

Микрокомпьютеры Raspberry Pi Zero и Raspberry Compute Module

А. ШИТОВ, г. Амстердам, Нидерланды

В предлагаемой статье автор знакомит читателей с новыми устройствами в семействе одноплатных микрокомпьютеров Raspberry Pi и особенностями работы с ними.

В предыдущем номере журнала "Радио" [1] речь шла о "традиционных" микрокомпьютерах Raspberry Pi, собранных на плате размерами 86×56 мм. Однако не меньшей интерес представляют и другие представители этого семейства, имеющие даже меньшие размеры — одноплатный микрокомпьютер Raspberry Pi Zero размерами 65×30 мм и вычислительный модуль Compute Module размерами 67×30 (31) мм.

Основные характеристики имеющихся моделей приведены в **таблице** [2].

Raspberry Pi Zero показан на **рис. 1**. В некоторых модификациях сам разъём не установлен, но под него отставлены соответствующие отверстия в печатной плате.

На плате установлены слот для MicroSD-карты памяти, разъём Mini HDMI, разъём для подключения видеокамеры, порт с разъёмом Micro USB и ещё один такой же разъём для подключения питания (он отмечен на плате как PWR).

Выпускаются два варианта — Raspberry Pi Zero и Raspberry Pi Zero W, второй вариант содержит Wi-Fi- и

Bluetooth-модуль (на **рис. 1** показана именно такая модель).

Версия и модель Raspberry Pi	Дата выхода	Тип "системы на кристалле" (SoC)	Частота процессора, МГц	Число ядер	Объём ОЗУ, МБ	Число разъемов USB	Наличие порта Ethernet	Наличие и тип Wi-Fi	Наличие и тип Bluetooth	Потребляемый ток от источника питания 5 В, мА	Тип карты памяти	Число выводов на разъёмах GPIO
Zero	ноябрь 2015	BCM2835	1000	1	512	1	нет	нет	нет	100...350	MicroSD	40
Zero W	февраль 2017	BCM2835	1000	1	512	1	нет	802.11n	2.0/4.1	100...350	MicroSD	40
Compute Module	апрель 2014	BCM2835	700	1	512	1	нет	нет	нет	100...350	eMMC	2 × 60
Compute Module 3	январь 2017	BCM2837	1200	4	1024	1	нет	нет	нет	700	eMMC	2 × 60
Compute Module 3 Lite	январь 2017	BCM2837	1200	4	1024	1	нет	нет	нет	700	MicroSD	2 × 60

Raspberry Pi Zero

Raspberry Pi Zero — вариант Raspberry Pi, который собран на плате вдвое меньших размеров, причём все компоненты установлены только с одной её стороны. При этом устройство содержит полный 40-контактный разъём, совместимый с выводами GPIO "больших" Raspberry Pi. Внешний вид

Bluetooth-модуль (на **рис. 1** показана именно такая модель).

Стоит отметить реализацию антенны для беспроводных подключений. Несмотря на малые размеры микрокомпьютер содержит антенну (она лицензирована у компании Proant), выполненную прямо на плате. На **рис. 2** показан фрагмент платы с антенной, которая представляет собой вытрав-

Bluetooth-модуль (на **рис. 1** показана именно такая модель).

Bluetooth-модуль (на **рис. 1** показана именно такая модель).

Звук

Bluetooth-модуль (на **рис. 1** показана именно такая модель).

