

## **МОДЕЛЬ ЦИФРО-АНАЛОГОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ШИМ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ AVR**

М.И.Ледовской

Технологический институт

Южного федерального университета в г. Таганроге

*Предлагается модель цифро-аналогового преобразования на основе ШИМ микроконтроллеров AVR, которая предназначена для использования в учебном процессе в качестве электронного методического пособия. Приводятся расчетные формулы, описание лицевой панели и блок-схемы модели, созданной в системе LabVIEW 7.1 фирмы National Instruments.*

Важным этапом во многих процессах управления с помощью цифровых систем является цифро-аналоговое преобразование – генерация аналогового сигнала с уровнем напряжения, соответствующим цифровому значению [1]. Примером может служить управление угловой скоростью электродвигателя постоянного тока с помощью микроконтроллера. В данном случае цифровое значение управляющего сигнала, получаемое в микроконтроллере, необходимо преобразовать в аналоговое напряжение для подачи на якорь электродвигателя [2].

Традиционным способом решения данной задачи является использование цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП). Однако в случае использования микроконтроллеров AVR более простой альтернативой является выполнение цифро-аналогового преобразования с помощью ШИМ-сигнала. Большинство AVR-контроллеров оснащено таймерами/счетчиками, которые могут работать в режиме широтно-импульсного модулятора [3].

Задача цифро-аналогового преобразования рассматривается в ряде дисциплин, посвященных архитектуре и применению микроконтроллеров. Для успешного усвоения данной темы необходимо использовать в учебном процессе электронные методические пособия, где обеспечивается наглядная визуализация принципа цифро-аналогового преобразования. Современные информационные технологии от фирмы National Instruments позволяют создавать методические пособия, отвечающие указанному требованию. Применение таких пособий в

учебном процессе отвечает задачам инновационного подхода в образовании.

Настоящая работа иллюстрирует пример электронного методического пособия в виде модели цифро-аналогового преобразования на основе ШИМ микроконтроллеров AVR. Данная модель разработана автором в системе LabVIEW 7.1 фирмы National Instruments.

Как известно, способ преобразования цифровых значений в аналоговые напряжения с помощью ШИМ-сигнала заключается в изменении коэффициента заполнения импульсов прямоугольного напряжения пропорционально исходному цифровому значению. Если  $T$  – период ШИМ-сигнала, а  $t_H$  – длительность импульса, то коэффициент заполнения является отношением  $g = t_H / T$  (рис.1) [3].

Предположим, что ШИМ-сигнал образуется с помощью таймера/счетчика T/C1 микроконтроллера AVR. Тогда коэффициент заполнения ШИМ-сигнала  $g$  прямо пропорционален содержимому регистра OCR1:

$$g = \frac{Z}{TOP}, \quad (1)$$

где  $TOP = 2^N - 1$  – максимальное значение счетчика;  $N$  – разрешение широтно-импульсного модулятора, которое задается программно в виде 8, 9 или 10 двоичных разрядов;  $Z$  – содержимое регистра OCR1, причем  $0 \leq Z \leq TOP$ .

Частота ШИМ-сигнала, формируемого на выводе OC1 микроконтроллера, определяется по формуле

$$f_{\text{ШИМ}} = \frac{f_{T/C1}}{2^{N+1} - 2}, \quad (2)$$

где  $f_{T/C1}$  – частота T/C1. Данная частота зависит от программно задаваемого коэффициента предварительного деления  $K_{T/C1}$ , который принимает значения 1, 1/8, 1/64, 1/256 или 1/1024:

$$f_{T/C1} = \frac{f_{\text{СК}}}{K_{T/C1}}, \quad (3)$$

где  $f_{\text{СК}}$  – тактовая частота микроконтроллера.

Если полученный ШИМ-сигнал пропустить через ФНЧ, то в идеальном случае образуется среднее арифметическое значение постоянного напряжения  $U_M$ :

$$U_M = (U_H - U_L) \cdot g + U_L = (U_H - U_L) \cdot \frac{Z}{2^N - 1} + U_L, \quad (4)$$

где  $U_L$  и  $U_H$  – уровни логического “0” и логической “1” соответственно (рис.1). Таким образом, получаемый аналоговый сигнал  $U_M$

прямо пропорционален исходному цифровому значению  $Z$ , находящемуся в регистре OCR1.

При использовании ФНЧ с достаточно высокой крутизной АЧХ и/или достаточно низкой частотой среза можно добиться такого подавления гармоник, что точность сигнала постоянного напряжения будет также достаточно высокой. Однако снижение частоты среза увеличивает время установления выходного сигнала фильтра. Поэтому на практике находят компромисс между желаемой точностью выходного сигнала и временем его установления. Зачастую частота среза ФНЧ выбирается из соотношения  $f_g = 0,25 \cdot f_{\text{ШИМ}}$ , где  $f_{\text{ШИМ}} = 1/T$  – частота ШИМ-сигнала (частота первой гармоники).

