

# Сопряжение микроконтроллера K1986BE91T с цифровыми потенциометрами серии 1315ПТ

Андрей Шаронов, Валерий Володин (г. Пермь)

В настоящей статье описывается опыт работы с отечественными потенциометрами серии 1315ПТ, а также приведены методики подключения потенциометров к микроконтроллеру K1986BE91T компании АО «ПКК Миландр». Рассмотрены схемотехнические решения, позволяющие расширить некоторые возможности потенциометра. Кроме того, в статье описываются функции, реализующие управление потенциометрами с помощью синхронного последовательного порта микроконтроллера K1986BE91T.

Одной из интересных разработок современной микроэлектроники является цифровой потенциометр. Данная микросхема представляет собой переменный резистор, сопротивление которого изменяется в зависимости от записанных в память значений. Такое устройство находит достаточно широкое применение в различных электронных устройствах. В случае, когда требуется разработка устройства на отечественной элементной базе, такой потенциометр также может заменить и ЦАП (цифроаналоговые преобразователи с последовательным интерфейсом отечественного производства авторам статьи неизвестны). В настоящей статье авторы делятся опытом сопряжения потенциометра 1315ПТ24Т с микроконтроллером K1986BE91T компании АО «ПКК Миландр». Кроме того, рассматриваются решения, позволяющие расширить некоторые параметры потенциометра. В частности, увеличение напряжения, которое можно регули-

ровать потенциометром. В дополнительных материалах к статье, которые выложены на сайте журнала, прилагается текст программы для управления двумя потенциометрами, соединёнными последовательно.

## Принцип действия цифрового потенциометра

Общая структурная схема цифрового потенциометра показана на рисунке 1. Как и большинство устройств, цифровой потенциометр имеет коммуникационный интерфейс (I<sup>2</sup>C или интерфейс, совместимый с SPI) и буфер принятых данных, а также цифроаналоговый преобразователь, управляющий средним выводом потенциометра, который обычно называется RDAC. Также, в случае если потенциометр многоканальный, возможно наличие дешифратора канала.

RDAC (ЦАП цифрового потенциометра) представляет собой резистивный делитель из набора резисторов

одинакового сопротивления (например, у 8-разрядного потенциометра таких резисторов 255). Средний вывод потенциометра с помощью управляемых дешифратором ключей подключается к той или иной точке делителя, как это показано на рисунке 2 (A и B – плечи потенциометра, W – подвижный контакт, переключатель управляется дешифратором). Таким образом, задаются сопротивления двух плеч потенциометра.

В статье «Когда не помогает ЦАП. Цифровые потенциометры в деталях» [1] приводятся формулы для расчёта сопротивлений плеч потенциометра:

$$R_{WB} = \frac{D}{2^n} R_{AB} + 2R_W,$$

$$R_{WA} = \frac{2^n - D}{2^n} R_{AB} + 2R_W,$$

где D – число, загружаемое в потенциометр в двоичном коде, n – разрядность цифрового потенциометра, R<sub>WA</sub> и R<sub>WB</sub> – сопротивления плеч потенциометра, R<sub>AB</sub> – номинальное сопротивление потенциометра, R<sub>W</sub> – сопротивление одного резистора RDAC.

Как видно из описания, с помощью цифрового потенциометра можно осуществлять регулировку различных параметров, например, громкость усилителя или коэффициент его усиления, реализовывать управляемый от микропроцессора регулятор напряжения и так далее. Однако

