

**ОТВОРЕНИ АПАРАТНИ ПЛАТФОРМИ, БАЗИРАНИ НА
МИКРОКОНТРОЛЕРИ****MICROCONTROLLER-BASED OPEN HARDWARE PLATFORMS**

Валентина Василева Ранковска
Технически Университет - Габрово

Valentina Rankovska
Technical University of Gabrovo

Abstract

The main features and resources and a general classification of open-source microcontroller hardware are presented in the present paper. They are examined in the scope of their possible application in Microprocessor Circuits and Embedded Systems teaching of the Bachelor degree students in Electronics.

Using them, together with the traditional development systems, starter kits and integrated development environments, increases the interest of the students and therefore the quality of the acquired knowledge and skills.

Keywords: Microcontrollers, Open hardware; Microprocessor circuits teaching.

ВЪВЕДЕНИЕ

В днешно време сме свидетели на бързото развитие на хардуер и софтуер от отворен тип, идея, подкрепяна от много хора, които смятат, че знанието и иновациите трябва да достигат свободно и без ограничения до хората.

Условията, за да бъде хардуерът свободен/ отворен, са той да може свободно да се изучава, модифицира, влага в собствени проекти и редиистрибутира. За целта е необходимо да се съпътства от пълна, ясна, достъпна и свободно разпространявана документация (принципни схеми, чертежи на печатни платки, документация на съпътстващ софтуер, производствена технология и др.), която да прави възможни горните процеси. Компании, които поддържат развитието на отворения хардуер в областта на електрониката са например Sparkfun, Adafruit и Seeed Studio.

Тъй като редица проекти от отворен тип са създадени първоначално и основно за учебни и любителски цели (или електронни проекти от типа „Направи си сам“ - Do-It-Yourself - DIY), то тяхното приложение в учебния процес е съвсем естествен процес.

В настоящата работа се разглежда функционални възможности, характеристики и ресурси на отворен хардуер, базиран на микроконтролери, с цел приложението му в учебния процес по дисциплините „Микропроцесорна схемотехника“ и „Вградени микрокомпютърни системи“, включени в учебния план на студентите от ОКС „Бакалавър“, специалност „Електроника“ на Технически Университет - Габрово.

ИЗЛОЖЕНИЕ**Характеристики и ресурси на свободен хардуер с микроконтролери**

Свободният хардуер с микроконтролери в повечето случаи притежава някои общи характеристики, които улесняват неговото приложение:

- Разполага с всички задължителни компоненти на ядрото на вградена система;
- Предлагат се различни разновидности по отношение на функционални възможности, ресурси и габаритни размери;
- Съществува голямо разнообразие от допълнителни шийлдове и модули, съвместими с различните видове платки.

Като готово ядро на вградена микропроцесорна система в общия случай тези развойни платки съдържат:

- Микроконтролер с достатъчни ресурси за вградена система със средна сложност;
- Осигурен достъп до всички входно-изходни изводи на микроконтролера;
- Различни варианти на стабилизирано захранване – през USB от персонален компютър; от външни източници, с цел автономна работа на системата;
- Тактов генератор;
- Предоставят варианти за вътрешно-схемно серийно програмиране – през USB от ПК и през отделна рейка, предвидена за външен програматор;
- Възможност за начално установяване чрез бутон.

Възможността за програмиране с външен програматор дава свобода на програмиста, който може да използва интегрирана програмна среда за проектиране, с която е свикнал и която има по-широки функционални възможности, отколкото най-често сравнително опростената оригинална среда, като наличието на симулатор, поддръжката на различни програматори и апаратни средства за настройка, например вътрешно-схемно емулатор и др. Такива среди за развойните платки, базирани на контролери на Microchip/Atmel например са AVR Studio и MPLAB.

В табл. 1 са обобщени основни характеристики и ресурси на свободен хардуер на базата на микроконтролери, а в табл. 2 част от развойните платки от платформата ChipKIT Embedded Platform на базата на микроконтролери на Microchip Inc, предназначена за обучение [1], [2].

