МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

РАБОТА С ПЕРИФЕРИЕЙ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ С ЯДРОМ CORTEX-M3 В СРЕДЕ μVision

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве методических указаний для студентов Самарского университета, обучающихся по основным образовательным программам высшего образования по направлениям подготовки 03.03.01 Прикладная математика и физика, 12.03.04 Биотехнические системы и технологии, 12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии

Составители: *И. А. Кудрявцев,*
Д. В. Корнилин,
О. О. Мякинин

Самара
Издательство Самарского университета
2020

УДК 004.382.7(075)
ББК 32.973.26я7

Составители: ***И. А. Кудрявцев, Д. В. Корнилин, О. О. Мякинин***

Рецензент канд. техн. наук М. П. К а л а е в

Работа с периферией микроконтроллеров с ядром Cortex-M3 в среде µVision: методические указания к лабораторной работе / составители: *И. А. Кудрявцев, Д. В. Корнилин, О. О. Мякинин*. – Самара: Издательство Самарского университета, 2020. – 24 с.

В методических указаниях рассмотрены вопросы разработки программ для микроконтроллеров с ядром Cortex-M3 с использованием периферии. Продемонстрированы разработка и основные приемы отладки программ для данного типа микропроцессоров в среде программирования Keil µVision 5. Приведены порядок выполнения лабораторных работ и требования к отчету.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 12.03.04 Биотехнические системы и технологии, 12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии, 03.03.01 Прикладные математика и физика, выполняющих лабораторные работы по дисциплинам «Цифровые устройства и микропроцессоры», «Микропроцессорные средства и системы» и др.

Подготовлены на кафедре лазерных и биотехнических систем.

УДК 004.382.7(075)
ББК 32.973.26я7

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время микроконтроллеры с ядром CORTEX-M3 являются одними из наиболее распространенных в данном сегменте. Большинство ведущих производителей микроконтроллеров имеют в своей продуктовой линейке микросхемы на базе ядра CORTEX-M3. В методических указаниях рассматривается микроконтроллер К1986ВЕ92QI производства российской компании Миландр.

Микроконтроллеры К1986ВЕ92QI [1], помимо ядра CORTEX-M3 [2], способного работать на частоте до 80МГц, обладают значительным объемом FLASH-памяти на кристалле, и большой набор периферийных устройств, включая АЦП, ЦАП, порты ввода-вывода, таймеры и модули различных интерфейсов. Микроконтроллеры снабжены системой внутрисхемного программирования на базе интерфейса JTAG и специальным загрузчиком, позволяющим загружать код программы через асинхронный приемопередатчик. Для разработки ПО используется широко известная среда Keil μVision, использование которой рассматривается в данных методических указаниях.

Большая часть работы посвящена изучению особенностей периферийных устройств микроконтроллера посредством отладочной платы, предоставленной компанией Миландр. Особое внимание уделено особенностям отладки программного обеспечения.

Методические указания позволяют студентам изучить основы разработки и отладки программного обеспечения микроконтроллеров с ядром CORTEX-M3. Указания не претендуют на полноту описания особенностей ядра, равно как и микроконтроллеров К1986ВЕ92QI или среды разработки, приводятся лишь краткие пояснения, необходимые для понимания приведенных фрагментов кода. Методические указания содержат также список дополнительных заданий для самостоятельных экспериментов с микроконтроллером и вопросы для самоконтроля. Перед выполнением данного лабораторного практикума рекомендуется ознакомление с техникой работы со средой программирования, описанной в [3].

1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЦП

Микроконтроллер К1986ВЕ92QI имеет два 12-разрядных АЦП, которые могут обеспечивать оцифровку сигналов с частотой дискретизации до 500kSps. Подробную информацию об АЦП и его конфигурации вы можете найти в [4, 5]. В первом эксперименте изучается режим с обработкой напряжения от внешнего источника. (Потенциометр встроен в отладочную плату). Схема данной отладочной платы приведена в приложении А.

Создайте файл со следующим кодом:

```
#include <MDR32F9Qx_port.h>
#include <MDR32F9Qx_rst_clk.h>
#include <MDR32F9Qx_adc.h>

uint16_t DU;

int main()
{
RST_CLK_PCLKcmd (RST_CLK_PCLK_ADC | RST_CLK_PCLK_PORTD, ENABLE);
PORT_InitTypeDef Nastroyka;
Nastroyka.PORT_Pin = PORT_Pin_7;
Nastroyka.PORT_OE = PORT_OE_IN;
Nastroyka.PORT_MODE = PORT_MODE_ANALOG;
PORT_Init (MDR_PORTD, &Nastroyka);
 ADC_InitTypeDef sADC;
 ADCx_InitTypeDef sADCx;

ADC_DeInit();
ADC_StructInit(&sADC);
sADC.ADC_SynchronousMode= ADC_SyncMode_Independent;
ADCx_StructInit (&sADCx);
sADCx.ADC_ClockSource= ADC_CLOCK_SOURCE_CPU;
sADCx.ADC_SamplingMode= ADC_SAMPLING_MODE_SINGLE_CONV;
sADCx.ADC_ChannelNumber= ADC_CH_ADC7;
sADCx.ADC_Channels= 0;
sADCx.ADC_VRefSource= ADC_VREF_SOURCE_INTERNAL;
sADCx.ADC_IntVRefSource= ADC_INT_VREF_SOURCE_INEXACT;
sADCx.ADC_Prescaler= ADC_CLK_div_None;
```

```
ADC1_Init (&sADCx);
ADC1_Cmd (ENABLE);
while (1)
{
  ADC1_Start();
  while ((ADC1_GetStatus() & ADC_STATUS_FLG_REG_EOCIF) == 0);
  DU = ADC1_GetResult() & 0x0FFF;
  printf("U=0x%03x\r\n",DU);      // for simulation
  }
}
```

Функция printf позволяет отображать необходимые переменные в удобочитаемом формате в соответствии со стандартами языка Си. Соответствующие кодовые блоки, поддерживающие операции ввода/вывода, должны быть включены в код (обратите внимание, что они занимают дополнительное пространство памяти). Чтобы добавить их, нажмите и отметьте блок STDOUT, как показано на рис. 1.