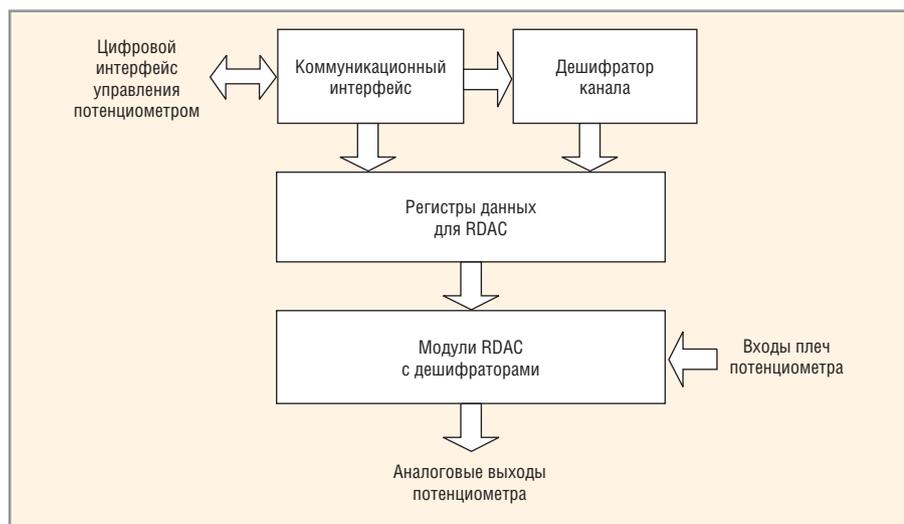


Рис. 1. Структурная схема цифрового потенциометра

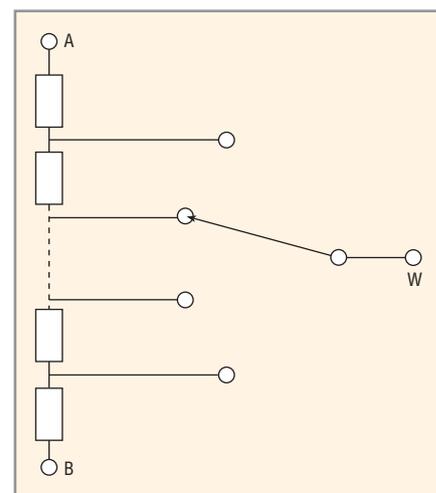


Рис. 2. Структурная схема аналоговой части потенциометра

цифровой потенциометр, как цифровая интегральная микросхема, имеет определённые ограничения: в отличие от традиционного переменного резистора, сопротивление цифрового потенциометра изменяется дискретно и может быть выставлено с точностью, определяемой разрядностью RDAC. Кроме того, так как резисторы RDAC выполнены по полупроводниковой технологии, существует ограничение по напряжению, которое можно прикладывать к крайним выводам потенциометра, что также ограничивает область его использования. Существуют модели цифровых потенциометров, способных выдерживать напряжение до 36 В, например, AD5293 [2], но широко распространённые решения типа AD8400 [3], а также отечественные потенциометры серии 1315ПТ [4] и 1272ПНхТ [5] имеют ограничение максимального напряжения 5 В.

### ЦИФРОВЫЕ ПОТЕНЦИОМЕТРЫ СЕРИИ 1315ПТ

Разработанная ОАО «Интеграл» серия потенциометров 1315ПТ явля-

Таблица 1. Соответствие потенциометров серии 1315ПТ микросхемам серии AD840x

Микросхема ОАО «Интеграл»	Зарубежный аналог	Номинальное сопротивление, кОм	Количество каналов
1315ПТ11Т	AD8400xx1	1	1
1315ПТ21Т	AD8400xx10	10	
1315ПТ31Т	AD8400xx50	50	
1315ПТ41Т	AD8400xx100	100	2
1315ПТ12Т	AD8402xx1	1	
1315ПТ22Т	AD8402xx10	10	
1315ПТ32Т	AD8402xx50	50	
1315ПТ42Т	AD8402xx100	100	4
1315ПТ14Т	AD8403xx1	1	
1315ПТ24Т	AD8403xx10	10	
1315ПТ34Т	AD8403xx50	50	
1315ПТ44Т	AD8403xx100	100	

Таблица 2. Структура кадра, передаваемого потенциометру

Бит	Обозначение	Описание
0	A1	Старший бит адреса
1	A0	Младший бит адреса
2...11	D7...D0	Байт данных, записываемых в RDAC

ется серией функциональных аналогов микросхем AD840x компании Analog Devices. Присутствуют аналоги всех микросхем (см. табл. 1). Микросхемы, с точки зрения схемотехники и взаимодействия с внешними устройствами, не отличаются от зарубежных аналогов и имеют приёмку «5», что делает их использование разумным.

Интерфейс взаимодействия близок к SPI. Диаграмма записи данных в потенциометр показана на странице 321 технической спецификации серии 1315ПТ [4]. Запись данных в буферный регистр производится во время перехода напряжения на выводе CS из состояния логического нуля в состояние логической единицы. Структура кадра, передаваемого потенциометру, показана в таблице 2.