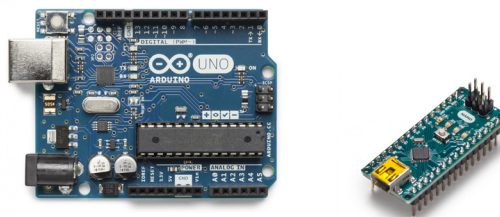
Общи характеристики на изброените свободни платформи са *възможността за програмиране на C/C++*, поддържан от различни интегрирани среди за проектиране и настройка; *поддръжка на различни операционни системи*: Windows, Linux, MAC OS. Повечето от платформите поддържат също *различни методи за програмиране* - USB и вътрешно-схемно (ISP), с изключение на

мини-варианти, които нямат допълнителни рейки за външен програматор.

Развойните платки от този тип почти *не разполагат с потребителска периферия* - Arduino Uno има само един светодиода за потребителски цели, PIC32-Pinguino-MX220 - две светодиода и един потребителски бутон и т.н.

Някои от тях позволяват *вътрешно-схемна настройка* чрез вътрешно-схемно емулатор - STM32 Discovery, MSP430, chipKIT Wi-FIRE и др., при което е възможно да се поставят на точки на прекъсване, трасиране на програмата и др.

По отношение на *габаритните размери* някои от развойните платки имат варианти със повече или по-малко сходни ресурси и различни размери, от които можем да избираме. Например да сравним Arduino Uno (68.6mm x 53.4 mm) с Arduino Nano (45mm x 18mm) (фиг. 1) [3] или Olimexino-328 (2.7in x 2.1in) и OLIMEXINO-85-ASM (1.27in x 0.8in) [4], като първите две са дори с един и същи микроконтролер - 8-битовият ATmega328.



Фиг. 1. Arduino Uno (вляво) и Arduino Nano (вдясно)

Други, като Teensy, са само в мини варианти - от 1.2 in x 0.7 in при Teensy 2.0 (фиг. 2) до 2.4in x 0.7in при Teensy 3.6 [5].



Фиг. 2. Teensy 2.0 (вляво) и Teensy 3.6 (вдясно)

Някои развойни платки са апаратно и програмно съвместими с широко използвани Arduino платки. Например Olimexino-328, STM32 Discovery, Netduino 3 имат същите разширителни съединители

Табл. 1. Основни характеристики и параметри на платки с отворен хардуер с микроконтролери

Платка	Arduino Uno	Arduino Mega	Arduino Ethernet	Arduino LilyPad	Netduino 3	Netduino 3 Ethernet
Основни характеристики	USB контролер на платката; автоматично превкл. на захранване	USB контролер на платката; автоматично превкл. на захранване	USB контролер на платката; автоматично превкл. на захранване; вграден четец на microSD карти	USB контролер на платката; автоматично превкл. на захранване; Предназначена главно за монтиране на текстилни детайли (преносима)	USB контролер на платката; автоматично превкл. на захранване; Съвместимост с шилдове за Arduino.	USB контролер на платката; автоматично превкл. на захранване; Вграден 10/100 Mbps Ethernet; Micro SD четец; Съвместимост с шилдове за Arduino.
Процесор	AVR-базиран 8-битов ATmega328	AVR-базиран 8-битов Atmega 2560	AVR-базиран 8-битов ATmega 328	AVR-базиран 8-битов ATmega 168	ARM-базиран 32-битов Cortex-M4	ARM-базиран 32-битов Cortex-M4
Тактова честота	16 MHz	16 MHz	16 MHz	8 MHz	168 Mhz	168 Mhz
Аналогови изводи	6	16	6	6	6	6
Цифрови изводи	14 (6 PWM)	54 (14 PWM)	14 (4 PWM)	14 (6 PWM)	14 (6 PWM)	14 (6 PWM)
Памет	SRAM 2KB; 1KB EEPROM; 32KB Flash;	8KB SRAM; 4KB EEPROM; 256KB Flash	2KB SRAM; 1KB EEPROM; 32KB Flash	1KB SRAM; 512bytes EEPROM; 16KB Flash	164KB RAM; 384KB Flash;	164KB RAM; 1408 KB Flash;
Работно напрежение	5 V	5 V	5 V	2.7 - 5.5 V	3.3 V	3.3 V
Външно захр. напрежение	7 – 12 V	7 – 12 V	7 – 12 V	2.7 - 5.5 V	5 – 12 V	5 – 12 V
Свободна среда/ Език за програмиране	Arduino IDE; вариант на C/C++	Arduino IDE; вариант на C/C++	Arduino IDE; вариант на C/C++	Arduino IDE; вариант на C/C++	.NET Micro Framework (Visual Studio); C#	.NET Micro Framework (Visual Studio); C#
Приблизителна цена	\$11	\$18	\$40	\$20	\$40	\$60

