

SE  
311

REVIVA ZA ELEKTRONIKO, AVTOMATIKO, RAČUNALNIŠTVO IN TELEKOMUNIKACIJE

# svet ELEKTRONIKE

ISSN 1318-4679



9 771318 467014



letnik XXIX  
oktober 2022  
številka 311  
cena:

**5,00 €**



**Baterije in ekstremni mraz**



**Omronov nov rele**

**Vodik iz sonca**

**Novi senzor položaja**

**TinyML razvrstitev slik**

**Odprava pretvornikov nivojev  
v mikrokontrolerskih aplikacijah**

**STM32 mikrokontrolerji  
in strojno učenje**



**Novi brezžični Bluetooth®  
LE MCU-ji**



# IZBIRA

## SE ZAČNE TUKAJ



Z več kot 2.300 vodilnimi dobavitelji blagovnih znamk v industriji – lahko ste prepričani, da pokrivamo vaše potrebe po elektronskih komponentah in avtomatizaciji.

Poiščite na [digikey.si](https://www.digikey.si) danes, ali pokličite (+386)-1-888 9071.





**KAZALO**

**UVODNIK**

- 4 Kriza prinaša priložnosti  
*Jure Mikeln*

**NOVICE**

- 5 Računalništvo, ki ga poganjajo alge: znanstveniki ustvarjajo zanesljivo in obnovljivo biološko fotovoltaično celico  
<https://www.cam.ac.uk>
- 6 Nove solarne celice proizvajajo vodik  
<https://www.joh.cam.ac.uk>
- 8 Kako lahko ekstremni mraz povzroči razpoke v materialih litij-ionskih baterij in poslabša njihovo delovanje  
<https://www6.slac.stanford.edu>
- 10 Power Integrations proizvaja Buck Switcher IC z 850 mA izhodom za avtomobilске napajalnike  
<https://www.power.com>
- 11 Infineon je predstavil nov enostopenjski flyback krmilnik za polnjenje baterij, ki omogoča brezskrbno in razširljivo načrtovanje  
<https://www.infineon.com>
- 12 Texas Instruments je v Teksasu začel graditi nove obrate za proizvodnjo 300-milimetrskih polprevodniških rezin  
<https://www.ti.com>
- 13 Novi senzor položaja podjetja Vishay Intertechnology zagotavlja visoko zmogljivost v miniaturi velikosti za vojaške in industrijske aplikacije  
<https://www.vishay.com>
- 14 Omron dodaja kompaktno, visoko zmogljive DC releje za aplikacije v avtomobilski industriji in mobilnosti  
<https://omron.eu>
- 16 Nov miniaturni koaksialni reed rele za visokofrekvenčne sisteme do 3 GHz  
<https://www.pickeringrelay.com>
- 17 Univerzalni programator/razhroščevalnik edinstveno omogoča Wi-Fi delovanje  
<https://www.mikroe.com>
- 18 Novi brezžični Bluetooth® LE MCU-ji omogočajo visokokakovostno VF povezavo in cenovno dostopno energetska učinkovitost  
<https://www.ti.com>

**PREDSTAVLJAMO**

- 20 Odprava pretvornikov nivojev v mikrokontrolerskih aplikacijah (2)  
*Avtor: Robert Perkel, Microchip*  
<https://www.microchip.com>
- 24 STM32 mikrokontrolerji in strojno učenje  
*Avtor: Rolf Horn*  
<https://www.digikey.com>
- 30 EMC težave in rešitve  
*Avtor: Francesco Poderico*
- 31 Sejem MOS2022 ponovno z velikim obiskom  
*Avtor: Jurij Mikeln*
- 33 Osnove in načini uporabe EDLC-kondenzatorjev  
*Avtorji: Julio Gállego, Christian Kasper, Akos Labady*  
<https://www.rutronik.com>

**PROGRAMIRANJE**

- 38 ESP32-CAM: TinyML razvrstitev slik – sadje proti zelenjavi  
*Avtor: Marcelo Rovai*
- 47 Sodobni Microchipovi mikrokontrolerji: kako začeti?  
*Avtor teksta in fotografij: dr. Simon Vavpotič*

