



УДК 621.317

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ МЕТЕОСТАНЦИИ НА БАЗЕ ARDUINO С ИЗМЕРЕНИЕМ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

*Е.С. Гороховатенко, katerina.gulmatova@yandex.ru Е.Н. Блажкова
chernyshova.elena2016@yandex.ru*

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова,
г. Новочеркасск

В настоящее время актуальна разработка метеостанции, по тому как немало факторов окружающей среды влияют в равной степени как на человека, так и на устройства, приборы, технику. В статье представлена разработка функциональной схемы метеостанции. Назначение метеостанции состоит в качественном измерении показателей окружающей среды, быстрой обработке, калибровке и передачи информации на устройство вывода. Существует аналоговые и цифровые метеостанции, которые в свою очередь имеют множество различных типов и видов, применяемых в различных сферах

Ключевые слова: геомагнитное поле, магнитная буря, Arduino

DEVELOPMENT OF A DIGITAL ARDUINO-BASED WEATHER STATION WITH GEOMAGNETIC FIELD MEASUREMENT

E. S. Gorokhovatenko, E. N. Blazhkova

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk

Currently, the development of a weather station is relevant, as many environmental factors affect equally both a person and devices, and equipment. The article presents the development of a functional scheme of a weather station. The purpose of the weather station is to measure the quality of environmental indicators, quickly process, calibrate and transmit information to the output device. There are analog and digital weather stations, which in turn have many different types used in various fields.

Keywords: geomagnetic field, magnetic storm, Arduino.

Метеостанция – это комплексное устройство, для измерения атмосферных показателей в непосредственной близости от самого устройства. Измеряемые показатели могут быть различными в зависимости от комплектации устройства и от целей его разработки [1].

Измерительные устройства данного типа можно разделить на два класса – аналоговые и цифровые. Первые были широко распространены, пока не появились модели, построенные на электронных компонентах. Аналоговые метеостанции обычно могут показывать лишь температуру и атмосферное давление, дополнительные функции в них встречаются значительно реже.

Цифровая же метеостанция поистине оправдывает свое название, так как предоставляет широкий функционал – это не просто термометр или барометр, а комплектное устройство. Простейшая модель этого класса будет показывать температуру воздуха, выводить время, а показания будут вынесены на крупный, хорошо читаемый ЖК-дисплей. Элементы питания обеспечат работу на несколько месяцев или даже дольше.

В зависимости от сферы применения цифровой метеостанции различают бытовые (используются в основном внутри помещений) и профессиональные (могут использоваться даже в полевых условиях). Первые просты в использовании и удобны для людей. Вторые имеют множество вариаций, различающихся по мно-



жеству пунктов, например, одни цифровые метеостанции могут полученную информацию о измерениях сразу передавать на монитор или ЖК-дисплей, а другие передают данные на ПК или сохраняют в память.

Простейшая структурная схема, которая позволяет решить задачи измерения, передачи информации с датчиков, представлена на рисунке 1 [2]. В схеме содержатся блоки стационарных и выносных датчиков, которые представляет собой датчики для измерения температуры и влажности, магнитного поля и давления в различных помещениях, блок управления представлен микроконтроллером и блок индикации для вывода на дисплей информации. УВ – устройство ввода, АБ – аккумуляторная батарея.

