

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Факультет ИУ – «Информатика и управление»

Кафедра ИУ-3 – «Информационные системы и телекоммуникации»

Методические указания  
по выполнению домашнего задания 1  
«Расчет схемы подключения информационного элемента»  
по дисциплине «Методы и средства проектирования  
информационных систем и технологий»

Для студентов, обучающихся по направлениям  
2304002468, 2304007468 и 2302010065

Москва, 2016

## Содержание

1 Общие указания.....	3
2 Требования к отчету.....	3
3 Пример 1. Температурный датчик.....	4
3.1 Информационный элемент.....	4
3.2 Схема подключения.....	4
3.3 Расчет принципиальной схемы.....	5
3.4 Обработка данных.....	7
4 Пример 2. Цифро-аналоговый преобразователь.....	7
4.1 Информационный элемент.....	7
4.2 Схема подключения.....	10
4.3 Расчет принципиальной схемы.....	11
4.4 Обработка данных.....	11
Список литературы.....	12

## 1 Общие указания

Основной целью домашнего задания является разработка и расчет схемы подключения измерительного, индикаторного или исполнительного элемента (далее – информационного элемента) к микроконтроллеру.

Приступая к выполнению домашнего задания, необходимо повторить материал по ранее изученным дисциплинам «Электроника», «Цифровые устройства и микропроцессорная техника», «Схемотехника электронных устройств», «Информационно-измерительные устройства».

Темы домашних заданий выдаются преподавателем. Для выполнения домашнего задания необходимо:

- привести описание информационного элемента;
- осуществить выбор и обоснование схемы подключения элемента;
- выполнить расчет измерительных (исполнительных, индикаторных) цепей;
- обосновать методику обработки данных, осуществляемых микроконтроллером.

Заключительным этапом выполнения задания является оформление отчета. Срок выполнения домашнего задания – две недели.

## 2 Требования к отчету

Отчет по домашнему заданию должен содержать:

- титульный лист;
- содержание;
- описание информационного элемента;
- выбор и обоснование схемы подключения;
- расчет принципиальной схемы;
- методику обработки данных;
- список использованной литературы;
- приложения (при необходимости).

Оформление отчета осуществляется в соответствии с ГОСТ 2.105-95 [1], список литературы – по ГОСТ 7.1–2003 [2].

### 3 Пример 1. Температурный датчик

#### 3.1 Информационный элемент

Темой домашнего задания является разработка и расчет схемы подключения температурного датчика KTS-1 к микроконтроллеру MSP430F4618. Температурный датчик KTS-1 представляет из себя отрезок двухпроводного шлейфа длиной до 2 м, присоединенный к влагозащитному термочувствительному элементу (рисунок 1).



Рисунок 1 – Температурный датчик KTS-1

Влагозащитный термочувствительный элемент (рисунок 2) имеет следующие характеристики:

- диапазон измерений температуры – от  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+155\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- точность измерения температуры  $\delta - \pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- номинальное сопротивление  $R_{\text{ном}}$  при  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 3 кОм;
- температурный коэффициент  $k$  – минус  $14,61\text{ Ом}/^{\circ}\text{C}$ ;
- коэффициент температурной чувствительности  $\beta - 3988$ .



Рисунок 2 – Термочувствительный элемент датчика KTS-1

#### 3.2 Схема подключения

Температурный датчик KTS-1 может использоваться как при прямом подключении к аналого-цифровому преобразователю, так и в составе мостовой измерительной схемы [3].

Используемый первичный измерительный преобразователь расположен на достаточно большом удалении от измерительного устройства. Так как датчик имеет большое

сопротивление, то нет необходимости учитывать сопротивления соединительных проводников или исключать их влияние каким-либо способом.

Преимуществом прямого подключения является отсутствие дополнительных схемных элементов. Однако в этом случае нормирование сигнала и расчет измеряемой температуры потребуются выполнять средствами микроконтроллера MSP430F4618.