и конфигурация на изводите, както Arduino Uno. При проектиране с Arduino, Olimexino-328 и Teensy може да се използва една и съща програмна среда - Arduino IDE.

Развойните платки на различните производители се отличават по различни свои характеристики.

Така например развойните платки на Olimex имат възможност за работа при свръх ниска консумация от порядъка на няколко μ A, което е допълнително предимство при проектиране на устройства с батерийно захранване.

При Olimexino-328 е заложена възможност за лесна смяна на кварцовия кристал и оттам на тактовата честота на микроконтролера. Тя е проектирана за работа в температурен диапазон за индустриални приложения - $-25+85^{\circ}\text{C}$. Има възможност за захранване от различни източници: батерия, външен източник и USB. Има също така вграден модул за автоматично зареждане на литиево-йонна батерия, както и отделен стабилизатор на напрежение за аналоговата част.

Развойната платка SimpleLink MSP-EXP432P401R LaunchPad на

TexasInstruments [6] поддържа освен няколко „традиционни“ свободни среди за проектиране, като Eclipse базираната Code Composer Studio IDE, IAR Embedded Workbench IDE и Keil μ Vision IDE, също и онлайн облачна среда CCS Cloud IDE.

В зависимост от наличните ресурси микроконтролерно базираните свободни развойни платки могат да се разделят на:

- *Базови*

Тъй като идеята за подобни свободни апаратни платформи включва изискването за простота, достъпност, ниска цена, гъвкавост, то една част от тях не съдържат почти никакви допълнителни блокове, освен основните, изброени по-горе. Такива са например повечето от Arduino платките, Pinguino, Teensy и др. Поради това е необходимо те да могат допълнително да се „окомплектоват“ със съвместими модули и шийлдове с най-разнообразно приложение - сензорни модули, драйвери за управление на различни видове и брой електромотори, комуникационни модули за различни безжични и мрежови интерфейси,

Табл. 1. (Продължение)