[www.jtag-technologies.ru](http://www.jtag-technologies.ru)

**JTAG**  
TECHNOLOGIES®

**Пугает стоимость оборудования для тестирования?**

**Периферийное сканирование – антикризисный тестовый метод**

Новая линейка цифро-аналоговых тестеров от JTAG Technologies в комплексе с JTAG ProVision позволяет организовать полноценную станцию тестирования.

Реклама

Представительство JTAG Technologies в России  
Телефон: (812) 313-9159  
E-mail: [russia@jtag.com](mailto:russia@jtag.com)

Эксклюзивный дистрибьютор: ООО Предприятие Остек  
Телефон: (495) 788-4444  
E-mail: [info@ostec-group.ru](mailto:info@ostec-group.ru)

Таблица 3. Соответствие битов адреса и каналов потенциометра

Старший бит адреса (A1)	Младший бит адреса (A0)	Канал потенциометра	Примечания
0	0	1	Присутствует во всех микросхемах серии 1315ПТ
0	1	2	Отсутствует в микросхемах 1315ПТх1Т
1	0	3	Присутствуют только в микросхемах 1315ПТх4Т
1	1	4	

Таблица 4. Подключение потенциометра 1315ПТ к выводам микроконтроллера

№	Вывод потенциометра	Вывод микроконтроллера	Выполняемая функция
1	SDI	SSPx_TXD	Передача данных в потенциометр
2	CLK	SSPx_CLK	Тактовые импульсы
3	CS	SSPx_FFS	Выбор микросхемы и сигнал записи принятых данных в регистр памяти (переход сигнала из логического нуля в логическую единицу)

**Листинг 1**

```
void SPI_init (void)
{
    //Настройка портов, к которым подключён потенциометр PF12, PF13,
    PF15
    MDR_RST_CLK->PER_CLOCK      |= (1<<29);
    MDR_PORTF->ANALOG          |= 0xB000;
    MDR_PORTF->OE              |= 0xB000;
    //Настройка выводов PF12, PF13 и PF15 на режим выводов SPP

    MDR_PORTF->FUNC            |= 0xCF000000;
    MDR_PORTF->PWR             |= 0xCF000000;
    //Настройка контроллера интерфейса SSP2
    //Разрешение тактирования модуля SSP2
    MDR_RST_CLK->PER_CLOCK      |= (1<<20);
    MDR_RST_CLK->SSP_CLOCK      |= (1<<25);
    //Настройка предделителей
    MDR_RST_CLK->SSP_CLOCK      |= 0x00F0;
    MDR_SSP2->CPSR              = 250;

    //Настройка режима порта SSP2: интерфейс Motorola SPI, SPH=0, SPO=0,
    //разрядность слова - 10 бит
    MDR_SSP2->CR0              = 0x0009;
    //Режим ведущего (Master mode)
    MDR_SSP2->CR1              = 0;
    //Разрешение работы интерфейса
    MDR_SSP2->CR1              |= (1<<1);
}
```

**Листинг 2**

```
void SPI_send (unsigned short* data, unsigned char n)
{
    unsigned char t=0;
    for (t=0; t<n; t++)
    {
        MDR_SSP2->DR=data[t];
        while (MDR_SSP2->SR &0x10);
    }
}
```

Кадр содержит адрес, определяющий канал, сопротивление которого будет изменено этим кадром, и данных, которые будут записаны в ре-

гистр RDAC выбранного канала. Соответствие битов адреса и каналов потенциометра показано в таблице 3.

**СОПРЯЖЕНИЕ ПОТЕНЦИОМЕТРА С МИКРОКОНТРОЛЛЕРОМ**

Так как интерфейс управления потенциометром близок к SPI, решено было подключить микросхему к выводам SSP (синхронного последовательного порта) микроконтроллера (см. табл. 4).

Контроллер интерфейса SSP был настроен так, как показано в листинге 1.

Кадр для отправки формировался из двух частей – адреса канала и загружаемого значения, например:

```
data[2] = (0xC8 | 0x0100);
```

В данном случае 0xC8 является значением для записи в канал, а 0x0100 – адрес второго канала.