Схема прямого подключения датчика приведена на рисунке 3, где  $V_{пит}$  – вывод источника питания  $B1$ ,  $R_1$  – нагрузочный резистор,  $R_T$  – терморезистор, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, конструктивно входящий в состав микроконтроллера  $U1$ .

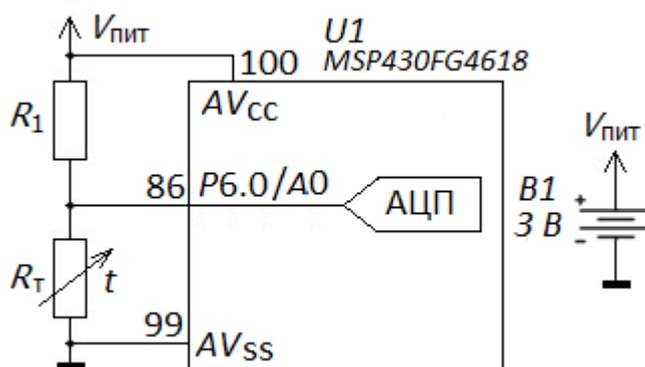


Рисунок 3 – Схема подключения датчика KTS-1

### 3.3 Расчет принципиальной схемы

Полярность подключения выводов датчика KTS-1 к входам АЦП значения не имеет. Величина напряжения источника постоянного напряжения  $V_{пит}$  не должна выходить за границы допустимого входного напряжения для АЦП микроконтроллера.

Для расчета схемы воспользуемся характеристиками входных цепей АЦП, встроенного в микроконтроллер [5, с. 51]

- диапазон входного напряжения – от 0 В до  $AV_{cc}$ ;
- число разрядов – 12;
- входная емкость  $C_{АЦП}$  – 40 пФ;
- входное сопротивление  $R_{АЦП}$  – 2000 Ом,

и схему питания микроконтроллера в составе экспериментальной платы [6].

Воспользуемся источником аналогового питания экспериментальной платы  $AV_{cc}$  с напряжением, равным напряжению двух последовательно включенных элементов питания типа АА,  $V_{пит} = 3,0$  В [4, с. 15].

Максимальное сопротивление терморезистора  $R_{min}$  достигается при температуре  $-55$  °С,

$$R_{max} = R_{ном} + k(T_{ном} - T_{min}) = 3000 - 14,61(25 - 55) = 3438 \text{ [Ом]},$$

а минимальное  $R_{min}$  – при температуре  $+155$  °С,

$$R_{\min} = R_{\text{ном}} + k(T_{\text{ном}} - T_{\text{max}}) = 3000 - 14,61(25 - 155) = 2539 \text{ [Ом]}.$$

Для уменьшения общей потребляемой мощности от источника питания и уменьшения нагрева терморезистора в процессе измерений следует уменьшить протекающий через него ток. Однако при малых токах и при небольшом изменении температуры разница напряжений на терморезисторе может стать сравнимой с напряжением шума или с разрешением аналого-цифрового преобразователя по напряжению.

Аналого-цифровой преобразователь при разрядности 12 и опорном напряжении 3,0 В имеет разрешение по напряжению  $\Delta V$  не более  $3/2^{12}$ , или 0,73 мВ. Выразим минимальное изменение напряжения, которое должен фиксировать аналого-цифровой преобразователь, используя характеристики терморезистора и закон Ома,

$$\Delta V = (R_T + \Delta R_T) \frac{V_{\text{пит}}}{R_1 + R_T + \Delta R_T} = V_{\text{пит}} \frac{R_T + 2\delta k}{R_1 + R_T + 2\delta k} \text{ [В]},$$

откуда найдем максимальное сопротивление резистора  $R_1$  при  $R_T$ , равном  $R_{\min}$ :

$$R_1 = \frac{V_{\text{пит}} - \Delta V}{\Delta V} (R_{\min} + 2\delta k) = \frac{3 - 0,73 \times 10^{-3}}{0,73 \times 10^{-3}} (2539 + 2 \times 0,3 \times 14,61) = 10469732 \text{ [Ом]}.$$