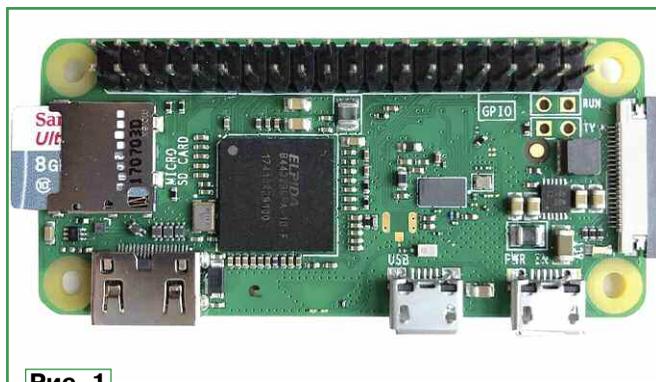


Рис. 1

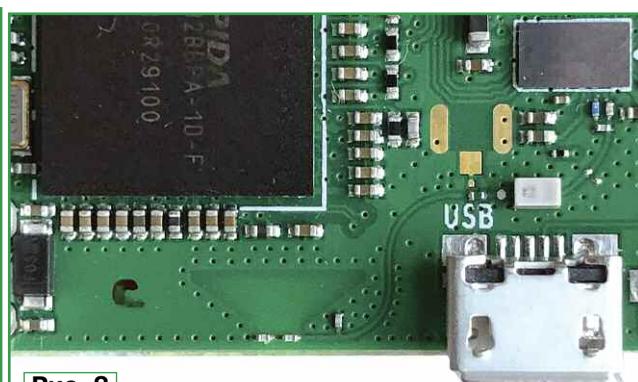


Рис. 2



Рис. 3



Рис. 5

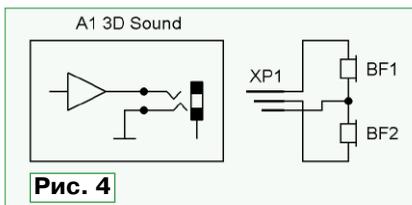


Рис. 4

го HDMI-разъёма. Однако если вы планируете использовать компьютер автономно или в составе другого устройства, возможны два варианта.

Самый простой — подключить внешнюю USB-карту (либо непосредственно, либо через USB-хаб). При выборе звуковой карты обратите внимание, что дешёвые китайские устройства (рис. 3) собраны по упрощённой схеме, и несмотря на то что заявлены как стереофонические, фактически используют только один канал, а общий провод остаётся неподключённым. Головные телефоны, подключённые по такой схеме, окажутся соединёнными последовательно, как показано на рис. 4. Однако подключить через 3,5-миллиметровый разъём, например, внешний усилитель уже не получится.

Автор рекомендует пользоваться более дорогими картами, например JB Systems USB Audio Converter (рис. 5), хотя и размеры, и цена такой карты

```
pi@zer0:~$ lsusb
Bus 001 Device 004: ID 08bb:29c0 Texas Instruments PCM2900C Audio CODEC
Bus 001 Device 003: ID 413c:2003 Dell Computer Corp. Keyboard
Bus 001 Device 002: ID 0bda:5411 Realtek Semiconductor Corp.
Bus 001 Device 001: ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub
pi@zer0:~$
```

Рис. 6

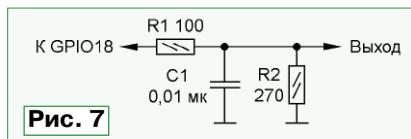


Рис. 7

несколько превышают размеры и стоимость самого Raspberry Pi Zero.

После того как звуковая карта подключена, выполните команду `lsusb`. В ответе вы должны увидеть наличие аудиоадаптера, на рис. 6 он виден в первой строке.

Воспроизвести через USB-карту звуковой файл можно следующей командой:

```
aplay -D sysdefault:CARD=1 file.wav
```

Правильное значение параметра `CARD` в вашем случае может оказаться другим, например, если вы подключили две карты. Список определившихся карт даёт следующая команда:

```
aplay -l
```

Второй вариант получить отсутствующий звуковой выход — использовать встроенные ШИ-модуляторы и внешний RC-фильтр, показанный на рис. 7. Аналогично реализован аудиовыход в Raspberry Pi 1—3 [5]. Один из каналов можно подключить к выводу GPIO18, а второй — к выводу GPIO13. При этом необходимо программно настроить эти выходы для работы с аудиоканалом, записав следующую строку в файл `/boot/config.txt`:

```
dtoverlay=pwm-2chan, pin=18, func=2, pin2=13, func2=4
```

(Прим. ред. Знак \leftarrow в конце строки, выделенный красным цветом, обозначает перенос. Это сделано исключительно для удобства вёрстки статьи. Следующую строку следует набрать в предыдущей строке без знака \leftarrow).