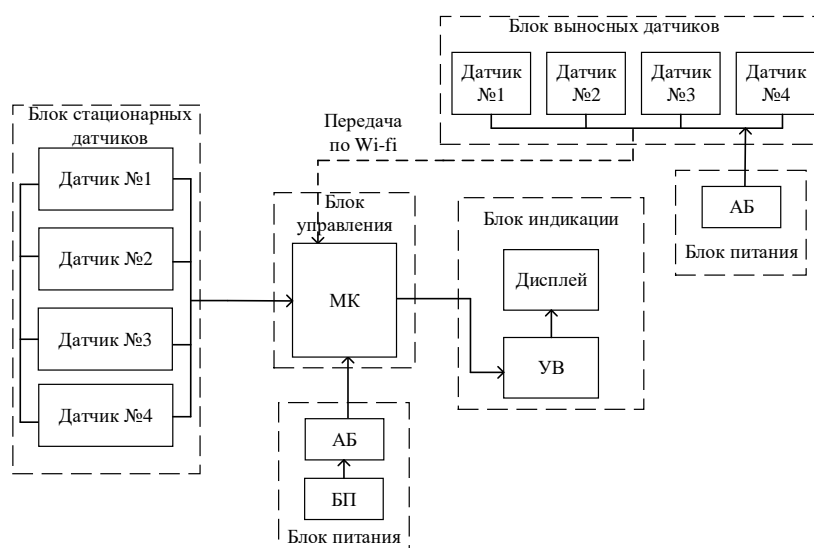


Рис. 1 – Структурная схема разрабатываемого устройства

Разработка функциональной схемы производилась на базе структурной схемы, приведённой на рисунке 1.

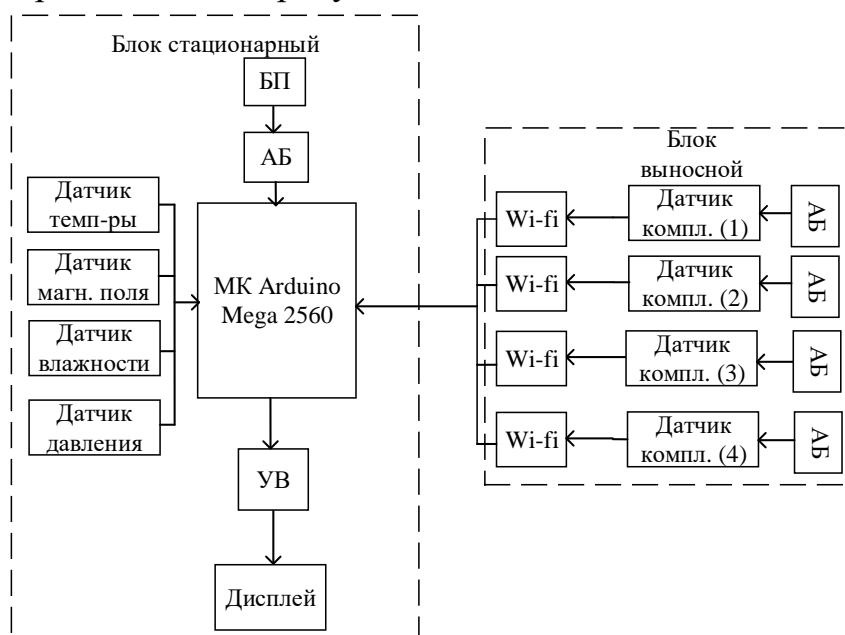


Рис. 2 – Функциональная схема разрабатываемого устройства



На функциональной схеме представлены: БП – блок питания, УВ – устройство ввода, АБ – аккумуляторная батарея, МК Arduino Mega 2560 – микроконтроллер, выносной блок представленный 4 комплексными датчиками для измерения температуры и влажности, и стационарный блок представленный датчиками температуры, влажности, давления и магнитного поля.

Устройство работает следующим образом. На датчики поступает информация о состоянии окружающей среды после этого данные передаются на микроконтроллер (данные с выносного блока поступают на блок Wi-fi и затем поступают на микроконтроллер). Там происходит обработка данных и их дальнейшая передача на ПК, выбором необходимой информации можно управлять с помощью УВ (с помощью кнопок). Датчики будут питаться от аккумуляторных батареек напряжением 3 В, а микроконтроллер 5 В. Между сетевым адаптером и аккумуляторной батареей находится линейный стабилизатор напряжения.

Выбираем микроконтроллер ATMEGA8U2-MU производства фирмы ATMEL. Его основные характеристики:

- Ширина шины данных – 8 б;
- Максимальная частота – 16 МГц;
- Размер памяти – 256 кБ;
- Количество входов/выходов – 86;
- Рабочее напряжение питания – 5 В;
- Тип памяти программ – flash;
- Встроенные интерфейсы - i2c, usart, uart, spi;
- Встроенная периферия – ШИМ, wdt, Brown-out Detect/Reset, POR;
- Напряжение питания – 4,5...5,5 В;
- Рабочая температура – -40...+85 °С;

Схема подключения используемого микроконтроллера представлена на рисунке 3.

