Predgovor

Knjiga *Primena ARM mikrokontrolera* namenjena je prevashodno studentima Elektronskog fakulteta u Nišu, kao i studentima drugih tehničkih fakulteta, ali i svim drugim inženjerima koji kreću sa izučavanjem primene mikrokontrolera koji postaju najzastupljeniji na tržištu. Nastala je sa ciljem da se studenti upoznaju sa principima rada i alatima koji su zastupljeni u industriji koristeći primere iz prakse. Knjiga je organizovana u deset poglavlja, gde je prvo poglavlje uvodno, a preostalih devet su skoncentrisani na konkretne celine: rad sa izlaznim pinovima, rad sa ulaznim pinovima, UART komunikacija, vremenski prekidi, analogno-digitalna konverzija, impulsno širinska modulacija, I2C komunikacija, SPI komunikacija i korišćenje gotovih biblioteka. Svako poglavlje u knjizi sadrži teorijski pregled i prikaz električnih šema. Najveći deo svakog poglavlja predstavlja opis primera primene teorijski prikazane materije kao i detaljna uputstva za realizaciju zadatka iz primera.

Primeri primene ARM mikrokontrolera u poglavljima pokazani su korišćenjem razvojnog okruženja Nucleo-F103RB koje je zasnovano na STM32F103RB mikrokontroleru. Ovaj mikrokontroler je odabran pre svega zbog svoje široke dostupnosti, ali i pristupačnosti velikom broju periferijskih jedinica. Realizacija primera prikazanih u poglavljima ove knjige, pored razvojnog okruženja, zahteva i korišćenje određenih besplatno dostupnih softverskih alata, a za pojedine primere i povezivanje dodatnih komponenata. Softverski alati *STM32CubeMX* i *Keil Microvision* su odabrani zbog svoje široke rasprostranjenosti u industriji, besplatne dostupnosti i zbog širokih korisničkih mogućnosti koje nude. Pored toga, bitan kriterijum prilikom odabira softverskih alata je to što razvoj, onako kako je prikazan u poglavljima, nije ograničen na konkretan mikrokontroler, već se pristup može koristiti i za druge serije, sa drugim mogućnostima. Prilikom realizacije nekih vežbi poželjno je, ali ne i neophodno, i korišćenje laboratorijske opreme kao što je osciloskop ili logički analizator.

Radi provere zadataka iz poglavlja, na kraju svakog poglavlja nalazi se QR kod. Skeniranjem koda čitalac može pristupiti linku na *github* platformi, na kome se nalaze fajlovi za rešenje zadatka, sa dopunskim propratnim komentarima. Na ovaj način, ukoliko se naiđe na poteškoće prilikom rada ili prilikom savladavanja nekih zadataka, sopstvenu realizaciju zadatka moguće je uporediti sa onom koja provereno funkcioniše u skladu sa zahtevima primera. Pored toga, za dodatno

usavršavanje, na linkovima se nalaze i dodatni primeri za samostalan rad koji uključuju varijacije opisanih primera.

Bitno je napomenuti da cilj ove knjige nije objašnjavanje principa rada samih mikrokontrolera, niti objašnjavanje strukture i osobina ARM arhitekture, već je akcenat na samoj primeni ARM mikrokontrolera za rešavanje konkretnih problema. Sama primena naravno zahteva poznavanje osnovnih principa rada, koje jeste objašnjeno, ali je najveći deo knjige posvećen korišćenju, upotrebi i primeni ovih mikrokontrolera. Poglavlje literature sadrži veliki broj knjiga, dokumenata koje izdaju kompanije i tehničkih specifikacija koje mogu poslužiti za detaljnija istraživanja i približiti princip rada čitaocima.

Knjiga *Primena ARM mikrokontrolera* je nastala kao plod saradnje sa više kompanija, ali i kao plod višegodišnjeg rada sa studentima na Elektronskom fakultetu u Nišu. Autori zahvaljuju kompanijama EUROgenyx i Mutex Embedded na izdvojenom vremenu i na saradnji, kao i svim studentima koji su probali razne verzije ovih vežbi i koji su svojim pitanjima, komentarima i korisnim sugestijama doveli do njihovog značajnog unapređenja.

Posebnu zahvalnost autori duguju organizaciji IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Pod okriljem ove organizacije je organizovan niz radionica sa studentima i učenicima srednjih škola i obezbeđena oprema za praktičan rad. Autori su u radu sa polaznicima radionica uvideli celine koje su im bile teže za razumevanje i, shodno tome, objašnjavanju tih celina posvetili dodatnu pažnju u odgovarajućim poglavljima. Tokom ovih radionica prepoznati su i modeli objašnjavanja i prikazivanja informacija koji su kod polaznika dali najbolje rezultate, i koji su primenjeni u ovoj knjizi.