Платка	Olimexino-328	PIC32-Pinguino-MX220	PIC32-Pinguino-OTG	MSP430 MSP432P401R LaunchPad	STM32L4 Discovery kit IoT node	Teensy++ 2.0	Teensy++ 3.1
Основни характеристики	USB контролер на платката; автоматично превкл. на захранване	Автоматично превкл. на захранване; Съвместимост с шилдове за Arduino; допълнителен UEXT конектор;	Автоматично превкл. на захранване; допълнителен UEXT конектор; RTC; четец на микро-SD карти	Вграден емулатор за прог. и настройка; Облачна технология за настройка; FreeRTOS	*	Мини-размер	Мини-размер
Микро-контролер	AVR -базиран 8-битов ATmega328	MIPS32 M4K -базиран 32-битов PIC32MX220F032D	MIPS32 M4K -базиран 32-битов PIC32MX440F256H	32-битов ARM Cortex M4F MSP432P401R	32-битов ARM Cortex-M4 STM32L4	AVR -базиран 8-битов AT90USB1286	32 bit ARM Cortex-M4 MK20DX256
Тактова честота	16 MHz с възможност за промяна	40 MHz	80 MHz	48 MHz	80 MHz	48 MHz	72 MHz
Аналогови изводи	6	6	6	8	6	8	21
Цифрови изводи	14 (6 PWM)	32	14 (6 PWM)	35 (5 PWM)	14 (6 PWM)	46 (9 PWM)	34 (12 PWM)
Памет	2KB SRAM; 32KB Flash;	8KB SRAM; 32KB Flash	32KB SRAM; 256KB Flash	256KB Flash, 64KB RAM	1 MB Flash; 128 KB RAM	131072 Flash; 2 KB EPROM; 16384 RAM	262144 Flash; 2 KB EPROM; 65KB RAM
Работно напрежение	3.3 или 5 V	3.6 V- 5.5 V	3.3 или 5 V	5 V	3.3 V	3.3 V	3.3 V (допустимо 5 V)
Външно захр. напрежение	9 – 30 V	7 - 12 V	9 – 30 V	5 V	5 V или 7 - 12 V	-	-
Свободна среда/ Език за програмиране	Arduino IDE с допълнителни драйвери; C/C++	Pinguino IDE; C/C++	Pinguino IDE; C/C++	Eclipse-базирана Code Composer Studio IDE, IAR Embedded Workbench IDE, Keil μ Vision IDE, CCS Cloud IDE	IAR, Keil, GCC-базирани IDE, ARM mbed.	Arduino IDE с допълнит. приставка - Teensyduino; C/C++	Arduino IDE с допълнит. приставка - Teensyduino; C/C++
Приблизителна цена	€22	€10	€22	€13	£42	\$24	\$20

* в текста

индикаторни модули и такива за въвеждане на информация и др. (фиг. 3).



Фиг. 3. Шилдове за Ардуино Уно

- С разширени функции

Други развойни платки съдържат, освен изброените основни блокове, специални

блокове, които разширяват техните функционални възможности.

Например STM32 Discovery на STMicroelectronics включва Bluetooth V4.1 модул; Sub-GHz (868 или 915 MHz) RF модул; Wi-Fi модул (802.11 b/g/n); NFC; два цифрови микрофона; кондензаторен цифров сензор за относителна влажност и температура; 3-осиален магнитометър; 3D акселерометър и 3D жирокоп; цифров барометър 260-1260 hPa; вграден дебъгер/ програматор и др.

Платката разполага с разширителни съединители, съвместими с Arduino Uno v3 и PMOD.

При проектиране могат да се използват няколко свободни програмни среди: IAR™ IDE, Keil® IDE, GCC-базирана IDE, ARM® mbed Enabled™.

В зависимост от предназначението си развойните платки са:

Табл. 2. Част от развойните платформи chipKIT® Development Platform (Inspired by Arduino™) на Microchip Inc.

Платка	Производител	Микроконтролер	Такт. честота	Flash/ RAM	Цифрови / аналогови Ю	Захр./ раб. напрежение	Приблизит. цена	Други характеристики
chipKIT Pi	Element 14	PIC32MX250F128B	40MHz	128kB/ 32kB	19/ 4		€20	Raspberry Pi Addon
CUI32Stem	SeeedStudio	PIC32MX795F512H	80MHz	512kB/ 128kB	46/16	3.3 или 5V	\$30	със StickOS
chipKIT Lenny	Majenko Technologies	PIC32MX270F256D	40MHz	256kB/ 64kB	27/6	6.5 - 12V/ 3.3V	£19	Arduino Leonardo-съвместим
chipKIT uC32	Digilent Inc	PIC32M340F512H	80MHz	512kB/ 32kB	42/12 (5 PWM)	7V - 15V/ 3.3V	\$35	
Quick240	PONTECH	PIC32MX795F512L	80MHz	512kB/ 128kB	87/16	24 V/ 3.3V или 5V	-	Ethernet, DIN Rail, четец на SD карти; за индустриална автоматизация за замяна на ПЛК
chipKIT Wi-FIRE	Digilent Inc	PIC32MZ2048ECG	200MHz	2MB/ 512kB	43/12	3.3 V	\$79	MRF24WG0MA WiFi, USB OTG, SD
WF32	Digilent Inc	PIC32MX795F512L	80MHz	512kB/ 128kB	43/12 (5 PWM)	3.3 V	\$70	MRF24WG0MA WiFi, USB OTG, SD
chipKIT Cmod MX1	Digilent Inc	PIC32MX150F128D	50MHz	128kB/ 32kB	33/13	5 - 12V/ 3.3V	\$30	Рейки за Breadboard

- *С общо предназначение*

В тази група влизат дадените по-горе платформи с базови и разширени функции, макар че подобно разделение е до известна степен условно, доколкото всички те могат да влизат в по-сложни конфигурации в зависимост от приложението им.

