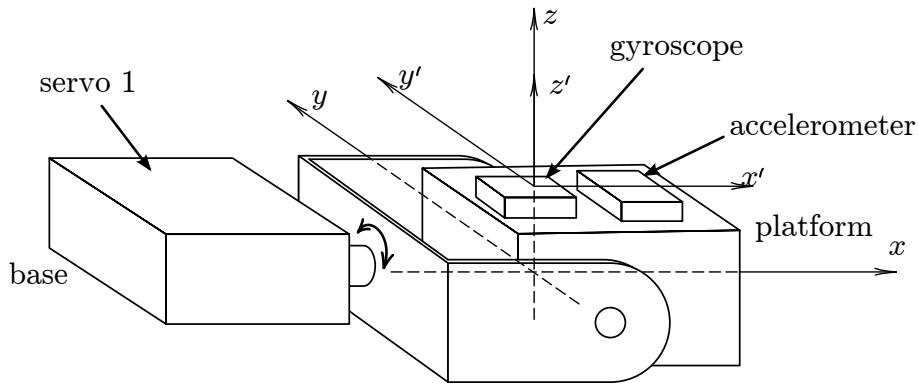


Рис. 3: Модель стабилизированной платформы

на выходном валу статический момент равный $M_{max} = 0.135 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Без нагрузки вал двигателя осуществляет поворот на 60° за 0.13 с .

Предлагается использовать модель электрического двигателя постоянного тока второго порядка [1, с. 78]. Инерцией якоря двигателя пренебречь по сравнению с инерцией платформы.

Исполнительное устройство. Представлено ШИ-модулятором микроконтроллера и H-мостом, усиливающим сигнал, что позволяет формировать входе двигателя трехуровневый ШИМ сигнал [1, с. 219]. Разрядность ШИМ микроконтроллера 10-бит, напряжение питания $V = 6 \text{ В}$.

Таким образом, исполнительное устройство способно формировать трехуровневый широтно-импульсно модулированный сигнал [1, с. 219].

Датчики. В системе присутствуют два датчика: акселерометр ADXL335 и гироскоп LPU510AL. Их расположение на платформе показано на рис. 3. Направление осей датчиков совпадает с направлением осей системы координат платформы $Ox'y'z'$.

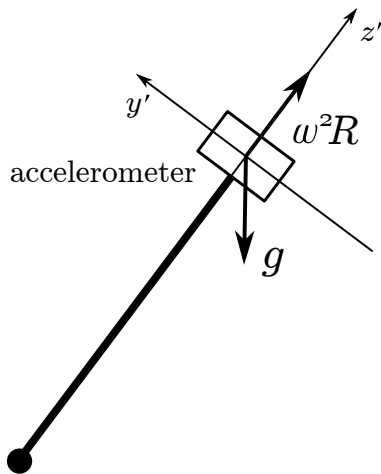


Рис. 4: Ускорения, испытываемые акселерометром

Акселерометр формирует на выходах ZA и YA напряжение пропорциональное проекция ускорения на оси Oz' и Oy' соответственно. Ускорению g соответсвуй напряжение 300 мВ со смещением нуля 1.5 В (возможны отклонения). При получении модели работы датчика пренебречь составляющими, связанными с угловой скоростью и угловым ускорением. Считать, что сигнал зашумлен белым шумом со стандартным отклонением 15 мВ .

Гироскоп формирует на выходе XG напряжение, пропорциональное угловой скорости вокруг оси Ox' . Смещение нуля равно 1.23 В (возможны существенные отклонения), коэффициент преобразования — 2.5 мВ на градус в секунду, полоса пропускания от 0 до 140 Гц , сигнал зашумлен белым шумом со стандартным отклонением 15 мВ .

Более подробную информацию о датчиках можно найти в их документации.

Сигналы с датчиков передаются непосредственно на аналого-

цифровые преобразователи микроконтроллера. Разрядность преобразования 10 бит, опорное напряжение 2.56 В (от внутреннего источника МК), длительность преобразований 1664 цикла МК.

Преобразующее устройство . Используется плата “Arduino Mega” с микроконтроллером atmega-1280 и тактовой частотой 16 МГц.

Цель управления. Удерживать платформу горизонтально независимо от движения основания.