Выберем кварцевый резонатор Y1 частотой 16 МГц типа HC-49U.

Выберем конденсаторы C1, C2, C3, C4, C5, C6 марки X7R рабочее напряжение 25 В, 100 нФ $\pm 10\%$.

Также выберем резисторы R1 и R3 марок MF25 1Мом $\pm 1\%$ и CF-100 27 Ом $\pm 5\%$ соответственно.

Для связи с ПК используем интерфейс USB, имеющую схему подключения, изображенную на рисунке 4.

Основные технические характеристики выбранного интерфейса ATmega8U2-MU:

- Supply Voltage - Max: 5,5 В;
- Supply Voltage - Min: 2,7 В;
- Вид монтажа: SMD/SMT;
- Встроенный в чип АЦП: нет;
- Интерфейс: SPI, USART, USB;
- Количество линий ввода/вывода: 22;
- Рабочий диапазон температур: - 40 °С ...+ 85 °С;
- Размер ОЗУ: 512 В;
- Размер ПЗУ данных: 512 В;
- Размер памяти программ: 8 Кб;

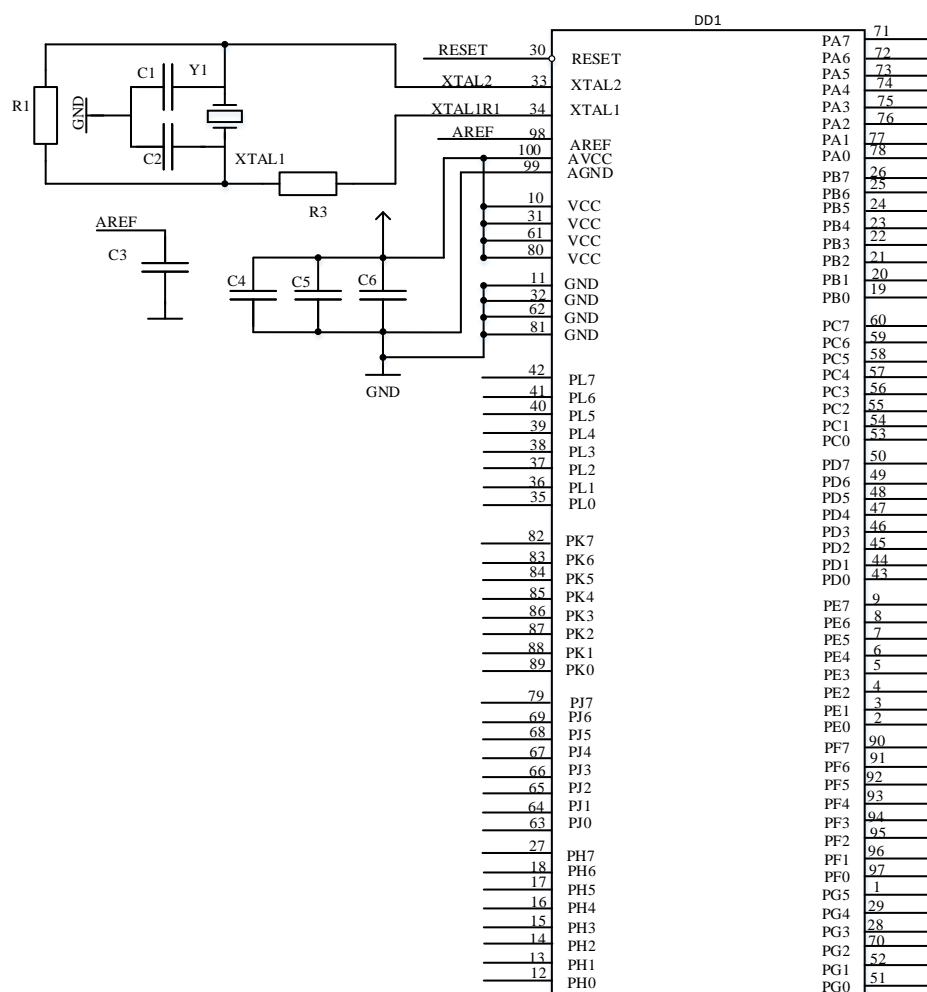


Рис. 3 – Схема подключения микроконтроллера

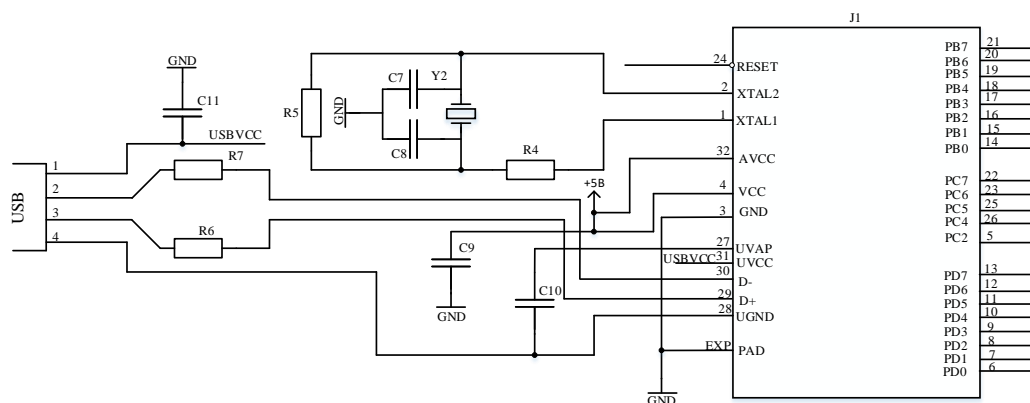


Рис. 4 – Схема подключения USB

- Серия процессора: ATMEGA8x;
- Тактовая частота максимальная: 16 МГц;
- Тип памяти программ: Flash;
- Шина данных: 8 бит.

Выберем кварцевый резонатор Y2 частотой 16 МГц типа HC-49U.



Выберем резисторы R6, R7 марки CF-100 номинальная мощность - 0,25 Вт, 22 Ом \pm 5%. Также выберем резистор R4, R5 марки CF-100 27 Ом \pm 5%.

Выберем конденсаторы C7, C8, C9 и C11 марки X7R рабочее напряжение 25 В, 100 нФ \pm 10%. Конденсатор C10 марки ECAP (K50-35) рабочее напряжение 100 В, 100 мкФ \pm 20%.

Выбираем wi-fi модуль типа ESP8266 (рисунок 5). Его основные характеристики приведены ниже:

- Напряжение питания: 3,3 В;
- Ток в режиме передачи: до 215 мА;
- Ток во время приема: до 62 мА;
- Мощность в режиме 802,11b: +20,5dBm;
- Два вывода SDIO;
- Встроенный микроконтроллер;
- Диапазон рабочей температуры: от -40 до +125°C;
- Максимальная дистанция связи 100 м.