При рассчитанном максимальном значении сопротивления резистора  $R_1$  в измерительной цепи протекает ток, равный 0,3 мкА. В низкочастотной области в качестве расчетного значения напряженности поля помехи  $E_{\text{пом}}$  примем величину, равную 40 В/м. Такая помеха вызывает наводку тока  $I_{\text{пом}}$ ,

$$I_{\text{пом}} = \frac{E_{\text{пом}} L}{R_1 + R_{\min}} = \frac{40 \times 0,1}{1,0469732 \times 10^6 + 2539} \approx 0,4 \text{ мкА},$$

где  $L$  – общая длина проводников в схеме, принятая равной 10 см.

Для уменьшения влияния на измерительный ток электромагнитных помех от внешних источников, выберем сопротивление резистора  $R_1$  в  $100/(2\delta) = 166$  раз меньшим, чем расчетное. В итоге имеем сопротивление резистора  $R_1$ , равное 63 кОм.

Найдем теперь точность резистора  $R_1$  исходя из необходимости калибровки датчика, т.е. создадим условия, при которых не требуют индивидуальной настройки каждой схемы подключения датчика к микроконтроллеру. В этом случае точность изготовления резистора  $R_1$  должна быть не больше величины  $2\delta k$ , которая равна 8,77 Ом. Отсюда находим допуск на сопротивление резистора, равный  $\pm 0,5 \%$ .

В качестве  $R_1$  из ряда E192 выберем прецизионный резистор с точностью 0,5 % и номиналом 62 кОм.

Эквивалентная схема входных и измерительных цепей приведена на рисунке 4.

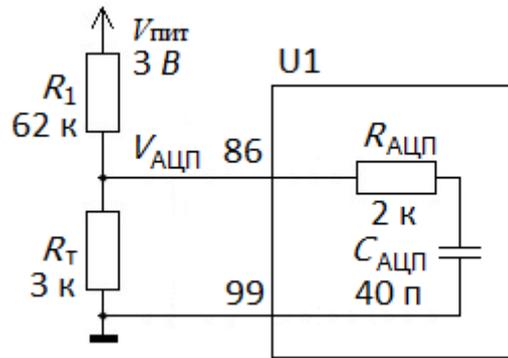


Рисунок 4 – Входные и измерительные цепи

### 3.4 Обработка данных

Для расчета температуры датчика в градусах Цельсия воспользуемся формулами [3]:

$$R_T = \frac{R_1 V_{\text{АЦП}}}{V_{\text{пит}} - V_{\text{АЦП}}} [\text{Ом}]; \quad (1)$$

$$T = \frac{\beta}{\ln\left(\frac{R_T}{R_{\text{ном}}}\right) + \frac{\beta}{K + T_0}} - K [^{\circ}\text{C}], \quad (2)$$

где  $V_{\text{АЦП}}$  – напряжение, измеряемое АЦП в вольтах,  $\beta$  – коэффициент температурной чувствительности,  $\beta = 3988$ ,  $T_0$  – базовая температура,  $T_0 = 25^{\circ}\text{C}$ ,  $R_{\text{ном}}$  – сопротивление датчика при базовой температуре  $T_0$ ,  $R_{\text{ном}} = 3000 \text{ Ом}$ ,  $K$  – температура Кельвина,  $K = 273^{\circ}\text{C}$ .

Обработка данных микроконтроллером заключается в инициализации внутреннего АЦП, периодическом считывании его показаний и вычислении температуры по формулам (1) и (2).

## 4 Пример 2. Цифро-аналоговый преобразователь

### 4.1 Информационный элемент

Темой домашнего задания является разработка и расчет схемы подключения устройства формирования аналогового сигнала сложной формы на основе цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) AD5300BRM к микроконтроллеру MSP430F4618. Микросхема AD5300BRM представляет собой 8-битный ЦАП в корпусном исполнении MSOP (рисунок 5).

