

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ В АСУ ТП

Кочетков Виталий Викторович

Ведущий инженер электроник, АО «Интер РАО —
Электрогенерация» филиал «Верхнетагильская ГРЭС»,
kochetkov_vv@interrao.ru

Зобнин Борис Борисович

Д.т.н., профессор, Уральский Государственный
Горный Университет
zobninbb@mail.ru

PROBLEMS AND PROSPECTS OF USING MICROCONTROLLERS IN ACS

**V. Kochetkov
B. Zobnin**

Summary. This article is devoted to the problems and prospects of using Arduino/Freduino microcontrollers as an input-output subsystem developed by a software and hardware complex (PTC). These controllers have proven themselves in the automation systems "Smart Home" and "Internet of Things" as reliable, stable equipment. Another reason for choosing these particular microcontrollers is a small price. A large number of input-output ports allows you to collect complex measuring systems, and the failed board can be quickly replaced with any similar one. Accordingly, completing the microcontroller with different types of junctions (galvanic, relay), we obtain ready-made input-output modules. In automated process control systems (APCS), the modules are mounted in cabinets of communication devices with objects (I / O), usually on a DIN rail, and are intended for processing standard signals (current: 0–20 mA and 4–20 mA, digital +24 volts).

Keywords: Arduino, PTK, automated process control system, metrology, electronics, error, sensors, current signal, pressure, flow, Scada.

Аннотация. Данная статья посвящена проблемам и перспективам использования микроконтроллеров Arduino/Freduino в качестве подсистемы ввода — вывода, разрабатываемого программно-технического комплекса (ПТК). Данные контроллеры хорошо зарекомендовали себя в системах автоматизации "Умный дом" и "интернета вещей" как надёжное, стабильно работающее оборудование. Ещё одна причина в пользу выбора именно этих микроконтроллеров — это небольшая цена. Большое количество портов ввода — вывода позволяет собирать сложные измерительные системы, а вышедшая из строя плата, может быть быстро заменена на любую аналогичную. Соответственно, комплектую микроконтроллер разными видами развязок (гальванической, релейной), получаем готовые модули ввода — вывода. В автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУ ТП), модули монтируются в шкафы устройств связи с объектами (УСО), как правило на DIN рейку и предназначаются для обработки стандартных сигналов (токовые: 0–20 мА и 4–20 мА, цифровой +24 вольт).

Ключевые слова: Arduino, ПТК, АСУ ТП, метрология, электроника, погрешность, датчики, токовый сигнал, давление, расход, Scada.

Введение

Ни один программно-технический комплекс и ни одна автоматизированная информационная система (АИС) не может обойтись без подсистемы ввода — вывода. Подсистема призвана получать измеряемые данные с технологических датчиков, таких как датчики давления среды (вода, газ, этиленгликоль), с разного типа датчиков расхода, датчиков уровня в баках и приемках, с датчиков температуры. Управлять исполнительными механизмами: насосами, задвижками, электрическими и пневматическими клапанами. Самый часто используемый стандарт, это токовый сигнал: 4–20 мА, где наименьшее значение измеряемого диапазона (LL–\$Level Low), равняется 4 мА и наибольшее измеряемое значение (LH – Level High) равняется 20 мА. Таким образом весь диапазон составит 20 мА – 4 мА = 16 мА. Например, если мы имеем датчик давления с диапазоном 1,6 кг/см² (наибольшее значение диапазона), то дискретность будет равна:

$$\left(\frac{1,6 \text{ кг/см}^2}{16 \text{ мА}} \right) = 0,1 \text{ кг/см}^2 \quad (1)$$

на каждый миллиампер. Если измеряемое значение будет ниже минимума диапазона (LL), или выше максимума (LH), такое состояние называется зоной недостоверности и сигнализирует о нарушении параметров технологического процесса (давление в тракте ниже положенного, возможна утечка или поломка насоса), о неисправности измерительного датчика, линии или измерительного канала. Обрыв линии (0 мА) и короткое замыкание (ток более 20 мА) так же является зоной недостоверности. Любое отклонение в измеряемом канале, фиксируется подсветкой параметра на видеограмме Scada системы (Supervisory Control And Data Acquisition — диспетчерское управление и сбор данных) и в журнале событий оператора.