После перезагрузки следует запустить программу `raspi-config` и выбрать пункт "Force 3.5mm ('headphone') jack" в меню Advanced Options — Audio. Воспроизведение файла теперь доступно командой

```
aplay file.wav
```

Это решение привлекает простотой. Однако при активной работе процессора (например, при передаче данных по сети) в звуковой канал попадают помехи.

Wi-Fi

Подключение устройства к беспроводному Интернету не вызывает особых сложностей. Если вы установили операционную систему с графической оболочкой, все настройки можно выполнить, кликнув на иконку в статусной строке.

Чтобы задать параметры подключения через командную строку, отредактируйте файл `/etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf`, добавив в него секцию

```
network={
    ssid="ИМЯ СЕТИ"
    psk="ПАРОЛЬ"
}
```

Более подробные инструкции можно найти на сайте производителя [6].

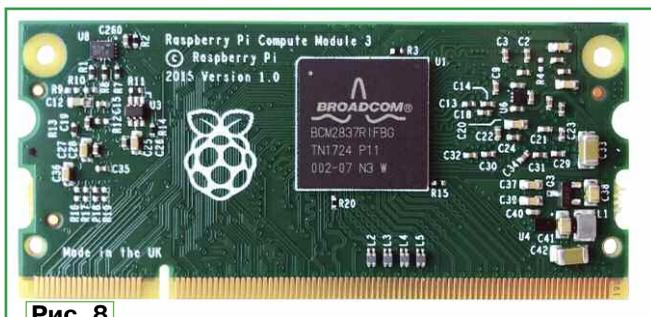


Рис. 8

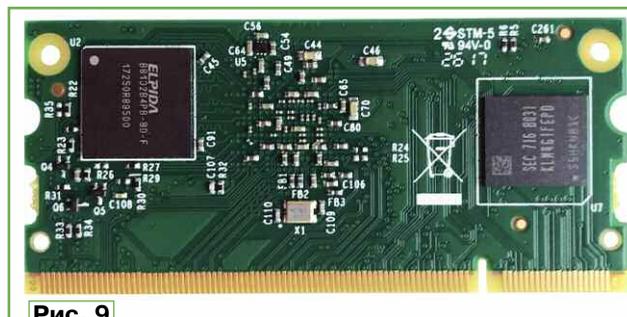


Рис. 9

Compute Module

Не менее интересен и другой продукт — Compute Module (рис. 8). Он представляет собой миниатюрную плату, на которую установлены "система на кристалле" и флеш-память объёмом 4 Гб (она установлена на противоположной стороне платы, рис. 9). По размерам и выводам плата совпадает с планками памяти DDR2 (разумеется, Compute Module нельзя устанавливать в разъёмы, предназначенные для установки памяти).

Существуют три модификации: Compute Module на основе однокристельного BCM2835, Compute Module 3 на четырёхкристельном BCM2837 и Compute Module 3 Lite, в котором установлен BCM2837, но отсутствует модуль памяти.