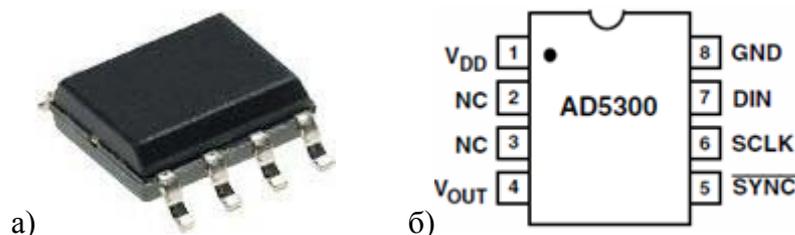


Рисунок 5 – ЦАП AD5300BRM:  
а) внешний вид; б) нумерация выводов.

Описание выводов ЦАП приведено в таблице 1 [7, с. 4].

Таблица 1 – Назначение выводов микросхемы AD5300BRM

Вывод	Обозначение	Назначение
1	V <sub>DD</sub>	Напряжение питания
2	NC	Свободный вывод
3	NC	Свободный вывод
4	V <sub>OUT</sub>	Аналоговый выход ЦАП
5	SYNC	Входной сигнал кадровой синхронизации
6	SCLK	Входной сигнал битовой синхронизации, не более 30 МГц
7	DIN	Выход последовательных данных, разрядность слова – 16
8	GND	Общий вывод, «земля»

ЦАП AD5300BRM имеет следующие характеристики [7, с. 2]:

- рабочее напряжение V<sub>DD</sub> – от 2,7 до 5,5 В;
- разрядность – 8 бит;
- выходное напряжение – от 0 до V<sub>DD</sub>;
- номинальный ток (максимальный) I<sub>DD</sub> – 250 мкА;
- напряжение логического низкого уровня V<sub>INL</sub> – от 0,6 до 0,8 В;
- напряжение логического высокого уровня V<sub>INH</sub> – от 2,1 до 2,4 В;
- сопротивление постоянного тока – 1 Ом;
- рабочая температура – от -40 до + 105 градусов Цельсия;
- температура хранения – от -65 до +150 градусов Цельсия.

Функциональная схема ЦАП показана на рисунке 6 [7, с. 1]. Входные последовательные данные DIN, сопровождаемые сигналами кадровой и битовой синхронизации SYNC и SCLK, поступают на блок входной логики (INPUT CONTROL LOGIC) и через него записываются в 8-разрядный регистр данных (DAC REGISTER). Регистр данных соединен с 8-битным ЦАП (DAC), который через выходной буферный усилитель (OUTPUT BUFFER) формирует выходной аналоговый сигнал V<sub>OUT</sub>. Внутренний ЦАП в качестве источника опорного напряжения использует напряжения питания микросхемы, поступающее с вывода V<sub>DD</sub>. Остальные функциональные блоки микросхемы (POWER-ON RESET, POWER-DOWN CONTROL LOGIC, RESISTOR NETWORK) служат для управления микросхемой при включении и выключении питания.