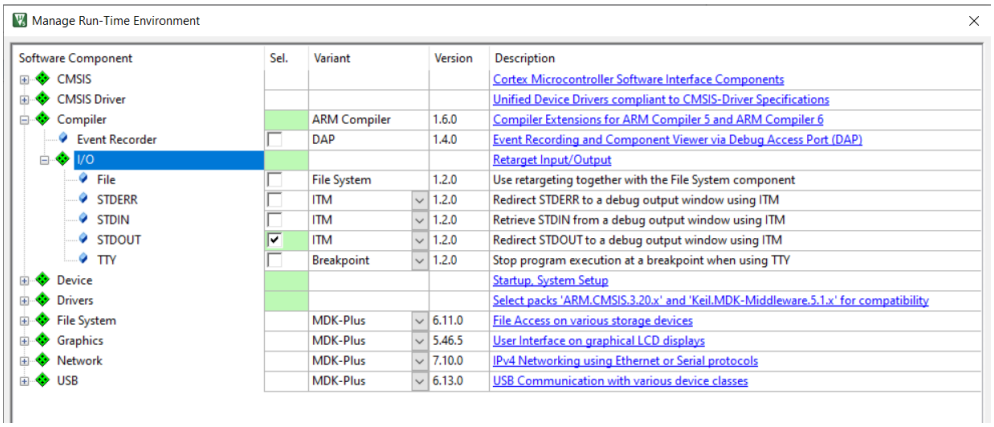


Рис. 1. Конфигурация подсистемы вывода текста

Скомпилируйте и запустите проект в режиме симуляции. Так как возможности моделирования периферийных устройств ограничены, будут необходимы некоторые дополнительные действия. Как видно из приведенного выше исходного кода, программа ожидает завершения преобразования. Для имитации завершения конвертации необходимо установить флаг Flg_REG_EOCIF вручную. Используйте меню Peripherals / System Viewer / MDR_ADC и выберите этот блок, как показано на рис. 2. Введите некоторое значение в окно RESULT (например, 6, как показано на рис. 2).

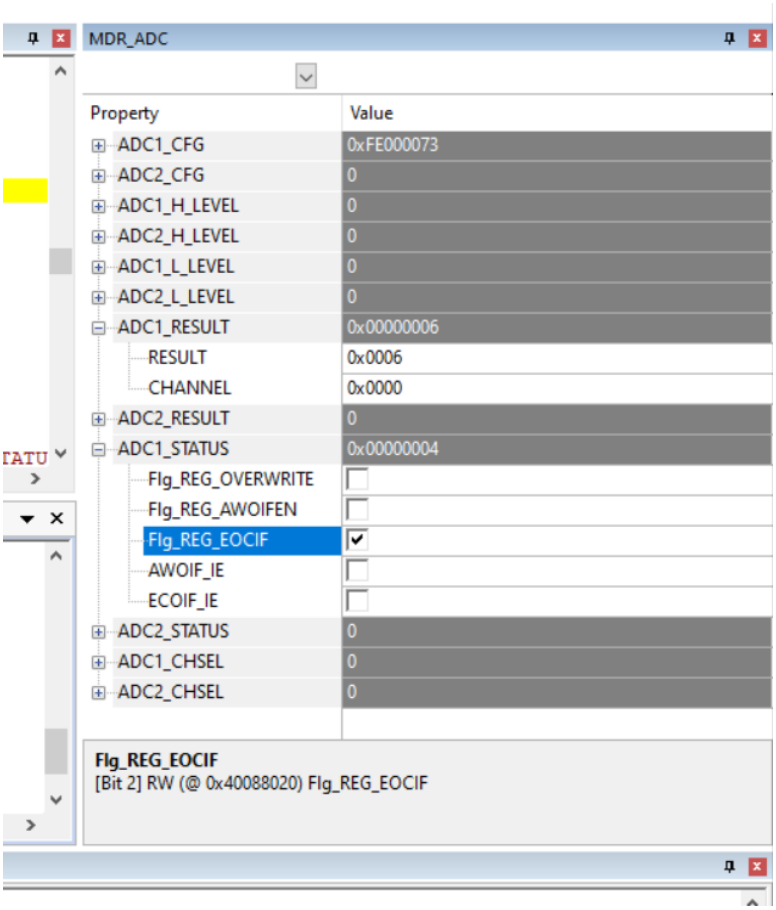


Рис. 2. Имитация завершения преобразования сигнала

Откройте вкладку Debug (printf) в правой нижней части экрана и посмотрите результат преобразования. Если эта вкладка не появилась, откройте ее, используя меню View / Serial Windows / Debug (printf) Viewer. Убедитесь, что наша программа показывает код, который мы вручную вставили в регистр результата АЦП.

Для моделирования сигналов произвольной формы можно использовать механизм файлов сигналов. Создайте с помощью текстового редактора (и сохраните в папке проекта) файл Sin.ini со следующим содержимым:

```
SIGNAL void Sine (void) {
  float volts;              // peak-to-peak voltage
  float frequency;          // output frequency in Hz
  float offset;             // voltage offset
  float val;

  volts     = 1.4;
  offset    = 1.6;
  frequency = 100;
```

```
while(1)
  {
val =__sin(frequency*(((float)STATES)/CLOCK)*2*3.1415926);
_WDWORD(0x40088018,(int)(((val*volts)+offset)*4095/3.3));
twatch (1000);
  }
}
```

Обратите внимание, что функция twatch () всегда должна присутствовать в файлах сигналов. Эта функция генерирует паузу, в которой в качестве аргумента используется количество машинных циклов. Значение паузы не влияет на частоту сигнала, потому что вычисление синуса основано на текущем количестве тактов процессора.

Используя меню Debug / Function Editor (Open Ini File), выберите созданный файл. При необходимости вы можете редактировать этот файл в открывшемся окне. Для активации файла нажмите Compile. В случае ошибок информация о них будет отображаться в поле Compile Errors. Если ошибок нет, вы увидите сообщение «Compilation complete. No errors». Содержимое файла отображается в окне Command. Можете закрыть окно.

Чтобы запустить созданный сценарий, введите Sine () в командной строке и нажмите Enter, как показано на рис. 3. Чтобы остановить сценарий, введите KILL FUNC Sine в командной строке.