В модельной системе предлагается компенсировать “быстрые” движения за счет показания гироскопа, а “медленные” движения и различные систематические ошибки — за счет показаний акселерометра. Таким образом, в составе системы управления имеется два контура обратной связи.

“Медленный” контур. Контролируемая величина — угол, управляющее воздействие — напряжение на приводе. Требуется стабилизировать угол в нуле (ось $O'z$ направлена вверх).

Для выделения “медленной” составляющей сигнала использовать фильтр низких частот вида

$$W_{lowpass}(s) = \frac{1}{T_1 s + 1},$$

с частотой среза 5 Гц. Фильтр реализуется программно на уровне МК.

“Быстрый” контур. Контролируемая величина — угловая скорость, управляющее воздействие — напряжение на приводе. Требуется стабилизировать скорость в нуле.

Для фильтрации показаний гироскопа использовать полосовой фильтр

$$W_{highpass} = \frac{T_1 s}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)},$$

Вырезающий полосу частот 5...100 Гц. Фильтр реализуется программно на уровне МК, так что требуется его дискретная модификация.

- а) Требуется построить структурную схему “медленного” контура. Он должен обеспечивать стабилизацию позиции платформы в вертикальном положении.
- б) Требуется построить структурную схему “быстрого” контура. Он должен обеспечивать стабилизацию угловой скорости в нуле.

Замечания:

- Модель объекта управления — модель электрического двигателя постоянного тока. Используйте модель второго порядка.
- Для определения ориентации платформы по гироскопу можно взять $\arctg \frac{a_y}{-a_z}$ или его линеаризацию. Обратите внимание, что цифровые фильтры применяются **до** этой операции.
- Обратите внимания, что нулевым значениям угла и скорости соответствуют ненулевые значения напряжений на выходе датчиков, их следует компенсировать. При этом номинальное значение смещения нуля (приведены в условии) могут отличаться от реальных. Отрадите это на структурной схеме для “быстрого” контура.
- В обоих контурах предлагается использовать П-регуляторы. Это значительно упрощает анализ устойчивости.

Задача 4. Регулятор уровня жидкости

Задача поддержания заданного уровня жидкости в емкости является достаточно типовой. Ее можно встретить во множестве отраслей. Например, на электростанциях требуется поддерживать заданный уровень воды в парогенераторах, в машинах непрерывного литья требуется поддерживать заданный уровень расплавленного металла в кристаллизаторе и т.д. В рамках задачи предлагается построить модель такой системы.

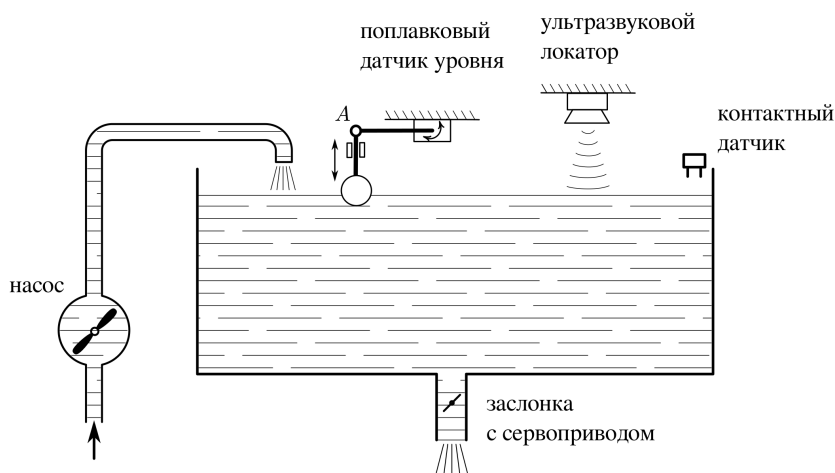


Рис. 5: Управление уровнем жидкости в емкости

Объект управления. Объектом управления является емкость. Номинальный объем равен 5 л при уровне жидкости 0.2 м над открытым концом слива, диаметр которого равен 10 мм. Для построения линейной модели функционирования объекта управления использовать закон Бернулли (поверхность жидкости считать неподвижной).

Исполнительное устройство. В системе присутствуют два органа управления и, соответственно, два исполнительных устройства.