Разрабатывая программно-технический комплекс, мы должны решить не только проблемы выбора оборудования, которое будем использовать в качестве контроллера, но также, определиться с тем, как и чем будем получать данные с датчиков (измерительных преобразователей — ИЗ). Для имитации ИЗ используем калибратор-измеритель ИКСУ-260Ex, (имитируем работу

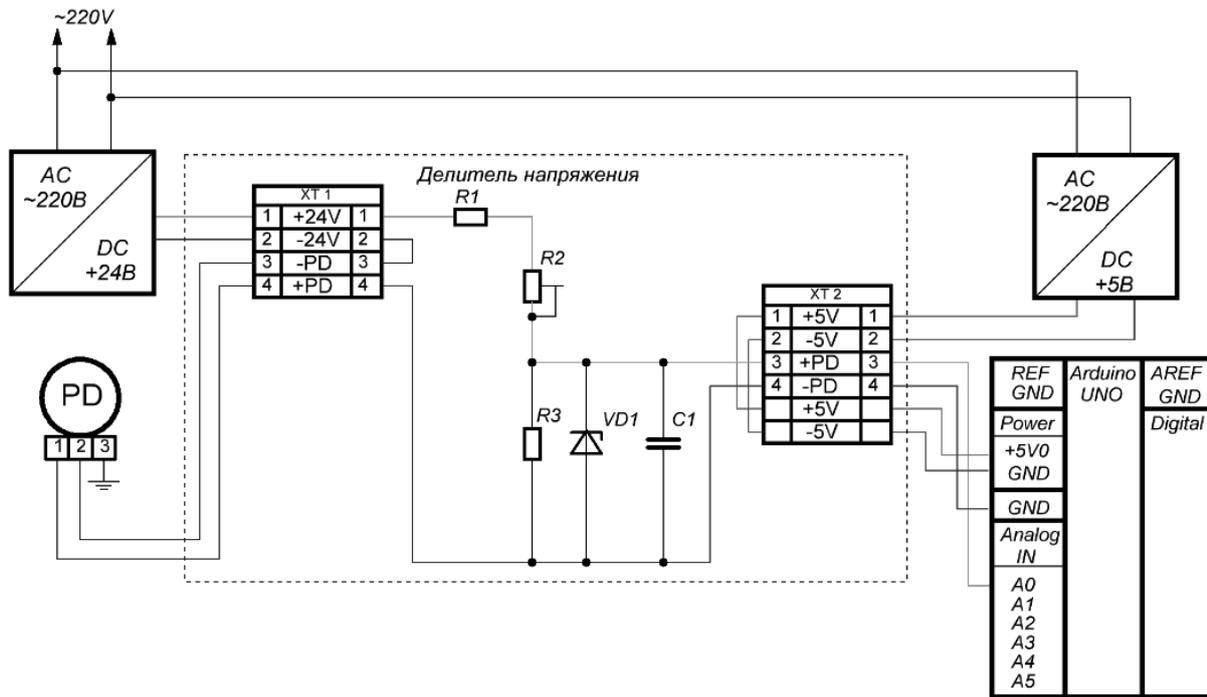


Рис. 1. Подключение калибратора через делитель напряжения к Arduino.

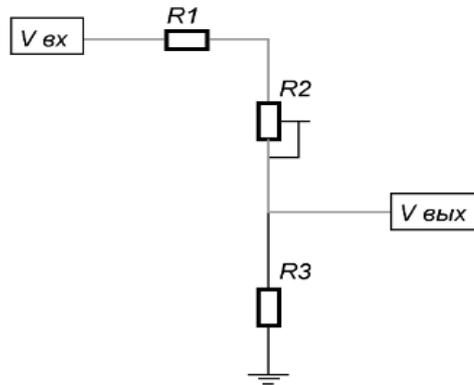


Рис. 2. Делитель напряжения с переменным резистором.

датчика с максимальным давлением 1,6 кг/см²), на выходе получаем токовый сигнал 4–20 мА. Теперь, токовый сигнал нужно преобразовать в цифру, Arduino [1] имеет в своём составе аналоговые порты: подавляющее большинство имеют 6 портов, Mini и Nano — 8, Mega — 16. Маркируются порты с A0 по A5 (это дает возможность подключать 6 датчиков одновременно). Аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) имеет дискретность — 10 бит, это значит, что диапазон оцифрованных аналоговых данных составит от 0 — до 1024 в цифровом эквиваленте. Соответственно, при использовании диапазона измеряемого напряжения 0–5 вольт, шаг изменения составит 0,0049 вольт, и временем считывания 100 микросекунд. Используем стандартный подход для измерения тока,

измерим падение напряжения на сопротивлении. Для этого соберем делитель напряжения смотрим рисунок 1. Разные виды делителей хорошо рассмотрены в книге С. М. Рюмик. Тысяча и одна микроконтроллерная схема [2].

Делитель напряжения (рисунок 2), резисторы R_1 , R_2 , R_3 — соединены последовательно. Согласно закону Ома, сила тока, протекающая через них, будет одинакова. Резистор R_2 является переменным резистором, и служит для более точной подстройки сопротивления R_1 . Рассчитаем ток по формуле 2.

$$I = \left(\frac{V_{вх}}{R_1 + R_2 + R_3} \right) \tag{2}$$

Таблица 1. Зависимости оцифрованного значения от заданного тока.