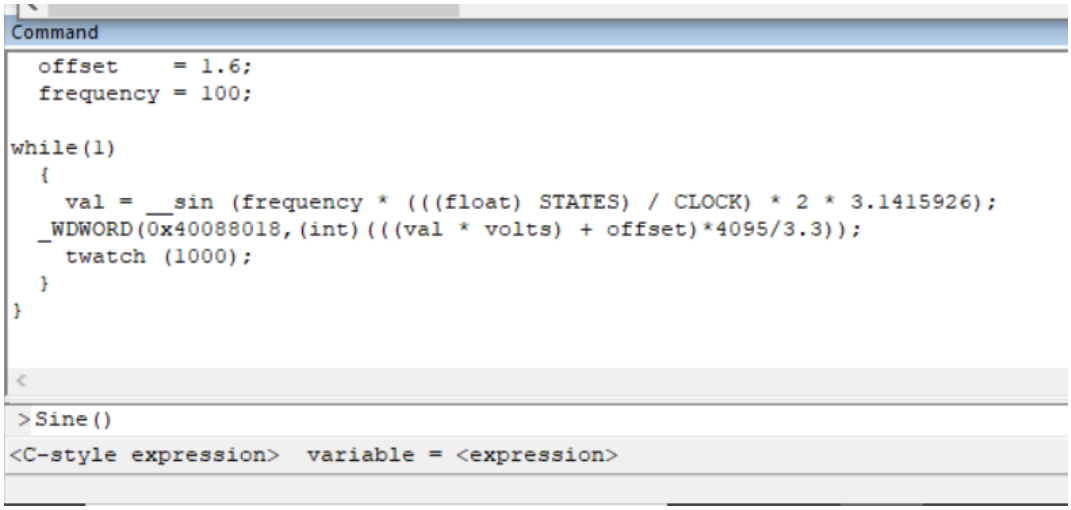


Рис. 3. Запуск скрипта в командной строке

Наблюдать за процессом измерения можно с помощью инструмента Logic Analyzer, который можно активировать, выбрав View / Analysis Windows / Logic Analyzer. В открывшемся окне нажмите Setup и введите имя желаемой переменной, как показано на рис. 4.

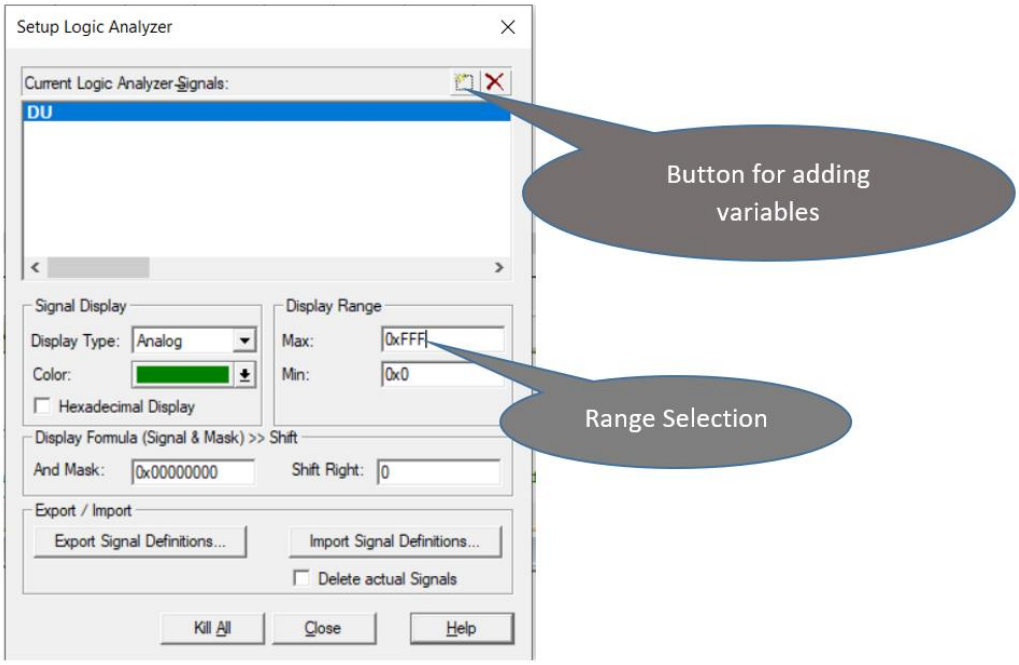


Рис. 4. Окно визуализации

После запуска программы можно наблюдать синусоидальный сигнал, как показано на рис. 5. При необходимости можно настроить параметры дисплея по своему усмотрению.

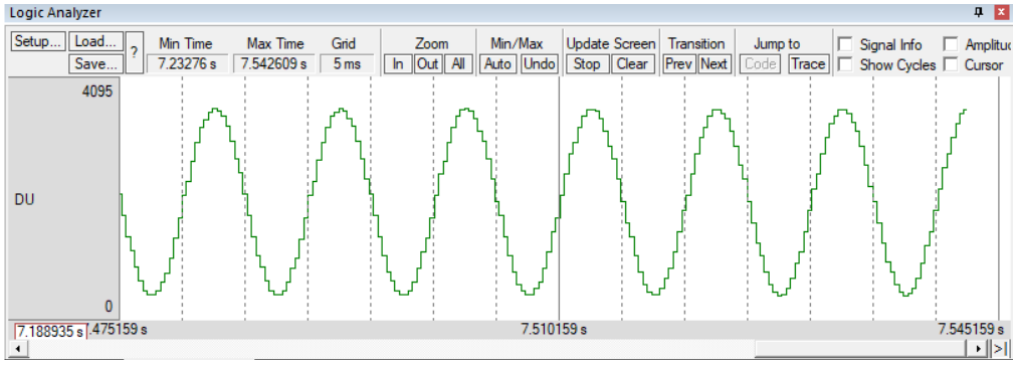


Рис. 5. Визуализация с использованием инструмента Logic Analyzer

Этот подход имеет очевидный недостаток – частота дискретизации зависит от задач, выполняемых ядром процессора, и выбранной тактовой частоты, что может быть неприемлемо для задач анализа сигналов.