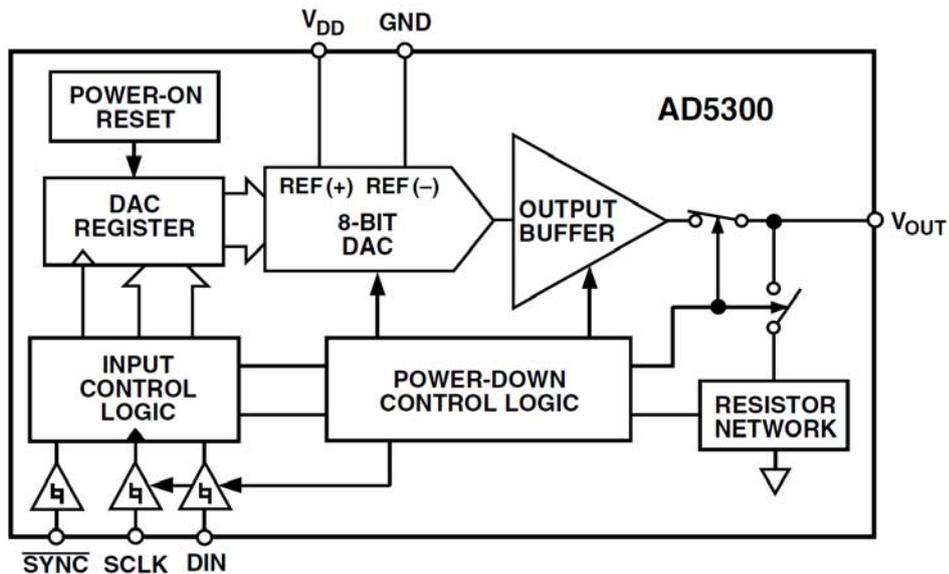


Рисунок 6 – Функциональная схема AD5300BRM

Запись в ЦАП отсчетов формируемого сигнала осуществляется по трехпроводному интерфейсу SPI (рисунок 7), где  $t_1$  – не менее 50 нс,  $t_2$  – не менее 13 нс, а  $t_3$  – не менее 23 нс. Максимальная частота сигнала битовой синхронизации SCLK – 30 МГц. Разряды отсчета сигнала передаются после активации сигнала кадровой синхронизации SYNC в порядке от старшего к младшему.

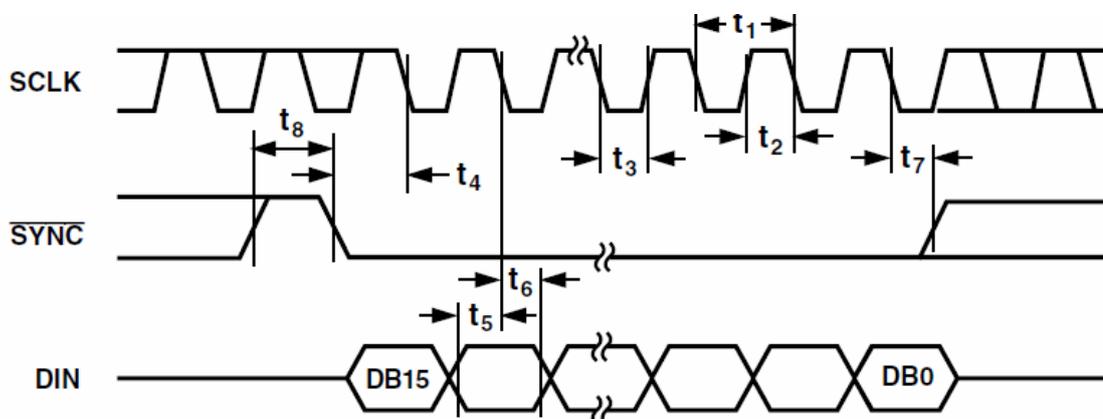


Рисунок 7 – Временная диаграмма записи отсчетов сигнала в ЦАП

Кадр отсчета сигнала имеет формат, показанный на рисунке 8, где разряды X не используются, а PD1 и PD2 служат для управления состоянием выхода  $V_{OUT}$ : 00 – вывод напряжения, соответствующего отсчету; 01 – подключение вывода к резистору 1 кОм; 10 – подключение вывода к резистору 100 кОм; 11 – перевод в отключенное состояние.