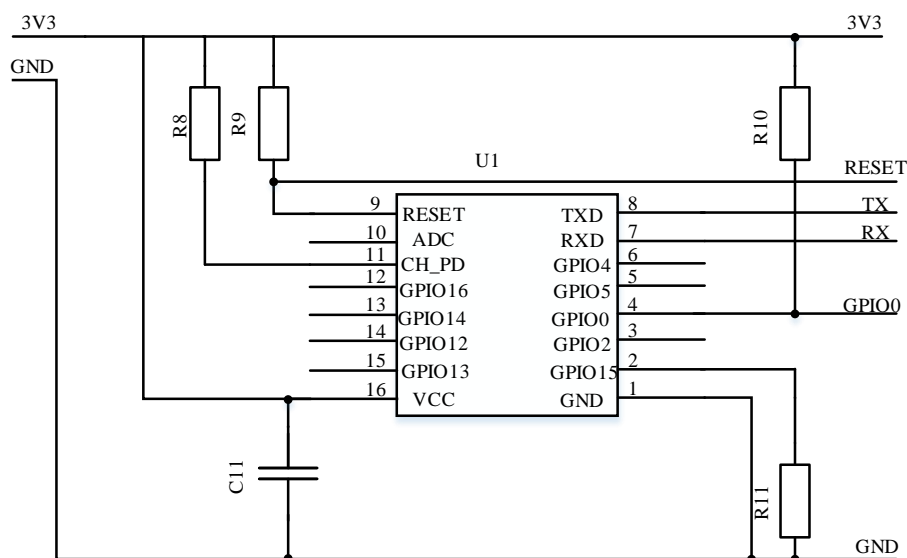


Рис. 5 – Схема подключения Wi-fi

Выберем резисторы R8, R9, R10, R11 марки CF-100 27 Ом \pm 5%. А конденсатор C24 марки X7R рабочее напряжение 25 В, 100 нФ \pm 10%.

Выберем датчик HTS221TR – датчик влажности и температуры фирмы STMicroelectronics (рисунок 6)

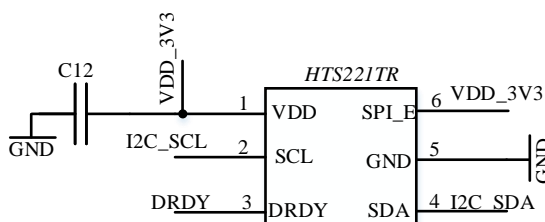


Рис. 6 – Схема подключения HTS221TR

Основные характеристики датчик HTS221TR:

- Напряжение питания: 1,7 ... 3,6 В;
- Точность: \pm 0,5 °C (температура), \pm 3,5% (влажность);



- Диапазон рабочих температур: $-40 \dots +120 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Разрешение: 16-разрядный;
- Тип выхода: Цифровой;
- Число контактов: 6.

Выберем конденсатор C12 марки X7R рабочее напряжение 50 В, $0,1 \text{ мкФ} \pm 10\%$.

Выберем датчик DPS368XTSA1 (рисунок 7) для измерения давления фирмы Infineon с основными характеристиками:

- Рабочий диапазон: Давление: $300 \dots 1200 \text{ гПа}$,
- Температура: $-40 \dots 85^{\circ}\text{C}$.
- Точность измерения: $\pm 0,002 \text{ гПа}$ (или $\pm 0,02 \text{ м}$);
- Относительная точность: $\pm 0,06 \text{ гПа}$ (или $\pm 0,5 \text{ м}$);
- Абсолютная точность: $\pm 1 \text{ гПа}$ (или $\pm 8 \text{ м}$);
- Точность измерения температуры: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$;
- Напряжение питания: VDDIO: $1,2 \dots 3,6 \text{ В}$, VDD: $1,7 \dots 3,6 \text{ В}$.

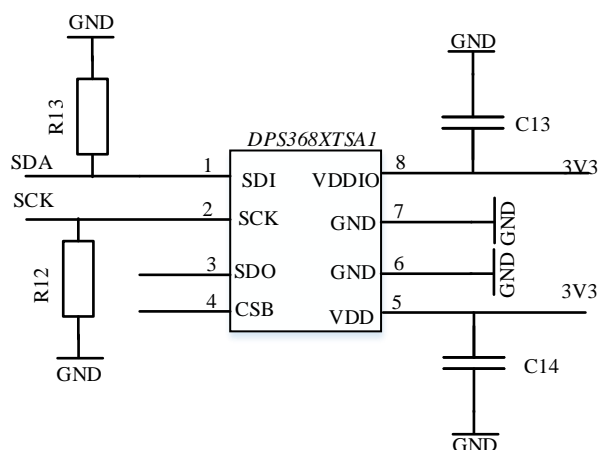


Рис. 7 – Схема подключения DPS368XTSA1

Выберем резисторы R12, R13 марки CF-100 $27 \text{ Ом} \pm 5\%$. А конденсаторы C13, C14 марки X7R рабочее напряжение 25 В, $100 \text{ нФ} \pm 10\%$.