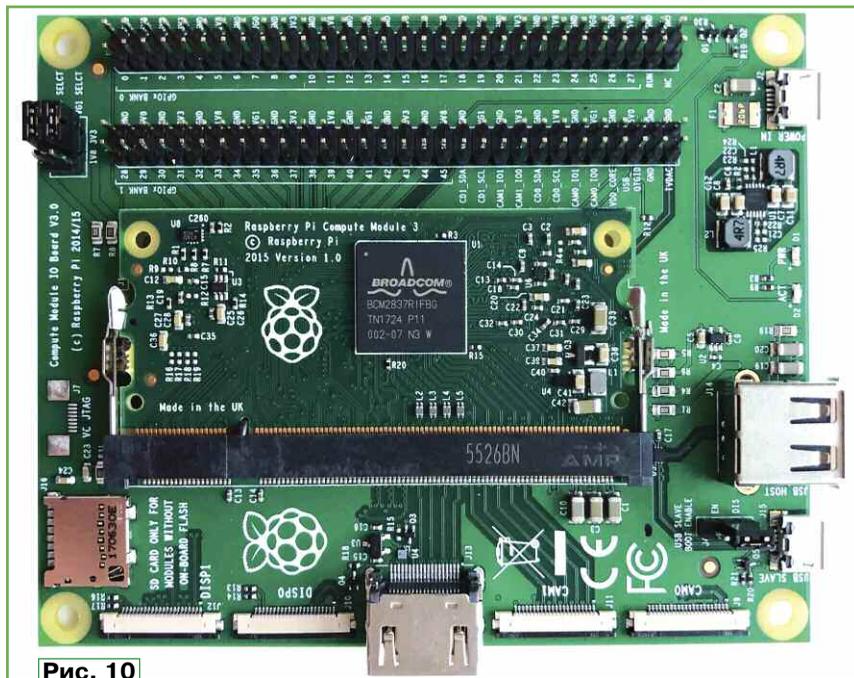


Рис. 10

Выбор форм-фактора обусловлен желанием создать устройство, которое может быть относительно легко встроено в разрабатываемые системы. На плате находится 200 выводов, и одно из важных преимуществ состоит в том, что в Compute Module доступны 45 выводов GPIO.

В радиолюбительской практике целесообразно воспользоваться специально разработанной платой Compute Module IO Board, показанной на рис. 10 (стоит она, однако, примерно втрое больше самого вычислительного модуля). Плата содержит все необходимые цепи питания и переходники для GPIO, USB, двух камер, двух дисплеев и карты памяти. Питание подают через разъём Micro USB, установленный на плате.

Рассмотрим процесс начальной установки и настройки вычислительного модуля.

Во-первых, необходимо аккуратно установить модуль в соответствующий разъём на переходной плате. Если выбранный модуль не содержит встроенной памяти (такой модуль сегодня

только один — Compute Module 3 Lite), следует записать операционную систему на MicroSD-карту и установить её в соответствующий слот.

Запись ОС во встроенную память чуть сложнее. Для записи следует воспользоваться специальным разъёмом USB (он отмечен на плате как USB Slave) и убедиться, что джампер (перемычка) J4 рядом с ним находится в положении EN (enable, разрешено), при котором разрешена загрузка через USB Slave.

Теперь необходимо соединить этот разъём с компьютером, и затем подать на плату питание через другой разъём USB. Далее следует запустить программу RPiBoot.exe [7] — она установит всё необходимое, чтобы память Compute Module была видна на компьютере как диск.

Raspberry Pi. Банк 1 занимает часть второго слота.

Обратите внимание, что это деление на два банка соответствует физическому расположению контактов. С программной точки зрения деление на банки иное: 32 разряда регистра GPSET0 соответствуют GPIO0—GPIO31, а GPSET1 — GPIO32—GPIO45. В остальном работа с GPIO совпадает с описанным в [1].

В репозитории [9] приведены модифицированные программы на C, использующие библиотеку libbcm28, — в них демонстрируется работа с GPIO, имеющих номера, большие 27, через управляющие регистры BCM2835/BCM2837.

Ethernet и Wi-Fi

К сожалению, ни Compute Module, ни плата IO Board не содержат компонентов для организации подключения к сети. Однако из этого положения легко выйти, воспользовавшись либо проводным переходником USB—Ethernet, либо USB-адаптером Wi-Fi. На страницах [10] и [11] приведены обширные списки совместимых переходников.

Альтернативное решение — воспользоваться специализированным модулем ENC28J60 (рис. 11). Он имеет проводной Ethernet-разъём и подключается к нескольким выводам GPIO