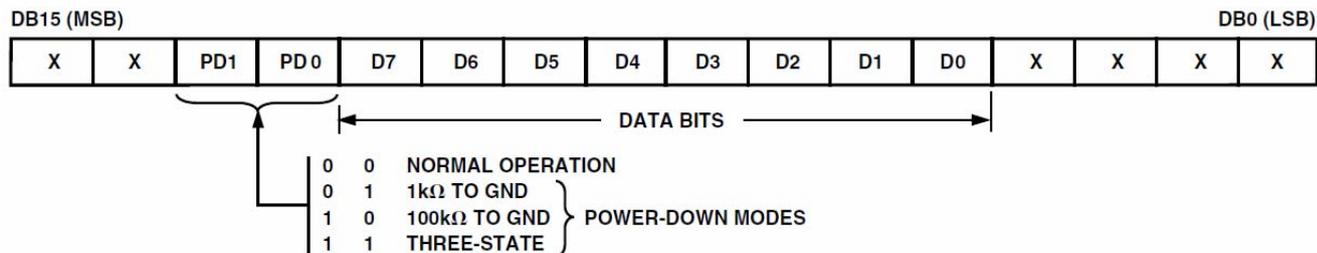


Рисунок 8 – Структура регистра данных ЦАП

#### 4.2 Схема подключения

Для AD5300BRM разработана типовая схема подключения к микроконтроллеру (рисунок 9), где в качестве интерфейса взаимодействия микроконтроллера и ЦАП используется интерфейс SPI [7, с. 10].

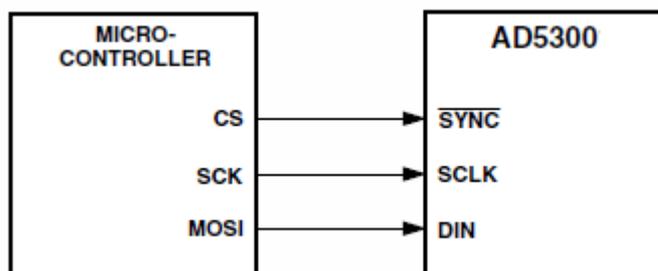


Рисунок 9 – Типовая схема подключения к микроконтроллеру

Учитывая напряжения уровней сигналов логического нуля и логической единицы ЦАП (с. 8) и микроконтроллера (рисунок 10) делаем вывод, что дополнительных согласующих компонентов в схеме подключения не требуется.

#### outputs - Ports P1 to P10

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
V <sub>OH</sub> High-level output voltage	I <sub>OH(max)</sub> = -1.5 mA, V <sub>CC</sub> = 2.2 V,	V <sub>CC</sub> -0.25		V <sub>CC</sub>	V
	I <sub>OH(max)</sub> = -6 mA, V <sub>CC</sub> = 2.2 V,	V <sub>CC</sub> -0.6		V <sub>CC</sub>	
	I <sub>OH(max)</sub> = -1.5 mA, V <sub>CC</sub> = 3 V,	V <sub>CC</sub> -0.25		V <sub>CC</sub>	
	I <sub>OH(max)</sub> = -6 mA, V <sub>CC</sub> = 3 V,	V <sub>CC</sub> -0.6		V <sub>CC</sub>	
V <sub>OL</sub> Low-level output voltage	I <sub>OL(max)</sub> = 1.5 mA, V <sub>CC</sub> = 2.2 V,	V <sub>SS</sub>		V <sub>SS</sub> +0.25	V
	I <sub>OL(max)</sub> = 6 mA, V <sub>CC</sub> = 2.2 V,	V <sub>SS</sub>		V <sub>SS</sub> +0.6	
	I <sub>OL(max)</sub> = 1.5 mA, V <sub>CC</sub> = 3 V,	V <sub>SS</sub>		V <sub>SS</sub> +0.25	
	I <sub>OL(max)</sub> = 6 mA, V <sub>CC</sub> = 3 V,	V <sub>SS</sub>		V <sub>SS</sub> +0.6	

Рисунок 10 – Логические уровни сигналов микроконтроллера [5, с. 33]

### 4.3 Расчет принципиальной схемы

Поскольку ЦАП подключается напрямую к выводам микроконтроллера, то примем напряжение питания ЦАП  $V_{DD}$ , равное напряжению питания 3 В экспериментальной платы [6]. Тогда выходное напряжение  $V_{OUT}$  будет лежать в диапазоне от 0 до 3 В.