Выберем датчик HMC5883L (рисунок 8) от компании Honeywell,

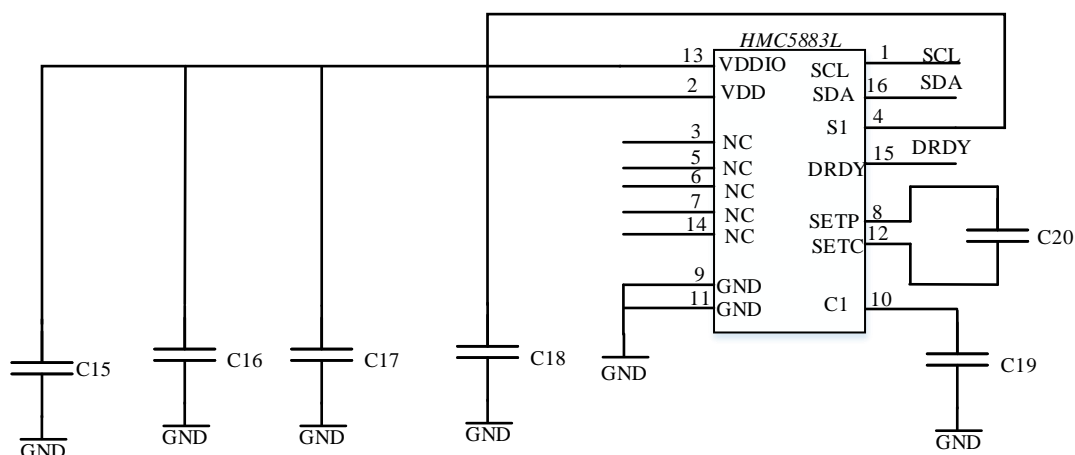


Рис. 8 – Схема подключения HMC5883L

Его основные характеристики:

- Напряжение питания: 3 - 5 В;



- Номинальный ток потребления (в режиме измерения): 2,5 мА;
- Номинальный ток: 0,1 мА;
- Интерфейс: I2C (ПЦ) протокол;
- Диапазон измерений: $\pm 1,3-8$ Гаусс;
- Диапазон рабочих температур: $0...+55$ °С;
- Относительная влажность: $5...95$ %.

Выберем конденсаторы С15, С16 марки Х7R рабочее напряжение 25 В, 100 нФ $\pm 10\%$. С17, С18, С20 марки Х7R рабочее напряжение 10 В, 220 нФ $\pm 10\%$. С19 марки Х7R рабочее напряжение 100 В, 4,7 мкФ $\pm 10\%$.

При преобразовании аналогового сигнала в цифровой выполняется две операции – квантование по уровню и дискретизация по времени (рисунок 9). Частота дискретизации (быстродействие) определяет сколько выборок в секунду будет производиться при оцифровке.

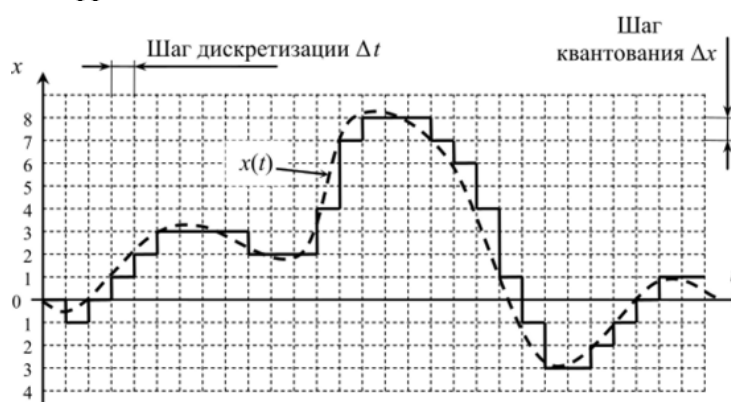


Рис. 9 – Дискретизация аналогового сигнала по времени и квантование по уровню

По теореме Котельникова определим шаг квантования:

$$\Delta t = \frac{1}{2 \cdot f_{\max}},$$

где f_{\max} - частота максимальной гармоники аналогового сигнала, кГц.