**SAMOGRADNJA**

- 55 Enostavna elektronska vezja (1) - Lahko tudi brez tranzistorja!  
*Avtor: mag. Vladimir Mitrović*

**STIK**

- 58 Info in naročanje  
<https://svet-el.si>

**Baterije in ekstremni mraz**

*Skladiščenje akumulatorskih baterij pri temperaturah pod lediščem lahko razpoka katodo baterije in jo loči od drugih delov baterije, kaže nova študija. Litij-ionske baterije so znane po slabšem delovanju v hladnih vremenskih razmerah, kar vpliva na nekatere njihove najpomembnejše aplikacije - od zagona električnega avtomobila pozimi v Wisconsinu do letenja z dronom na Marsu...*



**Stran: 8**

**Omronov nov rele**

*Trije novi releji PCB podjetja Omron Electronic Components Europe so namenjeni avtomobilski industriji in aplikacijam za mobilnost, kjer je malo prostora, visoka zmogljivost pa ključnega pomena. Novi Omronovi releji G8K, G8G in G8PM podpirajo nadzor visoko zmogljivih enosmernih motorjev. Novi releji imajo...*



**Stran: 14**

**Novi brezžični Bluetooth® LE MCU-ji**

*Inženirji lahko z novimi brezžičnimi MCU-ji CC2340 podjetja TI dodajo Bluetooth Low Energy tehnologijo v več izdelkov kot kdaj koli prej. Texas Instruments (TI) (NASDAQ: TXN) je razširil svoj portfelj povezljivosti z novo družino brezžičnih mikrokontrolerjev (MCU), ki omogočajo visokokakovostni Bluetooth® Low...*



**Stran: 18**

**STM32 mikrokontrolerji in strojno učenje**

*O strojnem učenju (angl. machine learning, ML) v strežniških in mobilnih aplikacijah se že leta veliko govori, vendar se je zdaj še razširilo in postalo ključnega pomena na robnih napravah. Glede na to, da morajo biti robne naprave energetska učinkovite, se morajo razvijalci naučiti in morajo znati razumeti, kako uvajati modele strojnega učenja v ...*



**Stran: 24**



Naslovnica: [www.power.com](http://www.power.com)



Jurij Mikeln

**REVIJA ZA ELEKTRONIKO,  
AVTOMATIČNO,  
RAČUNALNIŠTVO  
IN TELEKOMUNIKACIJE**

Ustanovljena leta 1994, izhaja mesečno,  
11 številki letno, julij/avgust ena številka.

Glavni in odgovorni urednik:  
JURIJ MIKELN, dipl.inž.  
Tel.: 01 549 14 00  
E-pošta: stik@svet-el.si

Tehnični urednik:  
DTP studio AX d.o.o.  
E-pošta: dtp@svet-el.si

Prodajni servis, naročnine:  
E-pošta: prodaja04@svet-el.si

Marketing:  
Tel: 01 549 14 00  
E-pošta: stik@svet-el.si

Prototipna tiskana vezja: Luznar d.o.o., Kranj  
Antivirusni program: PANDA security

Založnik in računalniški prelom:  
AX ELEKTRONIKA d.o.o.  
Depala vas 39, 1230 Domžale

Direktor:  
JURIJ MIKELN, dipl.inž.

Tisk:  
MR Grafik, grafične storitve, Rok Gobec s.p.  
Naklada do: 1.500 izvodov  
ISSN 1318 4679

Spletna revija:  
<https://svet-el.si/category/revija/pretekle-stevilke>

Cena za posamezni izvod je 5,00 EUR, za letno naročnino priznavamo 25% popust za dijake in študente s potrdilom o šolanju, 20% popust ostalim fizičnim osebam ter 10% popust za podjetja. V skladu s 25. členom 7. odstavka Zakona o davku na dodano vrednost se za revijo Svet elektronike plačuje in obračunava 9,5% DDV.

Izid publikacije finančno podprla Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS iz sredstev državnega proračuna iz naslova razpisa za sofinanciranje domačih poljudnoznanstvenih periodičnih publikacij.