Стабильная частота дискретизации, независимая от ядра процессора, может быть получена с помощью таймера. Альтернативным вариантом является установка АЦП с бесконечным преобразованием и применение прямого доступа к памяти (DMA) для сохранения данных в памяти или вывода результатов через некоторый интерфейс.

К сожалению, в режиме аппаратной отладки использование визуализации данных адаптера в логическом анализаторе и окне текстового вывода не поддерживается. Поэтому для дальнейших экспериментов необходимо изучить ЖК-дисплей (LCD), размещенный на плате оценки.

2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖК-ДИСПЛЕЯ

Краткие теоретические сведения о ЖК-дисплее вы можете найти в [6]. Также полезно ознакомиться с документацией для ЖК-дисплея MT–12864J v.1 российской компании «МЭЛТ» [7].

Основные функции, поддерживающие вывод информации на ЖК-дисплей, вы можете найти в папке Generic. Спросите преподавателя о местонахождении этой папки. В окне конфигурации компилятора необходимо указать ссылку на эту папку, как показано на рис. 6. Добавьте файл lcd.c в проект; он находится в той же папке Generic.

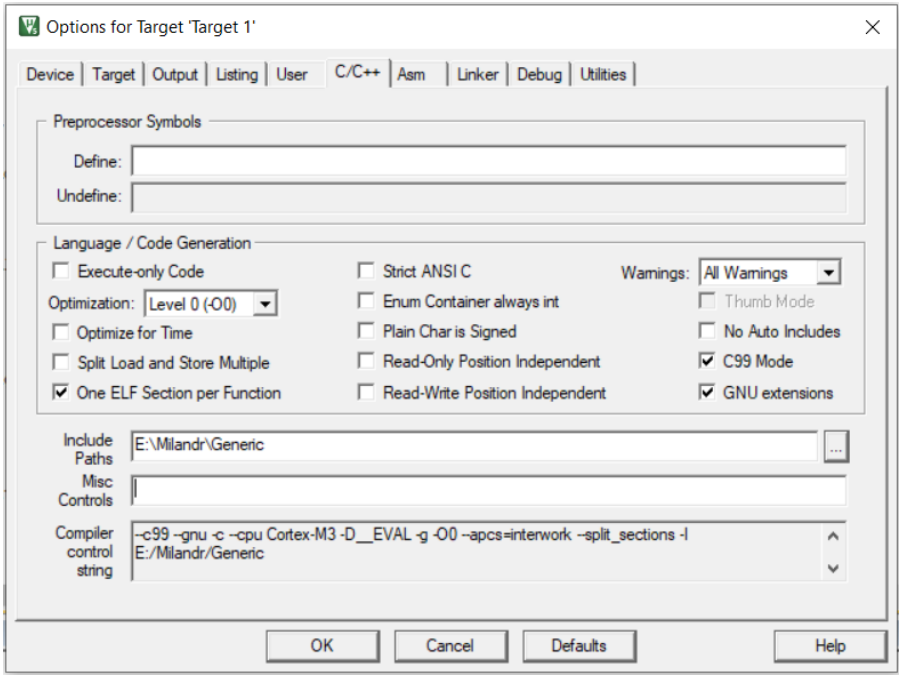


Рис. 6. Ссылка на дополнительные файлы

Инициализация модуля LCD выполняется путем вызова функции LCD_Init(), она должна быть вызвана один раз при запуске программы. Вывод текстовых данных осуществляется с помощью функции LCD_PutString (Buffer, n), где n – номер соответствующей ЖК-страницы.

3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТАЙМЕРА

В этом эксперименте мы будем использовать таймер 1. Для его настройки добавим функцию TimerInit (); в блок инициализации программы и вставим в нашу программу следующий код:

```
void TimerInit()
{
// Indication the type of structure and structure name
TIMER_CntInitTypeDef TIM1Init;
// Enabling of clocking
RST_CLK_PCLKcmd(RST_CLK_PCLK_TIMER1, ENABLE);
// Filling the structure with default values
TIMER_CntStructInit(&TIM1Init);
// Setup of clock frequency divider
TIMER_BRGInit (MDR_TIMER1, TIMER_HCLKdiv1);
// Setup of clock frequency prescaler
TIM1Init.TIMER_Prescaler = 8000;
// Setup the timer period
TIM1Init.TIMER_Period = 200;
// Initialization of a timer port by a declared structure
TIMER_CntInit (MDR_TIMER1, &TIM1Init);
// Run interrupts
NVIC_EnableIRQ (Timer1_IRQn);
// Setup Interrupt Priority
NVIC_SetPriority (Timer1_IRQn, 0);
// Enabling interrupt when value TIMER1 is zero
TIMER_ITConfig(MDR_TIMER1, TIMER_STATUS_CNT_ZERO, ENABLE);
// Run timer
TIMER_Cmd(MDR_TIMER1, ENABLE);
}
```

Эта функция должна быть объявлена в декларативной части программы путем добавления строки «void TimerInit (void);»

Также необходимо добавить обработчик прерывания по таймеру:

```
// Timer Interrupt handler
void Timer1_IRQHandler()
{
if (TIMER_GetITStatus(MDR_TIMER1, TIMER_STATUS_CNT_ZERO))
  TIMER_ClearITPendingBit(MDR_TIMER1, TIMER_STATUS_CNT_ZERO);
ADC1_Start();
while((ADC1_GetStatus() & ADC_STATUS_FLG_REG_EOCIF) == 0);
DU = ADC1_GetResult() & 0x0FFF;
}
```

Этот обработчик использует АЦП в однотактовом режиме, но теперь преобразование начинается в момент запуска выходного сигнала таймера. Чтобы отобразить результаты на ЖК-дисплее, добавьте следующий код в основную программу:

```
while (1)
  {
  sprintf(Buffer,"U=0x%03X",DU);
  LCD_PutString(Buffer,4);
  }
```

Скомпилируйте проект. Перед загрузкой кода на отладочную плату убедитесь, что перемычка XP2 находится в положении TRIM. Осторожно вращая регулировочный винт подстроечного резистора, проверьте измерения напряжения.

Задание: измените формат выходных данных измерения для отображения напряжения в вольтах.