Максимальная частота сигнала не должна превышать 10 Гц, тогда шаг дискретизации составляет:

$$\Delta t \leq \frac{1}{2 \cdot 10 \cdot 10^3} = 50 \text{ мкс}.$$

Шаг квантования по уровню определяется требуемой погрешностью преобразования:

$$\Delta U = (U_{\max} - U_{\min}) \cdot 0,001 = (0,07 - 0) \cdot 0,001 = 70 \text{ мкВ}$$

Данному шагу соответствует число уровней квантования $L=2000$.

Ближайшее число, кратное степени 2 является 2048. Таким образом, необходимо выбрать АЦП разрядностью 12.

Выберем АЦП типа ADS7865 фирмы Texas Instruments. Основные характеристики представлены далее:

- Частота дискретизации, МГц: 2;
- Разрядность, бит: 12;
- Диапазон температур, °С: $-40...+125$;
- Напряжение питания, В: $+2,7...+5,5$.



Выберем сетевой адаптер, питающий микроконтроллер Arduino и блок индикации (рисунок 10).

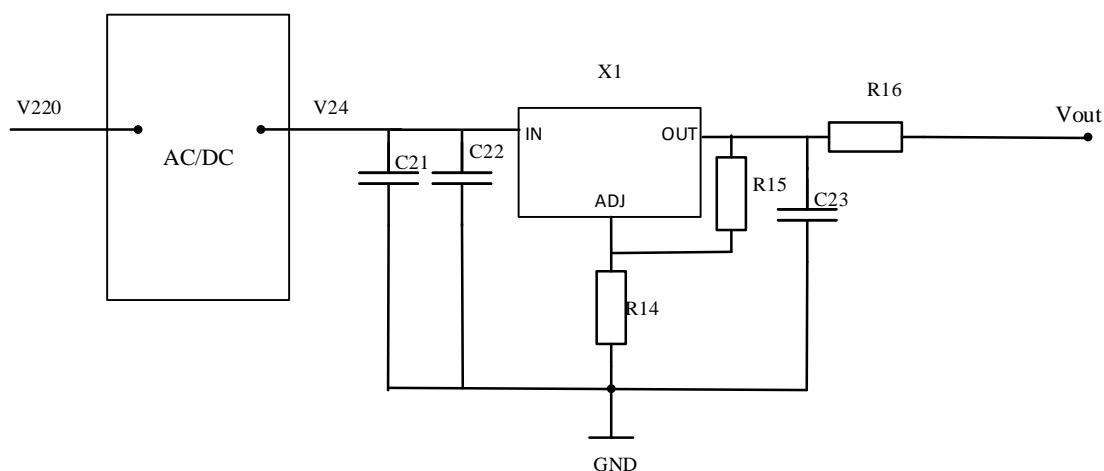


Рис. 10 – Схема подключения стабилизатора напряжения

Выберем сетевой адаптер типа БП 24-0.3:

Входное напряжение 220 В;

Выходное напряжение 24 В;

Выходной ток: 0,3 А;

Мощность: 7 Вт.

Выберем стабилизатор напряжения фирмы Linear Technology LM117 с основными характеристиками:

- Максимальная рабочая температура: +125 °С;
- Минимальная рабочая температура: - 55 °С;
- Максимальное входное напряжение: 60 В;
- Выходное напряжение: 1,2 ... 57 В;
- Ток потребления 3 мА.

Выберем конденсаторы C22 марки K10-7В номинальная емкость 0,1 мкФ, рабочее напряжение 25 В, C23 марки ЕСАР (К50-35) с рабочим напряжением 100 В, номинальной емкостью 1 мкФ, допуск номинальной емкости 20 %.

Выберем сопротивление R15 марки CF-100, максимальное рабочее напряжение 500 В, точность 5%, номинальное сопротивление 240 Ом.

Рассчитаем конденсатор C21 и резисторы R14, R16:

$$C_{21} = \frac{I_n}{3,14 \cdot U_{\text{вх}} \cdot f \cdot K_{\text{П}}} = \frac{0,003}{3,14 \cdot 24 \cdot 50 \cdot 10^{-2}} = 79,6 \text{ мкФ},$$

где U - напряжение входное, $K_{\text{П}} = 10^{-2}$ – коэффициент пульсации.