Uredništvo ne odgovarja za škodo, ki bi nastala zaradi nestrokovnega sestavljanja in uporabe naprav, ki so opisane v reviji, zaradi napak avtorjev ali napak v tisku. Uredništvo si pridržuje vse pravice do projektov, opisanih v reviji. Dovoljuje se izdelava naprav za lastno uporabo, prepoveduje pa se kakršnakoli reprodukcija projektov ali posameznih delov revije brez pisnega soglasja uredništva.

**Kriza prinaša priložnosti**

Seveda bi marsikdo lahko rekel, da urednik ponavlja »iztrošene floskule«, pa vendarle gotovo drži to, kar sem napisal v naslovu.

Ne bo prvič (in verjetno tudi ne zadnjič), da bo kriza prinesla nove priložnosti. Verjetno se bomo vsi spomnili zadnje naftne krize, iz katere je človeštvo izšlo s sodobnimi motorji z notranjim izgorevanjem z bistveno boljšim izkoristkom, da ne govorim o tem, da je v tem času zagon dobila tudi elektromobilnost.

Kaj bo prinesla tokratna kriza je težko napovedati. Morda načine za bolj učinkovito pretvorbo sončne energije v električno. Morda boljše/bolj zmogljive razsmernike, ki skrbijo da fotovoltaična energija pride v naše domove. Morda tudi zavest, da z zelenimi viri energije ne bomo zmogli zagotoviti dovolj električne energije, katere poraba narašča iz leta v leto. Če bi zeleni aktivisti dejansko živeli to, kar razglašajo, potem bi na svojem primeru hitro ugotovili, da človek npr. s poganjanjem kolesa ne zmore zagotoviti dovolj energije niti za en večer gledanja televizije. Da ne govorim o ornitologih, ki so prepričani, da so naši ptiči tako trapasti, da se bodo zaletavali v vetrnice... Žal so pri tem na nek način soudeleženi tudi nekritični osrednji mediji, ki takšnim aktivistom ne postavijo konkretnih vprašanj s konkretnimi številkami, ampak jim samo kimajo.

Nekaj o novih tehnologijah pišemo tudi v tokratni številki revije Svet elektronike. Ena takšnih je zelena fotocelica, ki za pridobivanje električne energije izrablja princip fotosinteze. Druga pa je, kako pridobivati vodik iz energije sonce. Problem pri vodiku je edino to, kako ga shraniti. Vodik ima namreč tako majhen atom, da ga do sedaj znani materiali ne morejo zadržati v nekem zalogovniku ali rezervoarju. Tehnologije shranjevanja vodika v trdnih snoveh sicer obetajo, vendar je – kot kaže zdaj, zmožnost shranjevanja vodika relativno majhna. Potrebno bo iznajti nekaj novega.

Nekaj novega pa se že dogaja v Ameriki, kjer podjetje Texas Instruments gradi novo tovarno silicijevih rezin. Kot vemo so vse tovarne silicijevih rezin prezasedene in vsaka na novo odprta tovarna bo pripomogla, da se, vsaj pri proizvodnji polprevodnikov, počasi vrnemo na nivo (in cene) iz leta 2019.

Izmed člankov bi vam v branje priporočil 2. del članka no novih mikrokontrolerjih podjetja Microchip. V članku avtor opisuje novo periferijo, ki je vgrajena v te nove mikrokontrolerje, hkrati pa tudi pokaže praktičen primer uporabe teh novih mikrokontrolerjev. V tem članku je namreč opisan primer, kako zaznavati koliko odprto je okno. Če je odprto preveč, se sproži alarm.

Kako bomo preživel to jesen in zimo ne vem(o). Upam pa, da vam bo ob tem delala družbo revija Svet elektronike!

Lep pozdrav!  
Jure

**Najpopolnejši Arduino KIT za nadebudne  
programerje**

Vsebuje:

- displeje (LED, LCD, matrični)
- motorje (servo, koračne, DC)
- IR oddajnik in sprejemnik
- VF oddajnik in sprejemnik
- drobni material



AX elektronika d.o.o.