4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЯМОГО ДОСТУПА К ПАМЯТИ

Использование прямого доступа к памяти (DMA) требует настройки контроллера DMA, перемещения данных без использования ядра процессора. Для этого эксперимента мы будем использовать передачу данных из массива памяти в ЦАП. Подробную информацию о работе DMA и ЦАП вы можете найти в [4, 5].

Чтобы продемонстрировать возможности DMA, мы создадим синусоидальную волну, используя ЦАП. Форма сигнала будет иметь параметры, как на рис. 4. Соедините выход ЦАП с входом АЦП для проверки результатов. АЦП преобразует сигнал и записывает данные в файл памяти для дальнейшего анализа.

Исходный код программы размещен в приложении Б. Скопируйте его в проект и скомпилируйте. Код состоит из большой части инициализации, где настраиваются таймер, ЦАП, АЦП и обработчик прерываний. После этого основная программа работает в бесконечном цикле (while (1)). Можно было бы использовать режим низкого энергопотребления, но в этом режиме функции аппаратной отладки не работают, и теряется возможность контролировать работу программы. В автономном режиме этот оператор бесконечного цикла может быть заменен функцией _wfi (), которая позволяет снизить энергопотребление.

К сожалению, доступный аппаратный отладчик и среда Keil μVision имеют некоторые функциональные ограничения. В режиме трассировки использование инструментов визуализации и вывода данных в окне программы, описанном выше, недоступно, некоторые команды отладчика не работают, более того, адаптер не позволяет провести модификацию Flash-памяти, поэтому необходимо использовать специальные приемы. В первой части нашего эксперимента мы будем отлаживать загрузку данных в ОЗУ в режиме симуляции, как описано в [3]. Мы создадим образцы синусоидального сигнала, сгенерированные по специальному сценарию.

Создайте файл-скрипт со следующим кодом:

```
  SIGNAL void Dac (void)
        {
        float val,volts,offset;
        int Sig;
        volts=1.4;
        offset=1.6;
        Sig=0;
        while (Sig<256)
            {
            val = __sin ((float) (Sig * 3.1415926/128.0))*volts +
offset;
```

```
            _WWORD(&Sin_Arr[Sig++],(int16_t)(val*4095/3.3));
            }
            twatch (10);
}
```

Этот скрипт заполняет массив Sin_Arr в памяти 256 выборками синусоидального сигнала с параметрами, как на рис. 2. Запустите скрипт и убедитесь, что массив памяти заполнен соответствующими выборками. После этого, используя команду SAVE, сохраните дамп памяти в файл. Определите начальный адрес массива Sin_Arr (можно ввести имя массива в командной строке в качестве команды) и выполните следующую команду:

```
SAVE < file name with extension> start address of array, end address of array
```

Исследуйте работу программы в режиме имитации прерываний и АЦП.

Теперь давайте перейдем ко второй части нашего эксперимента с аппаратной отладкой. Важно, чтобы расположение данных было таким же, как и в первой части эксперимента, то есть конфигурация свойств проекта не должна изменяться (окно с настройкой тактовой частоты и объема памяти).

Перед загрузкой программы на оценочную плату необходимо установить перемычки XP2 и XP4 в положение EXT_CON. Используя провод, соедините (спросите преподавателя) центральные части разъемов XS1 (ADC) и XS8 (DAC_OUT), как показано на рис. 7.

Внимание! Все соединения и коммутация перемычек должны выполняться перед подключением платы к адаптеру питания.

Рис. 7. Подключение ЦАП и АЦП

Включите питание и загрузите программу. Поставьте точку останова на функцию TimerInit(). Когда программа остановится, введите команду (в командной строке):

```
LOAD <name of earlier saved file with extension >
```

Эта команда должна принудительно загрузить подготовленные образцы в массив данных в ОЗУ. Проверьте наличие данных и запустите программу. Вы можете увидеть динамические изменения массива Rez в окне памяти. Следует отметить, что в режиме отладки работа АЦП иногда останавливается (когда сигнал готовности не выдается или пропускается). В результате программа блокируется в цикле while ((ADC1_GetStatus () & ADC_STATUS_FLG_REG_EOCIF) == 0); в обработчике прерывания по таймеру (Tim-er2_IRQHandler ()). Это не происходит в автономном режиме.

Остановите микроконтроллер (меню Debug/Stop) и проанализируйте данные в массиве Rez. Определите амплитуду и смещение сигнала и сравните с данными в скрипте.

Использованный прием с загрузкой данных из файла в оперативную память возможен только в режиме отладки, однако он позволяет использовать мощный механизм скриптов. Для выполнения описанной программы в автономном режиме необходимо сохранить массив данных в энергонезависимой памяти или скопировать данные в массив, помещенный в ОЗУ во время инициализации. В этом случае можно достичь лучшей производительности. Можно записывать данные в энергонезависимую память с использованием языка Си, объявив массив с ключевым словом const и инициализировав его.

```
Const Array[]={N1,N2,N3…};
```

Компилятор должен автоматически поместить этот массив в энергонезависимую память. В приложении В представлен массив данных, идентичных сгенерированным скриптом. Иногда имеет смысл поместить некоторые данные по фиксированному адресу. Это может быть сделано с помощью следующего приема:

```
int16_t Arr[256] __attribute__((section(".ARM.__at_0x08001000")));
```

5. ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ

1. Чтобы сэкономить память, измените программу генерации синусоидальной волны таким образом, чтобы она использовала только четверть массива данных, указанного в приложении В.

2. Перепишите программу таким образом, чтобы использовать DMA для сохранения результата преобразования АЦП в ОЗУ (вместо прямого запуска АЦП в обработчике прерывания по таймеру).

3. Напишите программу, отображающую результаты аналого-цифрового преобразования в графическом режиме на ЖК-дисплее отладочной платы.

4. Напишите программу с использованием часов реального времени с отображением времени на ЖК-дисплее.

5. Напишите программу, с помощью которой можно нарисовать линию (цепочку точек) на ЖК-дисплее, используя кнопки на отладочной плате.

6. Напишите программу, передающую информацию (количество нажатий кнопок) через интерфейс CAN.

7. Напишите программу контроля передачи данных по интерфейсу CAN (CAN-линии) и отображения полученных данных (содержимого пакета) на ЖК-дисплее.