Выберем тип конденсатора ЕСАР (К50-35) с рабочим напряжением 400 В, номинальной емкостью 68 мкФ, допуск номинальной емкости 20 %.

$$U_{\text{вых}} = 1,25 \left(1 + \frac{R_{14}}{R_{15}} \right),$$

где R14=2064 Ом марки CF-100, максимальное рабочее напряжение 500 В, точность 5%, номинальное сопротивление 2 кОм.

$$R_{16} = \frac{U_{\text{вых}}}{2I_n} = \frac{12}{0,006} = 2 \text{ кОм},$$



Выберем тип резистора R16 Ом марки CF-100, максимальное рабочее напряжение 500 В, точность 5%, номинальное сопротивление 2 кОм.

В блоке индикации используется кнопка TD-02XA, для осуществления выбора датчика, с помощью которого происходит измерение в выбранном месте. Рабочее напряжение до 12 В, рабочий ток 0,05 А.

И также выберем ЖК дисплей 2.4 TFT LCD Shield напряжение питания 5 В, ток потребления до 300 мА.

Параметры, характеризующие АЦП делятся на две группы:

- Статические – максимальное и минимальное допустимое значение входного сигнала, разрядность, интегральную и дифференциальную нелинейности, температурную нестабильность параметров преобразования и т.п.
- Динамические – определяют максимальную скорость преобразования, предельную частоту входного сигнала, шумы и нелинейности.

Статическая погрешность в свою очередь состоит из двух частей:

погрешность цифрового представления из-за ограниченной разрядности кода и инструментальная погрешность АЦП.

Рассмотрим динамическую погрешность АЦП. В общем случае входной сигнал нужно считать случайным и учитывать внутренние шумы. При оценке времени квантования можно считать, что входная величина X не изменяется более чем на квант за время. Тогда можно определить максимальную скорость изменения входной величины:

$$\left(\frac{dA}{dt} \right)_{\max} \leq \frac{X_{\max} - X_{\min}}{2^n \cdot T_k}$$

Из этого выражения можно определить максимальную частоту квантования АЦП. Статическая погрешность при равномерном квантовании по уровню равна:

$$\delta = \pm \frac{1}{2} \text{MP}.$$

Эта формула показывает, что статическая ошибка за счет квантования определяется младшим разрядом (MP) выходного кода или квантом входной величины. Инструментальные ошибки АЦП должны быть меньше ошибки квантования.

Погрешность АЦП поразрядного кодирования складывается из следующих составляющих:

- погрешности дискретности и квантования;
- погрешности АЦП.

Основной погрешностью АЦП является погрешность дискретизации, которая определяется по формуле:

$$\delta_{\text{дискр}} = \frac{\pm 0,5 \text{EMP}}{U_{\text{вх.ном}}},$$

где $U_{\text{вх.ном}} = 70 \text{ мВ}$ - номинальное входное напряжение АЦП, EMP – единица младшего разряда АЦП, определяется по формуле:

$$\text{EMP} = \frac{U_{\text{вх.ном}}}{2^n},$$

где n – разрядность АЦП.

$$\text{EMP} = \frac{0,07}{2^{12}} = \frac{0,07}{4096} = 0,000017089 \text{ В},$$



$$\delta_{\text{дискр}} = \frac{\pm 0,5 \cdot 0,000017089}{0,07} \cdot 100\% = 0,01221\% .$$

Погрешность квантования:

$$\Delta_{\text{кв.макс.}} = \frac{\text{ЕМР}}{2} = \frac{0,000017089}{2} = 0,0000085 \text{ В.}$$

Результирующее значение погрешности:

$$\delta = \sqrt{(\delta_{\text{дискр}})^2} = \sqrt{0,01221^2} = 0,01221\%$$

Список цитируемой литературы

1. Бараночников М.Л Микромагнитозлектроника [Текст]: Т. 1. – М: ДМК Пресс, 2001. – 544 с.
2. Е.С. Гульматова, Е.Н. Чернышова Разработка метеостанции на базе Arduino с измерением геомагнитного поля// Вестник молодёжной науки России, 2020. – №5 – С. 5.

© Е.С. Гороховатенко, Е.Н. Блажкова, 2021