Первым исполнительным устройством является нереверсируемый насос с максимальной производительностью 6 л/мин (в указанной конфигурации). Насос основан на двигателе постоянного тока, управляемому

при помощи ШИМ сигнала. Расход является функцией скважности ШИМ, он равен нулю вплоть до значения скважности 0.5, а далее растет линейно до 6 л/мин при скважности 1. Таким образом, насос обладает мертвой зоной шириной 0.5 и линейной статической характеристикой за ее пределами. Реальные установки проявляют некоторую нелинейность, обусловленную зависимостью КПД от режима работы и потерь энергии в трубопроводе в зависимости от расхода.

Считать, что насос не имеет собственной динамики, т.е. полностью описывается его статической характеристикой. Входом является значение скважности ШИМ. Разрядность ШИМ — 8 бит.

Вторым исполнительным устройством является дросселирующая заслонка, снабженная сервоприводом, управляемым по позиции. Задающее воздействие ν представляет собой целое число от 0 до 256. Угол поворота вала определяется по следующей формуле:

$$\theta = \frac{\pi}{2}(\nu - 128).$$

При нулевом угле заслонка полностью открыта, при углах $\pi/2$ и $-\pi/2$ — полностью закрыта.

Число ν передается сервоприводу в виде ASCII команд, передаваемый по серийному протоколу со скоростью 9600 кбит/с.

`SnnPxxx\n`

где `nn` — двузначный номер привода, `xxx` — желаемая позиция (трехзначное число).

Считать, что привод не имеет собственной динамики, т.е. полностью описывается его статической характеристикой.

Дополнительное задание (по желанию): составить модель, в которой насос и сервопривод обладают собственной динамикой. Использовать модель в виде инерциального звена с постоянными времени 0.5 с и 0.25 с соответственно.

Датчики. В системе присутствуют два датчика:

1. Поплавковый датчик уровня. Шток на прикрепленный к поплавку ходит в вертикальной трубке. Расстояние от штока до оси датчика угла на 10 см. Конец штока А связан с осью датчика рычагом, оснащенным механизмом, способным компенсировать удлинение рычага при движении штока вверх. Ход вала потенциометрического датчика угла равен 180° . Угол 90 соответствует горизонтальному положению штанги “влево” (по рисунку). Нулевому углу соответствует нулевое напряжение, максимальному углу — напряжение 5 В, выход датчика LEVEL подключен к АЦП контроллера. Разрядность АЦП 10-бит, опорное напряжение 5 В, длительность преобразования 1664 цикла МК.
2. Сонар (Ultrasonic Ranging module HC-SR04). Находится на высоте в 10 см от номинального уровня жидкости. Он подключен к контроллеру при помощи двух проводников: *PING* и *ECHO*. После того, как датчик получает короткий (20 мкс) импульс на вход *PING*, он посылает ультразвуковой импульс и детектирует эхо. Если эхо было обнаружено, то выходе *ECHO* датчика формируется импульс, длительность которого пропорциональна задержке эха. Если эхо не обнаружено, то импульс не приходит. Такой датчик может иметь существенный шум, порядка длительности посылаемого импульса. Частоту измерений считать 10 Гц.

Полученный импульс *ECHO* поступает на внешний вход таймера микроконтроллера, настроенного в режиме захвата внешнего сигнала. В результате после прихода импульса в регистре таймера оказывается его длительность. Единица измерения длительности определяется частотой тактирования таймер, которая равна 16 МГц.

Преобразующее устройство. Микроконтроллер atmega1280 на отладочной плате DFRuino Mega 1280. Тактовая частота МК равна 16 МГц. Требуется обосновано выбрать частоту дискретизации регулятора.

Цель управления. Удерживать номинальный уровень жидкости в емкости.

- а) Управление осуществляется регулированием насоса при фиксированном положении заслонки $\pi/6$. Уровень определяется по поплавковому датчику.
- б) Управление осуществляется регулированием насоса при фиксированном положении заслонки $\pi/6$. Уровень определяется по показаниям сонара.
- в) Управление осуществляется регулированием положения заслонки при фиксированной производительности насоса, равной 5 л/мин. Уровень определяется по показаниям поплавкового датчика.
- г) Управление осуществляется регулированием положения заслонки при фиксированной производительности насоса, равной 5 л/мин. Уровень определяется по показаниям сонара.