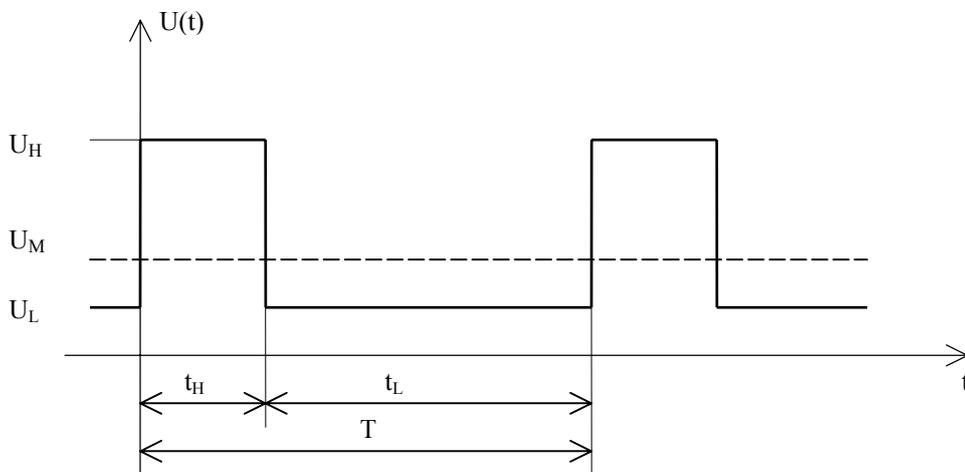


Рис.1. ШИМ-сигнал

Ниже приводится описание модели цифро-аналогового преобразования на основе ШИМ микроконтроллеров AVR, которая разработана в системе LabVIEW 7.1. Лицевая панель модели содержит следующие блоки (рис.2):

- Блок **AVR контроллер** содержит регуляторы **Регистр OCR1 T/C1**, **Тактовая частота AVR**, **Делитель частоты T/C1**, **Уровни лог.0 и лог.1**, а также кнопку **STOP**.
- Блок **Измеритель ШИМ-сигнала** содержит регулятор **Периоды**, а также индикаторы **Частота**, **Заполнение**, **Импульс** и индикатор-осциллограф ШИМ-сигнала.
- Блок **ФНЧ Баттерворта** содержит регуляторы **Частота среза**, **Порядок** и **Маска погрешности**.
- Блок **Аналоговый сигнал** содержит индикатор-осциллограф аналогового сигнала и индикатор-осциллограф погрешности цифро-аналогового преобразования.

Блок-схема модели обеспечивает выполнение следующих функций (рис.3):