# Računalništvo, ki ga poganjajo alge: znanstveniki ustvarjajo zanesljivo in obnovljivo biološko fotovoltaično celico

University of Cambridge

*Raziskovalci so uporabili široko razširjeno vrsto modro-zelenih alg za neprekinjeno napajanje mikroprocesorja eno leto – in še več – z uporabo samo svetlobe iz okolja in vode. Njihov sistem ima potencial kot zanesljiv in obnovljiv način za napajanje majhnih naprav.*



Sistem, ki je po kapaciteti primerljiv z AA baterijo, vsebuje vrsto nestrupene alge *Synechocystis*, ki s fotosintezo naravno pridobiva energijo iz sonca. Majhen električni tok, ki ga ustvari ta sistem, za delovanje potrebuje aluminijasto elektrodo in se uporablja za napajanje mikroprocesorja.

Sistem je izdelan iz običajnih, poceni materialov, ki jih je mogoče v veliki meri reciklirati. To pomeni, da bi ga bilo mogoče enostavno več sto tisočkrat ponoviti za napajanje velikega števila majhnih naprav, kot dela interneta stvari. Raziskovalci pravijo, da bo verjetno najbolj uporaben v situacijah izven omrežja ali na oddaljenih lokacijah, kjer so lahko majhne količine energije zelo koristne.

»Naraščajoči internet stvari potrebuje vse večjo količino energije in menimo, da bo ta energija morala priti iz sistemov, ki lahko proizvajajo energijo, namesto da bi jo preprosto shranjevali kot baterije,« je dejal profesor Christopher Howe z oddelka za biokemijo Univerze v Cambridgeu, skupni višji avtor prispevka.

Dodal je: "Naša fotosintezna naprava se ne izprazni tako, kot se izprazni baterija, saj nenehno uporablja svetlobo kot vir energije."

V poskusu je bila naprava uporabljena za napajanje ARM Cortex M0+ mikrokontrolerja, ki se pogosto uporablja v napravah interneta stvari. Deloval je v domačem okolju in delno na prostem ob naravni svetlobi in s tem povezanimi temperaturnimi nihanji, po šestih mesecih neprekinjenega proizvodnje električne energije pa so bili rezultati predloženi v objavo.

»Navdušilo nas je, kako dosledno je sistem deloval v daljšem časovnem obdobju – mislili smo, da se bo po nekaj tednih ustavil, a je kar nadaljeval,« je povedal dr. Paolo Bombelli z oddelka za biokemijo Univerze v Cambridgeu, prvi avtor raziskave.

Alga ne potrebuje hranjenja, saj si s fotosintezo sama ustvarja hrano. In kljub dejstvu, da fotosinteza zahteva svetlobo, lahko naprava celo nadaljuje s proizvodnjo energije v obdobjih teme.

Raziskovalci menijo, da je to zato, ker alge predelajo nekaj svoje hrane, ko ni svetlobe, in to še naprej ustvarja električni tok.

Internet stvari je obsežno in rastoče omrežje elektronskih naprav, ki zbirajo in delijo podatke v realnem času prek interneta. Vsaka od teh naprav uporablja le malo energije. Z uporabo poceni računalniških čipov in brezžičnih omrežij je več milijard naprav del tega omrežja – od pametnih ur do temperaturnih senzorjev v elektrarnah. Ta številka naj bi do leta 2035 narasla na bilijon naprav, kar bo zahtevalo ogromno število prenosnih virov energije.

Raziskovalci pravijo, da bi bilo napajanje bilijonov naprav interneta stvari z litij-ionskimi baterijami nepraktično: potrebovali bi trikrat več litija, kot se ga letno proizvede po vsem svetu. Tradicionalne fotovoltaične naprave so izdelane iz nevarnih materialov, ki utegnejo imeti škodljive vplive na okolje.

Delo je bilo opravljeno v sodelovanju med Univerzo v Cambrid-

geu in podjetjem ARM, podjetjem, ki vodi razvoj mikroprocesorjev. ARM Research je razvil ultra-učinkovit testni čip ARM Cortex M0+, izdelal razvojno ploščo in nastavil vmesnik v oblaku za zbiranje podatkov, predstavljen v poskusih.

Raziskavo je financiral Nacionalni center za inovacije biofilmov.

Študija je bila objavljena v reviji Energy & Environmental Science [1].