Замечания:

- Особенность данной задачи — нелинейность объекта управления. Для построения линейной модели потребуется провести линеаризацию в рабочей точке.
- В качестве моделей приводов (насос, привод заслонки) следует выбирать самые простые — статические непрерывные — модели. Это можно обосновать тем, что насос является фильтром низких частот по отношению к ШИМ, но при этом его время регулирования много меньше длительности процессов в баке. Аналогично, быстроедействие сервопривода достаточно, чтобы его динамикой можно было пренебречь.

Задача 6. Магнитный подвес

Магнитная левитация — технология подъема объекта магнитным полем. Основная область ее применения — магнитные подшипники, в которых отсутствует контакт между подвижными деталями, что определяет сверхнизкое трение и высокую износостойкость. Также системы магнитной левитации находят применения в контр-балансных акселерометрах (сейсмические измерения) и транспортных системах.

Согласно теоремы Ирншоу не существует конфигурации ферромагнетиков, позволяющей получить эффект устойчивой магнитной левитации. Поэтому для обеспечения устойчивости требуется использовать активные системы с электромагнитами, стабилизирующие объект за счет обратных связей.

Объект управления. Объектом управления является соленоид (индуктивность $L = 0.4125$ Гн, сопротивление $R = 10$ Ом). Под соленоидом на конце горизонтального коромысла длиной $l = 0.1$ м находится железный груз массой $m = 0.068$ кг. Коромысло может вращаться вокруг дальнего конца, и, когда коромысло горизонтально, расстояние от груза до соленоида равно $h = 0.012$ м. Считать, что сила действующая на груз со стороны соленоида равна

$$F = \frac{k}{2} \left(\frac{I}{x} \right)^2,$$

где I — сила тока в соленоиде, x — расстояние от груза до соленоида, $k = 6.53 \cdot 10^{-5}$ Н·м²/А² — электро-механическая постоянная.

Исполнительное устройство. Представлено ШИ-модулятором микроконтроллера и полумостом, усиливающим сигнал, что позволяет формировать входе соленоида двухуровневый ШИМ сигнал [1, с. 219]. Разрядность ШИМ микроконтроллера 10-бит, напряжение питания полумоста $V = 48$ В.

Датчики. В основании коромысла находится потенциометрический датчик угла. С диапазоном измерения отклонения угла от горизонтали $[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$. Значению $\frac{\pi}{2}$ соответствует положение коромысла вниз и напряжение $U_0 = 5$ В (напряжение питания МК) на выходе датчика, значению $-\frac{\pi}{2}$ положение “вверх” и напряжение 0.

Выход датчика подключен к АЦП микроконтроллера. Разрядность измерения 10 бит, опорное напряжение равно U_0 , длительность преобразования 1664 циклов МК.

Цель управления. Обеспечить горизонтальное положение коромысла.

Преобразующее устройство. Микроконтроллер atmega2560 на отладочной плате DFRuino Mega 2560. Тактовая частота МК равна 16 МГц.

Замечания:

- Математически модель объекта управления нелинейна, ее требуется линеаризовать в рабочей точке.
- Коромысло — избыточный элемент, введенный в систему для упрощения измерения позиции груза. В данной системе можно добиться магнитной левитации, используя бесконтактные датчики перемещения (оптические, на эффекте Холла, емкостные).

Задача 5. Зарядное устройство Li-Ion аккумулятора

Li-Ion аккумуляторы получили широкое распространение из-за высокой энергетической плотности, отсутствию необходимости специального обслуживания, низкому саморазряду. Процесс заряда аккумулятора выглядит следующим образом: сначала зарядное устройство работает в режиме постоянного зарядного тока, подстраивая напряжение на аккумуляторе так, что сила тока численно равна примерно половине номинальной емкости аккумулятора. Когда напряжение достигает 4.2 В, зарядное устройство переключается в режим постоянного зарядного напряжения, поддерживая на аккумуляторе напряжение 4.2 В. Когда ток падает до 3–5 % от начального процесс зарядки завершается.

Превышение указанных значений напряжения или тока (значение 4.2 В должно выдерживаться с точностью до 50 мВ) превышены или неисправность аккумулятора может привести к его сильному разогреву, воспламенению или взрыву.