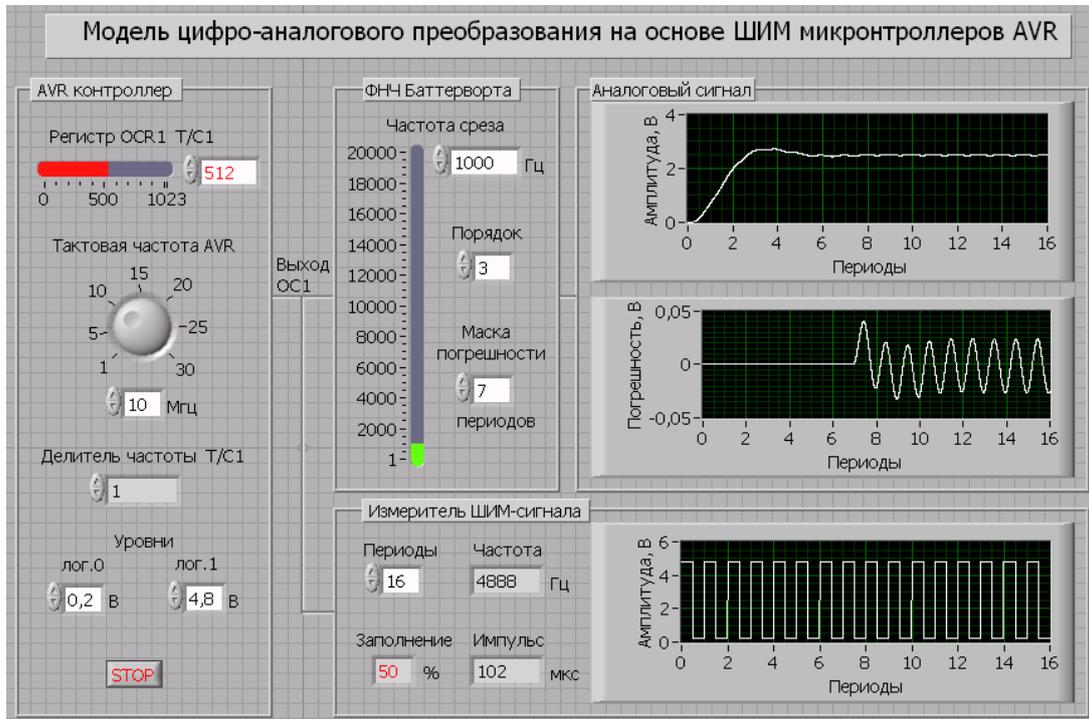


Рис.2. Лицевая панель модели

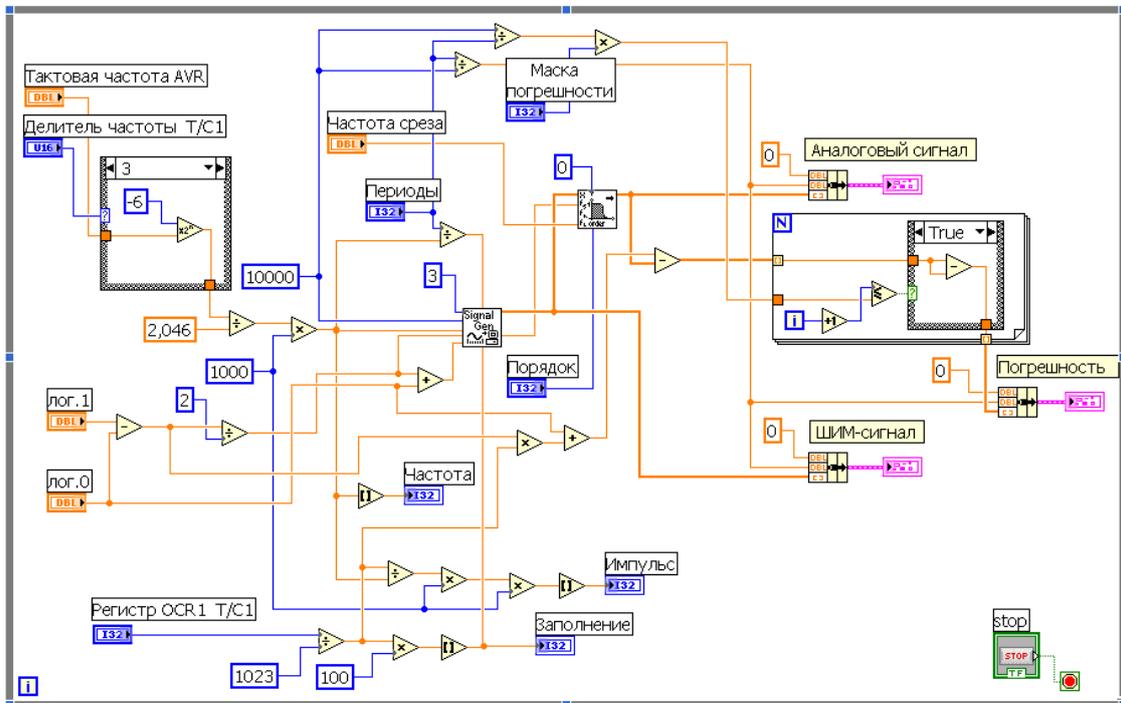


Рис.2. Блок-схема модели

1. Формирование ШИМ-сигнала, исходя из установленных значений регуляторов **Регистр OCR1 T/C1, Тактовая частота AVR, Делитель частоты T/C1, Уровни лог.0 и лог.1**. При этом моделируется режим неинвертирующего широтно-импульсного модулятора T/C1 микроконтроллеров AVR с разрешением N=10 и TOP=1023. В качестве исходных соотношений используются формулы (1), (2), (3).
2. Вычисление параметров ШИМ-сигнала **Частота, Заполнение, Импульс**. Длительность ШИМ-сигнала определяется, исходя из состояния регулятора **Периоды**.
3. Фильтрацию ШИМ-сигнала, исходя из установленных значений регуляторов **Частота среза, Порядок**. Данная задача решается путем моделирования ФНЧ Баттерворта.
4. Определение погрешности цифро-аналогового преобразования путем сравнения выходного сигнала ФНЧ с эталонным значением аналогового сигнала, вычисляемым по формуле (4). При этом с помощью регулятора **Маска погрешности** обеспечивается маскирование переходного процесса для наблюдения погрешности установившегося значения ФНЧ.

Предлагаемая модель предназначена для следующих учебных целей:

1. Наглядная иллюстрация принципа цифро-аналогового преобразования на основе ШИМ микроконтроллеров AVR.
2. Исследование параметров ШИМ-сигнала с помощью регуляторов **Регистр OCR1 T/C1, Тактовая частота AVR, Делитель частоты T/C1, Уровни лог.0 и лог.1**.
3. Исследование погрешности цифро-аналогового преобразования с помощью регуляторов **Частота среза и Порядок**.

### ***Библиографический список***

1. Олссон Г., Пиани Д. Цифровые системы автоматизации и управления. СПб.: Невский диалект, 2001. – 557с.
2. Ледовской М.И. Целочисленный алгоритм ПИД-регулятора для микроконтроллеров. Материалы международной научной конференции «Проблемы развития естественных, технических и социальных систем»- часть 4 – Таганрог: Изд. «Антон», ТТИ ЮФУ, 2007, с.42-47.
3. Трамперт В. Измерение, управление и регулирование с помощью AVR–микроконтроллеров. – К.: «МК-Пресс», 2006. – 208с.

Получено 01.06.07