8. Напишите программу, считывающую идентификационную информацию микроконтроллера и отображающую ее на дисплее при нажатии кнопки SB4.

9. Напишите программу для отображения на ЖК-дисплее времени (с разрешением до 10мс), прошедшего с момента нажатия клавиши «Старт» при нажатии кнопки «Стоп».

10. Напишите программу измерения нестабильности встроенного тактового генератора с использованием реальных часов и отображением на ЖК-дисплее.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. К1986ВЕ92QI // Официальный сайт компании Миландр. URL: https://ic.milandr.ru/products/mikrokontrollery_i_protsessory/k1986ve92qi/ (дата обращения: 15.10.2019).

2. Cortex-M3 Devices Generic User Guide // Официальный сайт ARM. URL: http://infocenter.arm.com/help/index.jsp?topic=/com.arm.doc.dui0552a/index.html (дата обращения: 15.10.2019).

3. Разработка и отладка программ для микроконтроллеров с ядром Cortex-M3 в среде μVision: методические указания / И.А. Кудрявцев, Д.В. Корнилин, О.О. Мякинин. Самара: Издательство Самарского университета, 2020. 23 с.

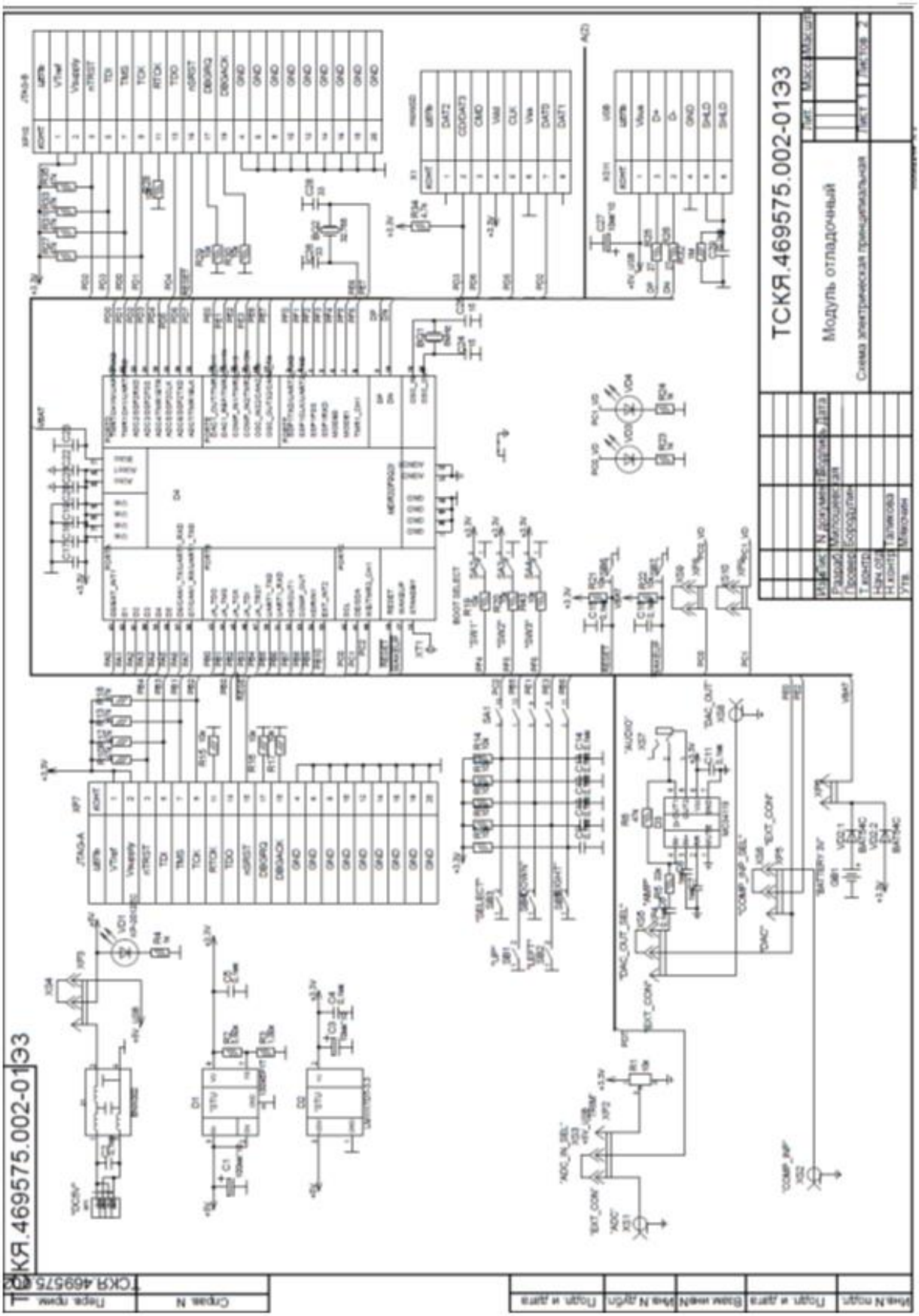
4. Спецификация микросхем серии 1986ВЕ9xy, К1986ВЕ9xy, К1986ВЕ9xyК, К1986ВЕ92QI, К1986ВЕ92QC, 1986ВЕ91Н4, К1986ВЕ91Н4, 1986ВЕ94Н4, К1986ВЕ94Н4. М.: Миландр, 2015. 521 с.

5. Благодаров А.В., Владимиров Л.Л. Программирование микроконтроллеров на основе отечественных микросхем семейства 1986ВЕ9x разработки и производства компании «Миландр». М.: Миландр, 2016. 242 с.

6. Евдокимов А.П., Владимиров Л.Л. Программирование микроконтроллера К1986ВЕ92QI компании «Миландр». Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2018. 76 с.