#### Fotografija:

- Univerza v Cambridgu

#### Viri:

- 1: <https://doi.org/10.1039/D2EE00233G>

#### Povzeto po:

- <https://bit.ly/3OW34uc>

<https://www.cam.ac.uk>



## Nove solarne celice proizvajajo vodik

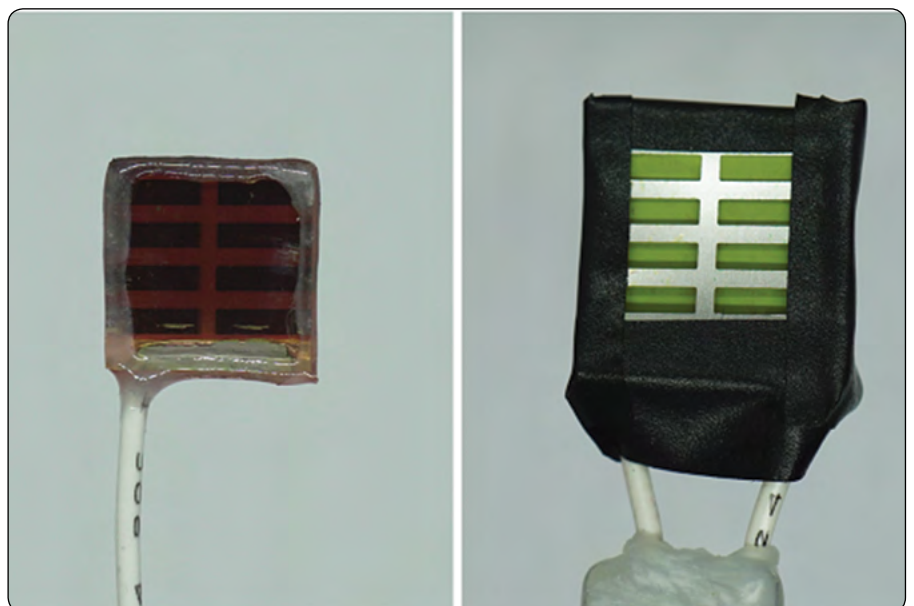
St John's College

*Po novih raziskavah lahko naprave iz lahko dostopnih materialov na osnovi oksidov in ogljika v nekaj tednih proizvedejo čist vodik iz vode.*

Ugotovitve, ki jih je skupaj z akademiki na Imperial College London vodil Dr. Virgil Andrei, raziskovalec na St John's College, University of Cambridge, bi lahko pomagale odpraviti eno od ključnih težav pri proizvodnji energije iz sončeve svetlobe, saj so sedanji materiali, ki absorbirajo svetlobo na Zemlji, omejeni zaradi svoje učinkovitosti ali stabilnosti.

### Neraziskani materiali za izkoriščanje svetlobe

Vodikovo gorivo bo imelo ključno vlogo pri prehodu na popolno razogljčenje in doseganju cilja Združenega kraljestva, da do leta 2050 doseže ničelne neto emisije. Ker se večina vodika trenutno pridobiva iz fosilnih goriv, si raziskovalci zdaj prizadevajo najti načine za bolj



*Več BiOI in BiOI-BiVO4 pikselov na napravi. Avtor: Dr. Virgil Andrei.*



trajnostno pridobivanje vodika. Eden od načinov je izdelava naprav, ki lahko zbirajo sončno svetlobo in cepijo vodo za proizvodnjo zelenega vodika.

Za zeleno proizvodnjo vodika so bili preizkušeni številni materiali, ki absorbirajo svetlobo, vendar se jih večina ob potopitvi v vodo hitro razgradi. Perovskiti so na primer najhitreje rastoči materiali glede učinkovitosti zbiranja svetlobe, vendar so v vodi nestabilni in vsebujejo svinec. To predstavlja nevarnost uhajanja, zato si raziskovalci prizadevajo razviti alternative brez svina.

Bismutov oksijodid (BiOI) je nestrupen alternativni polprevodnik, ki je bil zaradi svoje slabe stabilnosti v vodi spregledan za uporabo v solarnih sistemih. Vendar so se raziskovalci na podlagi prejšnjih ugotovitev o potencialu BiOI odločili, da ponovno preverijo obetavnost tega materiala za proizvodnjo zelenega vodika.