Эталонный ток мА.	Напряжение на выходе делителя. вольт.	Значение АЦП integer	Оцифрованное значение. float. кг.	Значение АЦП integer	Оцифрованное значение. float. кг.
		Arduino UNO Noname		Arduino UNO RobotDyn r3	
Прямой проход					
03,96	0,93	193	-0,004010250792	193	-0,004010250792
04,00	0,94	196	0	196	0
08,00	1,9	395	0,397014796734	395	0,397014796734
12,00	2,85	593	0,796034753323	593	0,796034753323
16,00	3,80	792	1,195054650307	792	1,195054650307
20,00	4,76	992	1,596079707146	992	1,596079707146
21,00	5,00	1023	1,658238649368	1023	1,658238649368
Обратный проход					
21,00	5,00	1023	1,658238649368	1023	1,658238649368
20,00	4,76	992	1,596079707146	992	1,596079707146
16,00	3,80	792	1,195054650307	792	1,195054650307
12,00	2,85	593	0,796034753323	593	0,796034753323
08,00	1,9	395	0,397014796734	395	0,397014796734
04,00	0,94	196	0	196	0
03,96	0,93	193	-0,004010250792	193	-0,004010250792

Используя тот же закон Ома, рассчитаем $V_{\text{вых}}$ — выходное напряжение, которое падает на резисторах R_1 и R_2 , используем формулу ниже.

$$V_{\text{вых}} = I \cdot R_3 = \left(\frac{R_3 \cdot V_{\text{вх}}}{R_1 + R_2 + R_3} \right) \quad (3)$$

Мы видим, что падение напряжения на резисторе R_3 напрямую зависит от того насколько R_3 больше резисторов ($R_1 + R_2$). Чем больше R_3 , тем больше падение.

VD_1 — Стабилитрон используется в качестве ограничителя входного напряжения. При подаче напряжения равному или выше 5,6 вольт, открывается, защищая входной порт Arduino от перенапряжения.

Конденсатор C_1 — защищает от импульсных помех.

PD — Калибратор — источник эталонного тока. Рисунок 1 демонстрирует схему подключения калибратора с внешним источником питания 24 вольт.

В лабораторных экспериментах использовался калибратор-измеритель фирмы Элемер, ИКСУ-260Ех. Калибровка проводилась по обычным для метрологии правилам [3] и [4], взяты пять точек: 4, 8, 12, 16 и 20 мА, на выходе получили напряжение, которое Arduino оцифровывает, получаем числовое значение в формате integer. 4 мА соответствует 0 кг/см², 20 мА 1,6 кг/см². Значения меньше 3,96 и больше 21 мА являются зонами недостоверности. Таблица 1 демонстрирует результаты

калибровки двух плат, Arduino UNO Noname — производитель неизвестен и Arduino UNO RobotDyn r3.

Анализируя результаты поверки каналов обеих плат, видим, что прямые измерения в точности соответствуют измерениям обратным. Добиться такой точности можно, используя стабильный блок питания. Подобран конденсатор C_1 — 33 мкФ, с тем чтобы результат измерения не плавал из — за помех в измерительном канале (от наводок). Так же лучше впаять электролитические конденсаторы между землей (GND) и V_{in} — 100 мФ, 5 вольт — 22 мкФ, 3,3 вольт — 22 мкФ, на самой плате Arduino. В лабораторных условиях, обе платы показали абсолютно идентичный результат и соответствуют требованиям линейности измерения [5]. Это демонстрируют рисунки 3 и 4.

Используя формулу № 2, рассчитаем соответствие давления диапазоном от 0 до 1,6 кг миллиамперам. Формулы с 3 по 7 демонстрируют результат. Если сравнить расчёт с таблицей 1, видим, что расчёты соответствуют полученным лабораторным результатам.

$$I_{(n_i)} = \left(\frac{P_{II} - P_H}{P_B - P_H} \right) \cdot (I_B - I_H) + I_H \quad (4)$$

$$I_{(0,0 \text{ кг/см}^2)} = \left(\frac{0}{1,6} \right) \cdot (20 - 4) + 4 = 4 \text{ мА} \quad (5)$$

$$I_{(0,4 \text{ кг/см}^2)} = \left(\frac{0,4}{1,6} \right) \cdot (20 - 4) + 4 = 8 \text{ мА} \quad (6)$$

$$I_{(0,8 \text{ кг/см}^2)} = \left(\frac{0,8}{1,6} \right) \cdot (20 - 4) + 4 = 12 \text{ мА} \quad (7)$$