Для передачи данных достаточно записать кадр в регистр данных приёмопередатчика и дождаться сброса флага активности модуля (флаг BSY регистра MSD\_SSPx->SR). Пример функции отправки массива из n-элементов показан в листинге 2.

В практической разработке авторам статьи понадобилось организовать управление по пяти каналам. Поэтому одной микросхемы было явно недостаточно. Интерфейс предполагал два варианта подключения нескольких микросхем: параллельно и последовательно. Для уменьшения количества задействованных выводов микроконтроллера было применено последовательное подключение двух микросхем 1315ПТ24Т (см. рис. 3).

Для обеспечения возможности записи в обе микросхемы была немного доработана программа: сигнал CS удерживается в состоянии логического нуля до тех пор, пока не будут отправлены данные сразу для двух микросхем. При этом управление выводом CS осуществляется программой.

Новая функция отправки данных показана в листинге 3. Массив для отправки формируется следующим образом: в нечётные элементы массива пишутся данные для первой микросхемы потенциометра, а в чётные – для второй.

При инициализации для вывода PF12 функция вывода порта SSP не настраивается.

**УВЕЛИЧЕНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

Как уже упоминалось, напряжение, прикладываемое к плечам потенциометров серии 1315ПТ, не должно превышать 5 В, что ограничивает область применения данного потенциометра. Для формирования напряжений 2,5...7,5 В к выходу потенциометра был