Для сглаживания выходного сигнала на выходе ЦАП необходимо применить фильтр низкой частоты. При максимальной частоте сигнала  $f_{MAX}$ , равной 250 кГц в качестве фильтра может быть использован пассивный  $RC$  фильтр с граничной круговой частотой  $\omega_c = 1/RC$ . Из  $2\pi f_{MAX} = \omega_c$  находим для пассивного фильтра сопротивление резистора  $R$  и емкость конденсатора  $C$ :  $R = 1$  кОм,  $C = 1,57$  нФ. Из ряда E24 выберем номиналы пассивных компонентов фильтра:  $R = 1$  кОм,  $C = 1,5$  нФ.

На рисунке 11 приведена принципиальная схема устройства формирования сигналов произвольной формы на основе ЦАП AD5300BRM, где в качестве интерфейсного модуля из состава микроконтроллера выбран универсальный синхронно-асинхронный приемопередатчик USART1, конфигурируемый в режиме SPI [5, с. 5, 7].

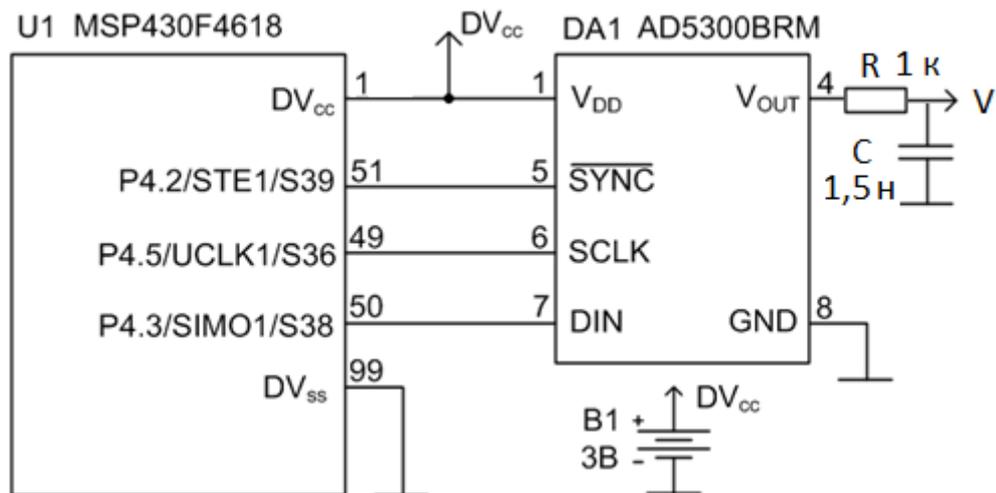


Рисунок 11 – Принципиальная схема устройства

### 4.4 Обработка данных

Для формирования сигнала произвольной формы на выходе ЦАП необходимо инициализировать универсальный синхронно-асинхронный приемопередатчик USART1 в режиме SPI с частотой кадров 500 кГц (в два раза большей граничной частоты  $f_{MAX}$ ) и частотой бит 8 МГц (в 16 раз большей кадровой частоты).

После инициализации USART1 по готовности передатчика из памяти считывается очередной отсчет формируемого сигнала и передается ЦАП через интерфейс SPI. Ожидаемый результат – непериодическая функция сложной формы в выходе  $V$ .

## Список литературы

- [1] ГОСТ 2.105-95. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам. – М.: Изд-во стандартов, 2012. – 26 с.
- [2] ГОСТ 7.1–2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 54 с.
- [3] KernelChip. Датчик температуры KTS-1: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kernelchip.ru/KTS-1.php>. – Дата обращения: 20.09.2012.
- [4] MSP430FG4618/F2013. Experimenter's Board. – Texas Instruments, 2007. – 19 p.
- [5] MSP430x461x. Mixed Signal Microcontroller. – Texas Instruments, 2009. – 95 p.
- [6] MSP430FG4618/F2013 Experimenter's Board. Schematics. – Texas Instruments, 2006. – 1 p.
- [7] AD5300BRM: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://lib.chipdip.ru/149/DOC000149810.pdf> – Дата обращения: 25.09.2015.