Takođe, autori zahvaljuju i koleginicama i kolegama sa Elektronskog fakulteta u Nišu na korisnim sugestijama i komentarima. Primeri iz poglavlja ove knjige su u više navrata provereni, praktično realizovani korišćenjem opisanih komponenata, a i provereni korišćenjem najsavremenijih laboratorijskih instrumenata. Međutim, iako je prilikom realizacija vežbi iz primera i pisanja ove knjige uložen veliki trud, moguće je da su se i potkrale greške. Autori će biti zahvalni svim čitaocima koji preko mejla (nikola.i.mitrovic@elfak.ni.ac.rs) ukažu na eventualne propuste ili daju svoje predloge i sugestije za poboljšanje sadržaja knjige.

Niš, februar 2023. godine Autori

Sadržaj

1 Uvod u ARM mikrokontrolere **1**
- 1.1 Struktura mikrokontrolera . . . 1
- 1.2 Razvoj ARM mikrokontrolera . . . 2
- 1.3 Korteks-M jezgro . . . 4
- 1.4 Okruženje Nucleo-F103 . . . 5

2 Prvi projekat - Uključivanje LED **9**
- 2.1 Struktura generisanog HAL koda . . . 11
- 2.2 Pokazivači, referenciranje i rukovaoci . . . 13
- 2.3 Rad sa softverskim alatom **CubeMX** . . . 15
- 2.4 Rad sa softverskim alatom **Keil** . . . 21

3 Očitavanje ulaznog signala, rad sa tasterima **25**
- 3.1 Teorijski uvod . . . 25
- 3.2 Rad sa softverskim alatom **CubeMX** . . . 27
- 3.3 Rad sa softverskim alatom **Keil** . . . 33

4 UART komunikacija **39**
- 4.1 Teorijski uvod . . . 39
- 4.2 Prenos podataka korišćenjem UART komunikacije . . . 41
- 4.3 Rad sa softverskim alatom **CubeMX** . . . 42
- 4.4 Rad sa softverskim alatom **Keil** . . . 48
- 4.5 Slanje podataka različitih tipova . . . 54

5 Generisanje vremenskog prekida pomoću tajmera **57**
- 5.1 Teorijski uvod . . . 57
- 5.2 Treperenje LE diode zadatom učestanošću . . . 58
- 5.3 Rad sa softverskim alatom **CubeMX** . . . 59
- 5.4 Rad sa softverskim alatom **Keil** . . . 68

6 Analogno-digitalna konverzija **75**
6.1 Teorijski uvod . . . 75
6.2 Očitavanje napona sa potenciometra . . . 78
6.3 Rad sa softverskim alatom **CubeMX** . . . 78
6.4 Rad sa softverskim alatom **Keil** . . . 81
6.5 Paralelno očitavanje više napona na različitim pinovima . . . 83
6.6 Rad sa softverskim alatom **CubeMX** . . . 84
6.7 Rad sa softverskim alatom **Keil** . . . 90

7 Impulsno širinska modulacija (PWM) **95**
7.1 Teorijski uvod . . . 95
7.2 Rad sa softverskim alatom **CubeMX** . . . 96
7.3 Rad sa softverskim alatom **Keil** . . . 99
7.4 Kontrola faktora ispune u realnom vremenu . . . 100

8 I²C komunikacija **103**
8.1 Teorijski uvod . . . 103
8.2 Određivanje adrese slejv uređaja . . . 104
8.3 Rad sa softverskim alatom **CubeMX** . . . 105
8.4 Rad sa softverskim alatom **Keil** . . . 109
8.5 Komunikacija sa modulom za merenje temperature MCP9808 . . . 112

9 SPI komunikacija **117**
9.1 Teorijski uvod . . . 117
9.2 Komunikacija sa modulom BMP280 . . . 119
9.3 Rad sa softverskim alatom **CubeMX** . . . 120
9.4 Rad sa softverskim alatom **Keil** . . . 125

10 Korišćenje gotovih biblioteka **131**
10.1 Teorijski uvod . . . 131
10.2 Biblioteka za Hitachi displeje (Komunikacija sa 1602 displejem) . . . 131
10.3 Rad sa softverskim alatom **CubeMX** . . . 132
10.4 Rad sa softverskim alatom **Keil** . . . 134
10.5 Biblioteka za SSD1306 displeje (Komunikacija sa OLED displejem) 137
10.6 Rad sa softverskim alatom **CubeMX** . . . 138
10.7 Rad sa softverskim alatom **Keil** . . . 140

A Direktan pristup memoriji (DMA) **145**

B USB na TTL kolo **149**

C ST-link **151**

D Terminal **153**

Literatura **155**