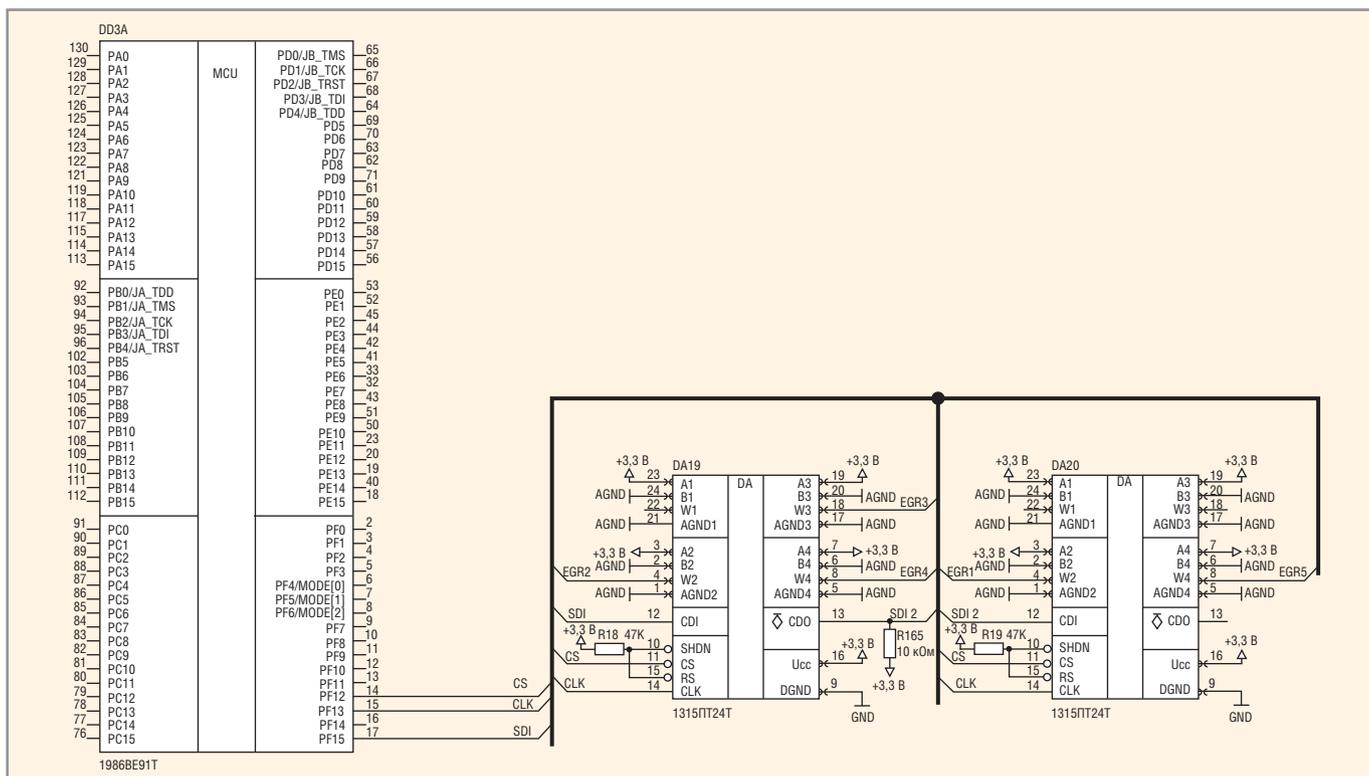


Рис. 3. Фрагмент схемы, иллюстрирующий подключение двух микросхем 1315PT24T к микроконтроллеру

подключён усилитель, схема которого показана на рисунке 4.

Введение данной схемы позволило формировать управляющие сигналы для гидрораспределителя Bosch Rexroth.

Такая схема является частным решением, но в определённых случаях может быть достаточно полезна.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные схемотехнические и программные решения были использованы для построения системы управления крано-манипуляторной установкой. Система управления оказалась вполне работоспособной, однако плата итогового устройства получилась достаточно массивной и насыщенной элементами. К сожалению, современное состояние отечественной элементной базы практически не позволяет сделать устройство подобного рода более компактным. Появление новых отечественных цифровых потенциометров с более высокой разрядностью и способных выдерживать более высокое напряжение, приложенное к клеммам, позволит упростить схемотехнику и уменьшить габариты печатной платы, а также всего устройства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Когда не помогает ЦАП. Цифровые потенциометры в деталях. Часть 1. [www.habrahabr.ru/post/260233](http://www.habrahabr.ru/post/260233).

## Листинг 3

```
void SPI_send (unsigned short* data, unsigned char n)
{
    unsigned char t=0;
    for (t=0; t<(n/2); t++)
    {
        MDR_PORTF->RXTX    &=~0x1000;
        MDR_SSP2->DR=data[2*t];
        while (MDR_SSP2->SR &0x10);
        MDR_SSP2->DR=data[2*t+1];
        while (MDR_SSP2->SR &0x10);
        MDR_PORTF->RXTX    |=0x1000;
    }
}
```

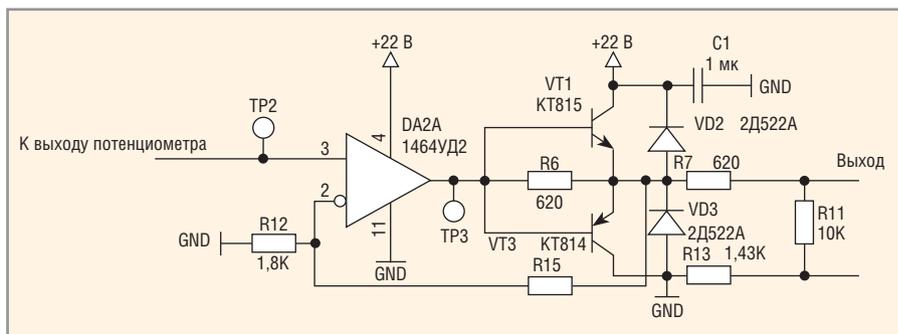


Рис. 4. Фрагмент схемы выходного усилителя, подключаемого к выходу потенциометра

- AD5293. Single-Channel, 1024-position, 1% R-Tolerance Digital Potentiometer. [www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD5293.pdf](http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD5293.pdf).
- AD8400/AD8402/AD8403. 1-/2-/4-Channel Digital Potentiometers. [www.analog.com/](http://www.analog.com/)

[media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8400\\_8402\\_8403.pdf](http://media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8400_8402_8403.pdf).

- Техническая спецификация. Серия 1315. [www.integral.by/download/3056/1315.pdf](http://www.integral.by/download/3056/1315.pdf).
- 1272ПНХТ. Двухканальный цифровой потенциометр с последовательным интерфейсом. [www.nzpp.ru/workfiles/docs/769.pdf](http://www.nzpp.ru/workfiles/docs/769.pdf).