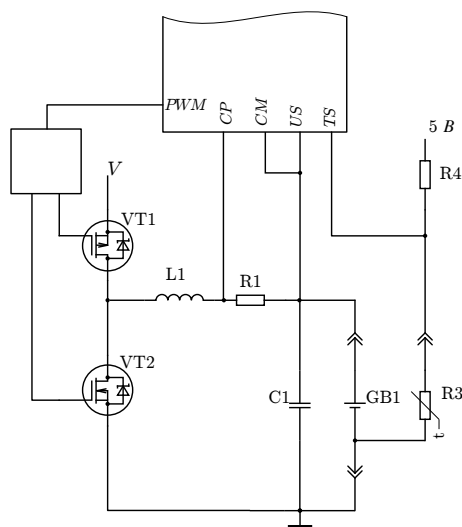


Рис. 6: Зарядное устройство литий-ионного аккумулятора

Объект управления. Объектом управления является контур, образованный конденсатором $C1$ 1200 мкФ), индуктивностью $L1$ (200 мкГн, 1.6 Ом), токоизмерительным резистором $R1$ (0.1 Ом) и аккумулятором $GB1$. Внутреннее сопротивление аккумулятора принять $R0 = 0.11$ Ом, его собственную ЭДС ε считать помехой (ее значение может меняться от 3 до 4.2 В).

Исполнительное устройство. В качестве исполнительного устройства выступает пара транзисторов $VT1$, $VT2$ и источник тока с напряжением $V = 12$ В. При подаче высокого логического уровня на вывод PWM транзистор $VT1$ открыт, а $VT2$ закрыт, и на входе индуктивности $L1$ напряжение равно $V = 12$ В. При подаче низкого уровня — транзистор $VT1$ закрыт, а $VT2$ открыт, соответственно напряжение на входе равно нулю.

Микроконтроллер формирует на выходе PWM двухуровневый широтное-импульсно модулированный сигнал. Разрядность ШИМ 8 бит.

Датчики. Непосредственному измерению доступны три сигнала:

1. Напряжение на батарее U : сигнал US (напряжение) подается на вход АЦП микроконтроллера. Разрядность преобразования 8 бит, опорное напряжение 5 В, длительность преобразований 208 циклов МК. шум измерения считать не более 2 уровней квантования.
2. Зарядный ток: микроконтроллер может измерить падение напряжения на резисторе $R1$ по разности сигналов CP и CM . Напряжение измеряется АЦП с разрядностью 8-бит, опорным напряжением 1.1 В, длительностью 208 цикла МК. Значение тока зашумлено белым шумом со стандартным отклонением 0.06 А.
3. Температура батареи: датчиком является терморезистор $R3$, при температуре 25°C его сопротивление равно 10 кОм, при росте температуры оно падает примерно на 1500 Ом каждые 5°C . Терморезистор является частью делителя напряжения $R3-R4$, напряжение в средней точке которого подается на вход АЦП TS .

Цель управления.

- а) Обеспечить заданную силу зарядного тока 0.9 А (можно заряжать аккумуляторы номиналом 1800 мАч и выше). Управляющее воздействие — скважность ШИМ на выводе PWM , контролируемая величина — сила тока I , протекающая через резистор $R1$.
- б) Обеспечить сохранение значения напряжения на батарее равным 4.2 В. Управляющее воздействие — скважность ШИМ на выводе PWM , контролируемая величина — напряжение U .

Преобразующее устройство. Микроконтроллер atmega2560 на отладочной плате DFRuino Mega 2560. Тактовая частота МК равна 16 МГц. Обосновано выбрать длительность цикла управления и частоту ШИМ.

В реальных устройствах обычно используются специализированные микросхемы, обеспечивающие требования к процессу заряда при помощи релейных или пропорциональных законов управления, используемые частоты могут составлять сотни кГц.

Замечания:

- Задача близка к первой (стабилизатор напряжения), однако здесь к модели ОУ добавляется модель аккумулятора (тока в нем).
- Переключение на режим постоянным напряжением (пункт б)) говорит о том, что ЭДС аккумулятора достигла такого значения, что попытка заряда его в режиме постоянного тока приведет к превышению порога 4.2 В. Это позволяет уточнить значение ЭДС,

Литература

Список литературы

- [1] Ким Д. Теория автоматического управления. Т. 1. Линейные системы. — М. : ФИЗМАЛИТ, 2003. — С. 288.