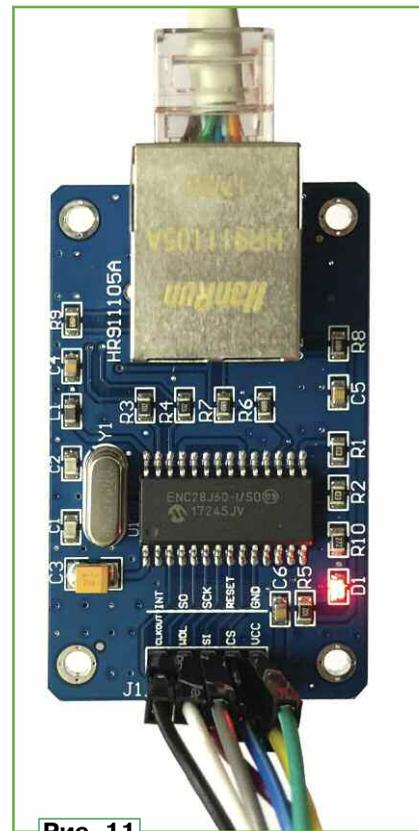


Рис. 11

вычислительного модуля. Схема подключения приведена на рис. 12.

В файл /boot/config.txt необходимо внести следующую строку:

```
dtoverlay=enc28j60
```

Дальнейшая процедура ничем не отличается от переноса образа ОС на MicroSD-карту (воспользуйтесь программой Win32 Disk Imager). Следует, однако, обратить внимание на то, что размер встроенной памяти всего 4 Гб, поэтому вам не удастся записать образ Raspbian с графической оболочкой. Однако версия Raspbian Stretch Lite [3] вполне уместится в этом объёме.

После записи образа необходимо отключить кабель от разъёма USB Slave и переставить джампер J4 в позицию DIS (disable, загрузка запрещена).

Подробные инструкции по установке из других операционных систем доступны на странице [8].

GPIO

На разъёмы IO Board выведены 45 контактов GPIO. Они сгруппированы в два банка — в одном из них находятся выводы с 0 по 27, в другом — с 28 по 45. Банк 0 занимает один из двух разъёмов и содержит те же GPIO, которые доступны на 40-контактном разъёме

После перезагрузки вы получаете работающий Ethernet-порт.

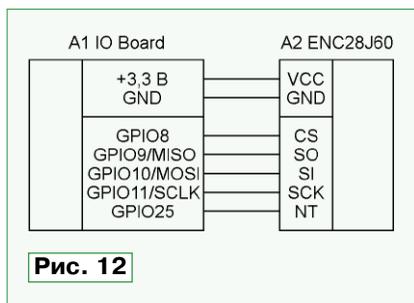


Рис. 12

Недостатком такого решения является необходимость выделить пять выводов GPIO. Кроме того, следует быть осторожным при программировании и

по ошибке не изменить режим работы этих GPIO, что приведёт к потере соединения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шитов А. Использование портов ввода-вывода GPIO микрокомпьютера Raspberry Pi. — Радио, 2018, № 7, с. 24—28.
2. Raspberry Pi Comparison Table. — URL: <https://www.modmypi.com/blog/raspberry-pi-comparison-table> (27.06.18).
3. Raspbian. — URL: <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/> (27.06.18).
4. Installing Operating System Images. — URL: <https://www.raspberrypi.org/documentation/installation/installing-images/README.md> (27.06.18).
5. Raspberry Pi Schematics. — URL: <https://www.raspberrypi.org/documentation/>

[hardware/raspberrypi/schematics/README.md](https://www.raspberrypi.org/documentation/configuration/wireless/wireless-cli.md) (27.06.18).

6. Setting Wi-Fi up via the Command Line. — URL: <https://www.raspberrypi.org/documentation/configuration/wireless/wireless-cli.md> (27.06.18).

7. RPiBoot.exe. — URL: https://github.com/raspberrypi/usbboot/raw/master/win32/rpiboot_setup.exe (27.06.18).

8. Flashing the Compute Module eMMC. — URL: <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/computemodule/cm-emmc-flashing.md> (27.06.18).

9. Исходные коды к статье. — URL: <https://github.com/ash/gpio-compute-module> (27.06.18).

10. RPi USB Ethernet Adapters. — URL: https://elinux.org/RPi_USB_Ethernet_adapters (27.06.18).

11. RPi USB Wi-Fi Adapters. — URL: https://elinux.org/RPi_USB_Wi-Fi_Adapters (27.06.18).