7. LCD display module MT–12864J. URL: http://www.melt.com.ru/docs/MT-12864J_en.pdf (дата обращения: 15.10.2019).

Приложение А. ОТЛАДОЧНЫЙ МОДУЛЬ



Приложение Б. ИСХОДНЫЙ КОД ПРОГРАММЫ, ДЕМОНСТРИРУЮЩИЙ ВОЗМОЖНОСТИ DMA

```
  #include <MDR32F9Qx_port.h>
  #include <MDR32F9Qx_rst_clk.h>
  #include <MDR32F9Qx_adc.h>
  #include <MDR32F9Qx_dac.h>
  #include <MDR32F9Qx_dma.h>
  #include <MDR32F9Qx_timer.h>

  void TimerInit(void);
  void Timer2Init(void);
  void DMA_Config(void);
  void ADC_Config(void);

  DMA_CtrlDataInitTypeDef DMA_InitStructure;
  DMA_ChannelInitTypeDef DMA_Channel_InitStructure;
  ADC_InitTypeDef sADC;
  ADCx_InitTypeDef sADCx;

  int16_t Sin_Arr[256],Rez[256];
  int Index;

  int main()
  {
        RST_CLK_PCLKcmd (RST_CLK_PCLK_ADC | RST_CLK_PCLK_DAC |
RST_CLK_PCLK_PORTE | RST_CLK_PCLK_PORTD | RST_CLK_PCLK_DMA |
RST_CLK_PCLK_SSP1 | RST_CLK_PCLK_SSP2, ENABLE);
        PORT_InitTypeDef Nastroyka;
  // Setup of DAC output
  Nastroyka.PORT_Pin = PORT_Pin_0;
  Nastroyka.PORT_OE = PORT_OE_OUT;
  Nastroyka.PORT_MODE = PORT_MODE_ANALOG;
  PORT_Init (MDR_PORTE, &Nastroyka);
  // Setup of ADC output
  Nastroyka.PORT_Pin = PORT_Pin_7;
  Nastroyka.PORT_OE = PORT_OE_IN;
  Nastroyka.PORT_MODE = PORT_MODE_ANALOG;
  PORT_Init (MDR_PORTD, &Nastroyka);
  DMA_Config(); //DMA setup
  ADC_Config(); //ADC setup

  //DAC setup
```

```
DAC_DeInit();
DAC2_Init(DAC2_AVCC);
DAC2_Cmd (ENABLE);
ADC1_Cmd (ENABLE);
Index=0;
TimerInit(); //Setup timer for work with DMA
Timer2Init();  // Setup timer 2 for work with ADC

  while(1);
}
void DMA_IRQHandler (void)
{
// Prepare a new cycle of digital-to-analog conversion
DMA_InitStructure.DMA_CycleSize = 256;
DMA_Init (DMA_Channel_TIM1, &DMA_Channel_InitStructure);
}

void TimerInit()
{
// Indication the type of structure and structure name
TIMER_CntInitTypeDef TIM1Init;
// Enabling of clocking
RST_CLK_PCLKcmd(RST_CLK_PCLK_TIMER1, ENABLE);
// Filling the structure with default values
TIMER_CntStructInit(&TIM1Init);
// Setup of clock divider
TIMER_BRGInit (MDR_TIMER1, TIMER_HCLKdiv1);
// Setup of clock frequency prescaler
TIM1Init.TIMER_Prescaler = 0;
// Setup the timer period
TIM1Init.TIMER_Period = 100;
// Initialization of a timer port by a declared structure
TIMER_CntInit (MDR_TIMER1, &TIM1Init);
TIMER_DMACmd (MDR_TIMER1, TIMER_STATUS_CNT_ARR, ENABLE);
// Run timer
TIMER_Cmd(MDR_TIMER1, ENABLE);
}

void Timer2Init()
{
// Indication type of structure and structure name
TIMER_CntInitTypeDef TIM2Init;
// Enabling of clock
```

```
RST_CLK_PCLKcmd(RST_CLK_PCLK_TIMER2, ENABLE);
// Filling the structure with default values
TIMER_CntStructInit(&TIM2Init);
// Set of clock divider
TIMER_BRGInit (MDR_TIMER2, TIMER_HCLKdiv1);
// Setup of clock frequency prescaler
TIM2Init.TIMER_Prescaler = 0;
// Setup the timer period
TIM2Init.TIMER_Period = 200;
// Initialization of a timer port by a declared structure
TIMER_CntInit (MDR_TIMER2, &TIM2Init);
// Enabling interrupt
NVIC_EnableIRQ (Timer2_IRQn);
// Setup Interrupt Priority
NVIC_SetPriority (Timer2_IRQn, 1);
// Enabling interrupt when value TIMER1 is zero
TIMER_ITConfig(MDR_TIMER2, TIMER_STATUS_CNT_ZERO, ENABLE);
// Run timer
TIMER_Cmd(MDR_TIMER2, ENABLE);
}

// Timer Interrupt Handling Procedure
void Timer2_IRQHandler()
{
if    (TIMER_GetITStatus(MDR_TIMER2,    TIMER_STATUS_CNT_ZERO))
TIMER_ClearITPendingBit(MDR_TIMER2, TIMER_STATUS_CNT_ZERO);
ADC1_Start();
while((ADC1_GetStatus() & ADC_STATUS_FLG_REG_EOCIF) == 0);
Rez[Index++] = ADC1_GetResult() & 0x0FFF;
if(Index>=256) Index=0;
}

void DMA_Config()
{
NVIC->ICPR[0] = 0xFFFFFFFF;
NVIC->ICER[0] = 0xFFFFFFFF;
DMA_DeInit();
DMA_StructInit (&DMA_Channel_InitStructure);
DMA_InitStructure.DMA_DestBaseAddr = (uint32_t)
(&(MDR_DAC->DAC2_DATA));
DMA_InitStructure.DMA_SourceBaseAddr = (uint32_t) Sin_Arr;
DMA_InitStructure.DMA_CycleSize = 256;
DMA_InitStructure.DMA_DestIncSize = DMA_DestIncNo;
```

```
  DMA_InitStructure.DMA_SourceIncSize = DMA_SourceIncHalfword;
  DMA_InitStructure.DMA_MemoryDataSize                              =
DMA_MemoryDataSize_HalfWord;
  DMA_InitStructure.DMA_NumContinuous = DMA_Transfers_1024;
  DMA_InitStructure.DMA_SourceProtCtrl = DMA_SourcePrivileged;
  DMA_InitStructure.DMA_DestProtCtrl = DMA_DestPrivileged;
  DMA_InitStructure.DMA_Mode = DMA_Mode_Basic;
  DMA_Channel_InitStructure.DMA_PriCtrlData                         =
&DMA_InitStructure;
  DMA_Channel_InitStructure.DMA_SelectDataStructure                 =
DMA_CTRL_DATA_PRIMARY;
  DMA_Channel_InitStructure.DMA_Priority = DMA_Priority_Default;
  DMA_Channel_InitStructure.DMA_UseBurst = DMA_BurstClear;
  DMA_Init (DMA_Channel_TIM1, &DMA_Channel_InitStructure);
  MDR_DMA->CHNL_REQ_MASK_CLR = 1 << DMA_Channel_TIM1;
  MDR_DMA->CHNL_USEBURST_CLR = 1 << DMA_Channel_TIM1;
  DMA_Cmd (DMA_Channel_TIM1, ENABLE);
  NVIC_SetPriority (DMA_IRQn, 0);
  NVIC_EnableIRQ (DMA_IRQn);
  }

  void ADC_Config()
  {
  ADC_DeInit();
  ADC_StructInit(&sADC);
  sADC.ADC_SynchronousMode= ADC_SyncMode_Independent;
  sADC.ADC_StartDelay = 15;
  ADC_Init (&sADC);
  /* ADC1 Configuration */
  ADCx_StructInit (&sADCx);
  sADCx.ADC_ClockSource= ADC_CLOCK_SOURCE_CPU;
  sADCx.ADC_SamplingMode= ADC_SAMPLING_MODE_SINGLE_CONV;
  sADCx.ADC_ChannelNumber= ADC_CH_ADC7;
  sADCx.ADC_Channels= 0;
  sADCx.ADC_VRefSource= ADC_VREF_SOURCE_INTERNAL;
  sADCx.ADC_IntVRefSource= ADC_INT_VREF_SOURCE_INEXACT;
  sADCx.ADC_Prescaler= ADC_CLK_div_None;
  sADCx.ADC_DelayGo = 7;
  ADC1_Init (&sADCx);
  }
```