- *Специализирани*

В тази категория могат да се поставят развойни платформи, предназначени за конкретни приложения.

Такива са например Arduino Ethernet Rev3 с вграден W5100 TCP/IP контролер, Netduino 3 Ethernet, която има вграден 10/100Mbps Ethernet контролер, Netduino 3 WiFi, която има 802.11b/g/n с SSL/TLS 1.2 поддръжка, и др.

STM32L4 Discovery Kit IoT Node също може да бъде поставена и в тази група, тъй като при нея, освен всички други налични ресурси, е осигурена също директна връзка към облачни услуги, което позволява тя с лекота да бъде използвана в IoT приложения.

Arduino Industrial 101 [3], проектирана специално с малък форм-фактор, е предназначена за вграждане в индустриални приложения и включва WiFi 802.11 b/g/n 2.4 GHz и 802.3 10/100 Mbit/s Ethernet (фиг. 4).



Фиг. 4. Arduino Industrial 101

Предимства на приложението на свободни апаратни платформи в учебния процес

Тъй като в повечето случаи са създадени за DIY проекти и учебни цели (каквато е например Arduino платформата), те са подходящи за процеса на обучение в областта на електрониката и микропроцесорните системи по няколко причини: При наличието на голямо разнообразие от модули и шийлдове и използване на бредборд прототипни платки те лесно се конфигурират за

късо време до различни завършени учебни проекти с конкретно приложение. По този начин студентите не губят интерес към учебния процес, както при използването само на фирмени развойни системи с универсално предназначение, при които често пъти е необходимо много време и екипна работа за завършване на даден проект.

Обикновено за проектирането на програмното осигуряване е налична за използване опростена среда с минимален брой функции (например Arduino IDE), наред с по-сложните такива. Това позволява на студентите да навлезат по-лесно в програмирането на реални обекти, като оценят резултатите от труда си веднага, в рамките на едно лабораторно упражнение. При Arduino платките например това се подпомага и от факта, че поради широкото му разпространение, са налични и се развиват непрекъснато множество библиотечни функции за обслужване на различни периферни устройства, което допълнително облекчава процеса на програмиране.

Развойните платки от отворен тип са евтини, достъпни, работят със софтуер с отворен код, което насърчава студентите да ги използват за собствени проекти вкъщи.

Използването им в учебния процес не изключва приложението на традиционните апаратни и програмни средства, тъй като последните от своя страна позволяват изследването на работата на процесора и апа-

ратните блокове на микроконтролера или вградената система на най-ниско ниво и с възможностите, които предоставя Асемблерният език.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В доклада са представени основни функционални възможности, характеристики и ресурси и обобщена класификация на апаратни развойни платки с микроконтролери от отворен тип. Те са разгледани в контекста на приложението им в обучението по „Микропроцесорна схемотехника“ и „Вградени микрокомпютърни системи“ на студентите от ОКС „Бакалавър“, специалност „Електроника“ на ТУ - Габрово.

Използването им, заедно с традиционните китове за начинаещи, развойни системи и макети, повишава интереса на студентите към учебния процес и оттам качеството на усвояваните знания и умения по дисциплините.

REFERENCE

- [1] <http://www.microchip.com/search/searchapp/searchparts.aspx?q=chipkit&id=3>
- [2] <http://chipkit.net/>
- [3] <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>
- [4] <https://www.olimex.com/Products/Duino/open-source-hardware>
- [5] <https://www.pjrc.com/teensy/>
- [6] <http://www.ti.com/tool/msp-exp432p401r>