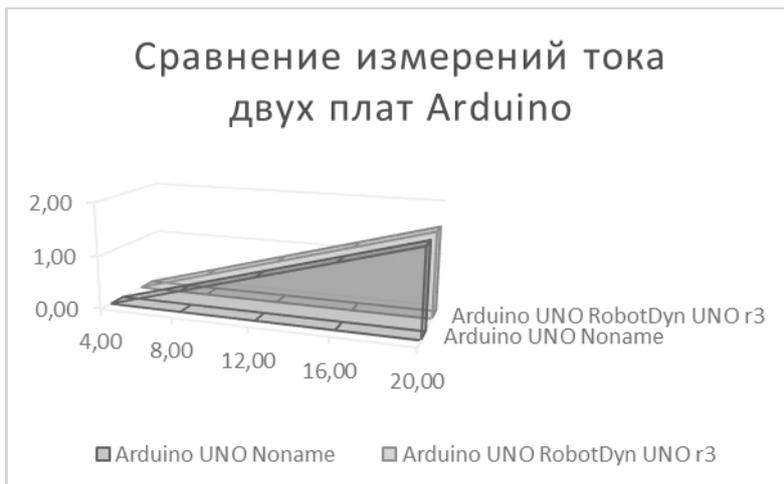


Рис. 3. Прямой проход по пяти точкам.



Рис. 4. Обратный проход по пяти точкам.

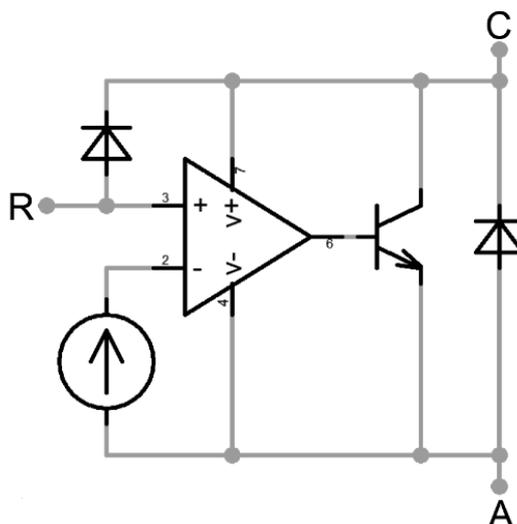


Рис. 5. Прецизионный параллельный стабилизатор напряжения TL 431.

$$I_{\{1,2 \text{ мВ/см}^2\}} = \left(\frac{1,2}{1,6} \right) \cdot (20 - 4) + 4 = 16 \text{ мА} \quad (8)$$

$$I_{\{1,6 \text{ мВ/см}^2\}} = \left(\frac{1,6}{1,6} \right) \cdot (20 - 4) + 4 = 20 \text{ мА} \quad (9)$$

Выводы

Основываясь на проведённом исследовании, можно заключить, что платы Arduino/Freeduino могут использоваться для оцифровки промышленных сигналов стандарта 4–20 мА, если нас устраивает разрешение преобразователя, которое составляет 10 бит (0 до 1024). Ограничение, связанное с измерением падения напряжения на делителе при использовании токов от 4 до 20 мА, диапазон измерения составит $992 - 196 = 796$ единиц (мы теряем 227 единиц, что не так и много). Соответственно разделив $1,6 \text{ кг} / 796 = 0,00201 \text{ кг/единицу}$ измерения АЦП, получаем достаточно неплохую дискретность. Было

замечено, что при использовании внутреннего опорного напряжения, точность измерения зависела от стабильности блока питания. Как вариант, использовать внешнее опорное напряжение, подающееся на вывод AREF со стабильного источника питания, либо дополнительно использовать прецизионный параллельный стабилизатор напряжения, например TL 431. Данная интегральная схема имеет улучшенную температурную стабильность, что позволяет создавать линейные стабилизаторы с особо низким падением напряжения. Структура стабилизатора представлена на рисунке 5.

Для работы в полевых условиях, так же необходимо защитить входной порт Arduino от наводок, скачков напряжения и т.п. при этом не забываем, что каждый добавленный электронный элемент имеет определённую погрешность и может вносить в измерения некоторую нелинейность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петин В. А. Электроника. Проекты с использованием контроллера Arduino. БХВ-Петербург 2015 г.
2. Рюмик С. М. Тысяча и одна микроконтроллерная схема. Серия: Программируемые системы. ДМК-Пресс 2016 г.
3. Методика поверки МИ 4212–012–2001. Датчики (измерительные преобразователи) давления типа «Метран». Государственная система обеспечения единства измерений. Челябинская межрайонная типография. 2004 г.
4. Гвоздев В. Д. Прикладная метрология. Величины измерения. Учебное пособие. — М.: МИИТ 2015 г.
5. РМГ 29–2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. Стандартинформ 2014 г.

© Кочетков Виталий Викторович (kochetkov_vv@interra0.ru), Зобнин Борис Борисович (zobninbb@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Уральский Государственный Горный Университет