

ЧАСТОТНО-ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ ЦИФРОВОГО СИГНАЛА

Бричковская М.С., Пасмурцев Д.О.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ролич О. Ч. – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Целью статьи является изучение частотно импульсной модуляции, анализ ее достоинств и недостатков. Экспериментально исследовано применение ЧИМ при работе с аналоговыми устройствами. Программно реализовано управление яркостью светодиодов и плавное изменение яркости на базе микроконтроллера Arduino Uno.

Ключевые слова: частотно-импульсная модуляция, микроконтроллер, модуляция, скважность

Введение. Частотно-импульсная модуляция — это процесс, при котором информация о входном сигнале кодируется во временные интервалы идентичных импульсов, излучаемых на выходе модулятора.

Выходной сигнал частотно-импульсного модулятора $u(t)$ определяется как последовательность N импульсов равной силы M , испускаемых в моменты времени t_k и вычисляется по формуле 1:

$$u(t) = M \sum_{k=0}^N \delta(t - t_k), 0 < t < t_{N+1} \quad (1)$$

При ЧИМ длительность импульсов не изменяется, но модулируется время между ними (изменяются частота и период следования). Каждый импульс передает фиксированное количество энергии устройству, поэтому изменение частоты следования импульсов позволяет добиться плавного изменения яркости светодиодов. Импульсы поступают на устройство, где они эффективно фильтруются с помощью фильтра нижних частот, что вызывает задержку или фазовый сдвиг принятого сигнала [1].

Основная часть. Для демонстрации применения ЧИМ при работе со светодиодами в среде автоматизированного проектирования *Proteus 8* была создана электронная схема, состоящая из микроконтроллера *Arduino UNO*, трёх светодиодов, резисторов и осциллографа.

Простейший способ генерации последовательности прямоугольных импульсов заключается в том, что изменение напряжения на выходе микроконтроллера с максимального на минимальное (5В и 0В соответственно) происходит в бесконечном цикле. Такой цикл начинается с установления напряжения на нужном пине в максимальное значение, которое поддерживается в течение определенного времени (длительность импульса). После этого напряжение на пине устанавливается в минимальное значение, и через определенное время (пауза между импульсами) цикл повторяется [2].

Однако такой метод имеет свои недостатки, поэтому управление светодиодами следует производить с использованием внутреннего таймера микроконтроллера и прерываний.

Таймер настраивается на работу в режиме *CTC (Clear Timer on Compare Match)*. Его принцип работы основан на увеличении значения счетного регистра. Счетный регистр может увеличиваться до определенной величины, которая занесена в регистр совпадения. При достижении таймером значения регистра совпадения счетный регистр сбрасывается обратно в ноль.

Значение регистра совпадения (*OCR*) устанавливается исходя из требуемой частоты следования импульсов и определяет количество отсчетов таймера до переключения сигнала ЧИМ с высокого уровня на низкий или наоборот.

При достижении таймером значения регистра совпадения срабатывает функция преры-

вания таймера, в которой происходит переключение светодиода на определенном пине.

Также в программе можно использовать сторожевой таймер для защиты от сбоев или как механизм программного сброса.

В нашей работе микроконтроллер был запрограммирован с использованием внутреннего таймера так, что на светодиоды подаются прямоугольные импульсы, одинаковые по амплитуде и длительности, но отличающиеся по частоте повторения. Последовательности импульсов, подаваемые на светодиоды, представлены на рисунке 3. На рисунке 1 последовательность импульсов, подаваемая на пины микроконтроллера (а) и спроектированная схема (б) в момент выполнения программы [3][4].

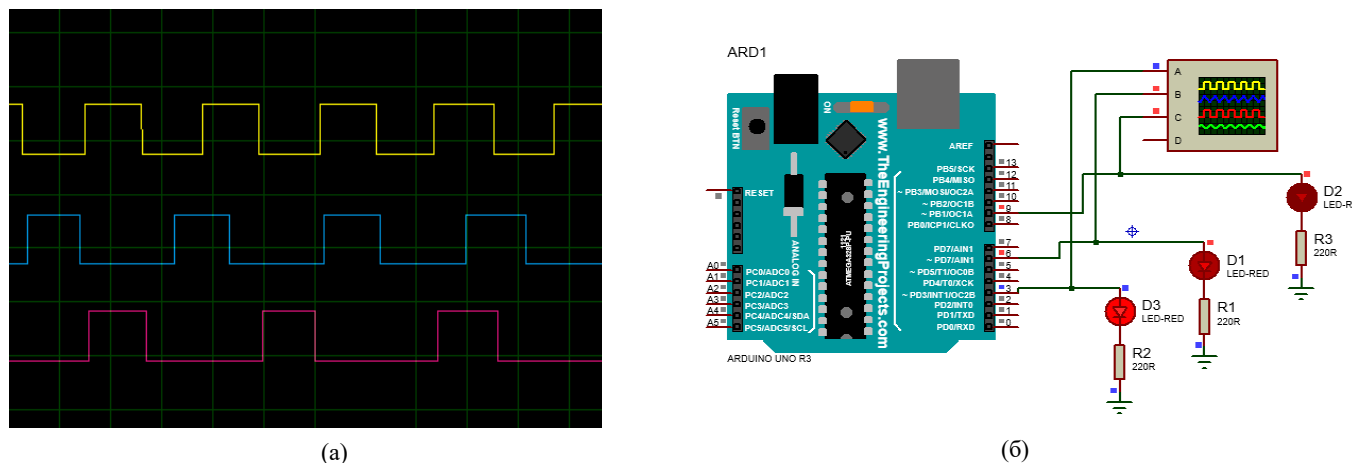


Рисунок 1 – Момент выполнение программы; а – последовательности подаваемых импульсов; б – спроектированная схема