Приложение В.
МАССИВ ВЫБОРОК СИНУСОИДАЛЬНОГО СИГНАЛА

```
const int16_t Array[] =
{0x7C1,0x7EC,0x816,0x841,0x86B,0x896,0x8C0,0x8EA,0x914,0x93E,0
x967,0x990,0x9B9,0x9E2,0xA0A,0xA32,0xA5A,0xA81,0xAA8,0xACE,0xAF4
,0xB19,0xB3E,0xB62,0xB86,0xBA9,0xBCC,0xBEE,0xC0F,0xC30,0xC50,0xC
6F,0xC8D,0xCAB,0xCC8,0xCE4,0xD00,0xD1B,0xD34,0xD4D,0xD65,0xD7D,0
xD93,0xDA9,0xDBD,0xDD1,0xDE3,0xDF5,0xE06,0xE16,0xE25,0xE33,0xE3F
,0xE4B,0xE56,0xE60,0xE69,0xE71,0xE77,0xE7D,0xE82,0xE86,0xE88,0xE
8A,0xE8A,0xE8A,0xE88,0xE86,0xE82,0xE7D,0xE77,0xE71,0xE69,0xE60,0
xE56,0xE4B,0xE3F,0xE33,0xE25,0xE16,0xE06,0xDF5,0xDE3,0xDD1,0xDBD
,0xDA9,0xD93,0xD7D,0xD65,0xD4D,0xD34,0xD1B,0xD00,0xCE4,0xCC8,0xC
AB,0xC8D,0xC6F,0xC50,0xC30,0xC0F,0xBEE,0xBCC,0xBA9,0xB86,0xB62,0
xB3E,0xB19,0xAF4,0xACE,0xAA8,0xA81,0xA5A,0xA32,0xA0A,0x9E2,0x9B9
,0x990,0x967,0x93E,0x914,0x8EA,0x8C0,0x896,0x86B,0x841,0x816,0x7
EC,0x7C1,0x796,0x76C,0x741,0x717,0x6EC,0x6C2,0x698,0x66E,0x644,0
x61B,0x5F2,0x5C9,0x5A0,0x578,0x550,0x528,0x501,0x4DA,0x4B4,0x48E
,0x469,0x444,0x420,0x3FC,0x3D9,0x3B6,0x394,0x373,0x352,0x332,0x3
13,0x2F5,0x2D7,0x2BA,0x29D,0x282,0x267,0x24E,0x235,0x21C,0x205,0
x1EF,0x1D9,0x1C5,0x1B1,0x19E,0x18D,0x17C,0x16C,0x15D,0x14F,0x142
,0x137,0x12C,0x122,0x119,0x111,0x10A,0x105,0x100,0x0FC,0x0FA,0x0
F8,0x0F8,0x0F8,0x0FA,0x0FC,0x100,0x105,0x10A,0x111,0x119,0x122,0
x12C,0x137,0x142,0x14F,0x15D,0x16C,0x17C,0x18D,0x19E,0x1B1,0x1C5
,0x1D9,0x1EF,0x205,0x21C,0x235,0x24E,0x267,0x282,0x29D,0x2BA,0x2
D7,0x2F5,0x313,0x332,0x352,0x373,0x394,0x3B6,0x3D9,0x3FC,0x420,0
x444,0x469,0x48E,0x4B4,0x4DA,0x501,0x528,0x550,0x578,0x5A0,0x5C9
,0x5F2,0x61B,0x644,0x66E,0x698,0x6C2,0x6EC,0x717,0x741,0x76C,0x7
96};
```

Методические материалы

РАБОТА С ПЕРИФЕРИЕЙ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ С ЯДРОМ CORTEX-M3 В СРЕДЕ µVision

Методические указания к лабораторной работе

Составители: ***Кудрявцев Илья Александрович,***
Корнилин Дмитрий Владимирович,
Мякинин Олег Олегович

Редактор А.В. Ярославцева
Компьютерная верстка А.В. Ярославцевой

Подписано в печать 30.12.2020. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печ. л. 1,5.
Тираж 25 экз. Заказ . Арт. – 27(Р3М)/2020.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

Издательство Самарского университета.
443086, Самара, Московское шоссе, 34.