Увеличение периода импульсов при неизменной длительности одного импульса приводит к увеличению скважности, из которого следует уменьшение рабочего цикла, а значит и уменьшение напряжения, подаваемого на светодиоды.

Как видно из рисунков выше, на светодиод, подключенный к третьему пину микроконтроллера, подается последовательность импульсов с наибольшей частотой. Данная последовательность имеет наименьшую скважность, наибольший рабочий цикл. Напряжение на светодиоде, а значит и яркость, максимально.

Последовательность импульсов, подаваемая на светодиод, подключенный к девятому пину, имеет наименьшую частоту и наибольшую скважность, чем объясняется наименьшая яркость светодиода. На рисунке 2 представлена зависимость выходного напряжения от частоты импульсов.

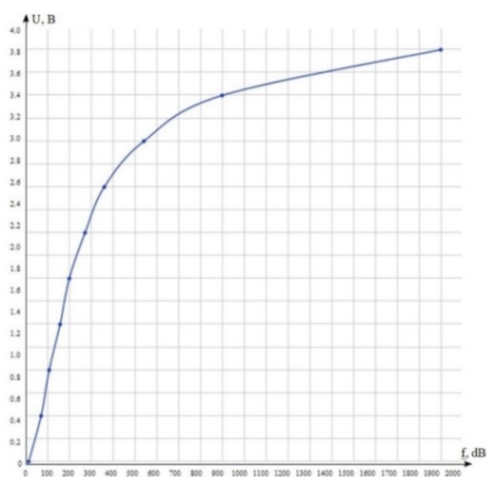


Рисунок 2 – Зависимость выходного напряжения от частоты импульсов

Для того, чтобы добиться плавной регулировки яркости светодиода или постепенного изменения оборотов двигателей, можно менять значение в регистре совпадения внутреннего таймера микроконтроллера. Такая манипуляция повлечет изменение частоты следования импульсов и, следовательно, уменьшение или увеличение выходного напряжения на соответствующем пине микроконтроллера.

Заключение. Метод ЧИМ позволяет обеспечить плавную регулировку яркости светодиодов, скорости двигателей, отличается высокой помехоустойчивостью и относительно небольшой стоимостью производства устройств на его основе. ЧИМ является полезным методом для передачи цифровых сигналов на большие расстояния или по зашумленным каналам, он широко используется во многих устройствах благодаря своей простоте и надежности.

В ходе работы было программно реализовано управление яркостью светодиодов, на основе метода ЧИМ с использованием внутреннего таймера микроконтроллера Arduino UNO. Однако для управления как светодиодами, так и оборотами двигателей чаще используется метод широтно-импульсной модуляции (ШИМ), который является более простым в реализации и менее энергозатратным за счет того, что происходит изменение не частоты, а длительность импульсов. Поэтому важно учитывать ограничения ЧИМ при принятии решения о том, является ли такой вид модуляции хорошим вариантом для конкретного устройства.

Список литературы

1. Овсянников В.А. Методы формирования и цифровой обработки сигналов: учеб.-метод. пособие. В 2 ч. Ч. 2: Дискретное преобразование Фурье, фильтрация и модуляция / В. А. Овсянников. – Минск: БГУИР, 2010. – 136 с.
2. Бойко Б.П., Тюрин В.А. Спектр сигнала: учебно-методическое пособие / Б.П. Бойко, В.А. Тюрин.- Казань: Казанский федеральный университет, 2014.-38 с. – Режим доступа: https://kpfu.ru/staff_files/F1700343876/SPEKTRY_02.01.15.pdf
3. Прерывания таймера [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/453276/> – Дата доступа: 22.03.2023.
4. Фильтр нижних частот [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://radioprogram.ru/post/749> – Дата доступа: 20.03.2023.

UDC 621.376.5

DIGITAL SIGNAL PULSE FREQUENCY MODULATION

Brichkovskaya M.S., Pasmurtsev D.O.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Rolich O.Ch. – PhD, associate professor, associate professor of the Department of ICSD

Annotation. The purpose of the article is to study pulse-frequency modulation, to analyze its advantages and disadvantages. The use of PFM when working with analog devices has been experimentally investigated. Programmatically implemented LED brightness control and smooth brightness change based on Arduino Uno microcontroller.

Keywords: pulse-frequency modulation, microcontroller, modulation, duty cycle