Dr. Robert Hoyer, predavatelj na oddelku za materiale na Imperial College London, je pojasnil: "Bismutov oksijodid je zanimiv fotoaktivni material, ki ima energijske nivoje na pravih mestih za cepitev vode. Pred nekaj leti smo dokazali, da so BiOI sončne celice stabilnejše od tistih, ki uporabljajo najsodobnejše perovskitne absorberje svetlobe. Želeli smo preveriti, ali lahko to stabilnost prenesemo na zeleno proizvodnjo vodika."

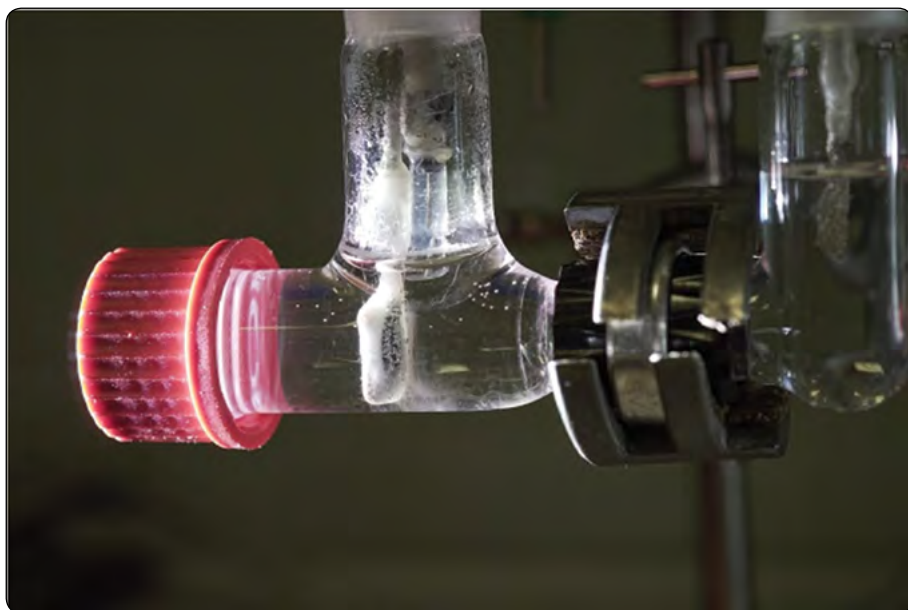
Profesorica Judith Driscoll z oddelka za znanost o materialih in metalurgijo Univerze v Cambridgeu je povedala: "S tem materialom se ukvarjamo že nekaj časa zaradi njegovih širokih možnosti uporabe, enostavnosti izdelave, nizke toksičnosti in dobre stabilnosti. Bilo je odlično, da smo združili strokovno znanje različnih raziskovalnih skupin v Cambridgeu in pri Imperialu."

## Preboj v proizvodnji energije iz sončne svetlobe

Skupina raziskovalcev je izdelala naprave, ki posnemajo naravni proces fotosinteze v listih rastlin, le da namesto sladkorjev proizvajajo goriva, kot je vodik. Te naprave z umetnimi listi so bile izdelane iz BiOI in drugih trajnostnih materialov ter so zbirale sončno svetlobo za proizvodnjo O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> in CO.

Raziskovalci so našli način, kako povečati stabilnost teh naprav z umetnimi listi, tako da so BiOI vstavili med dve oksidni plasti. Robustna struktura naprave na osnovi oksidov je bila dodatno premazana z vodoodbojno grafitno pasto, ki je preprečevala vdor vlage. To je podaljšalo stabilnost pik iz bismutovega oksijodida, ki so absorbirala svetlobo iz nekaj minut na nekaj mesecev, vključno s časom, ko so bile naprave skladiščene.

To je pomembna ugotovitev, ki BiOI spreminja v učinkovit



*BiOI piksli pri osvetlitvi proizvajajo vodikove mehurčke. Avtor: Dr. Virgil Andrei.*

zbiralnik svetlobe za stabilno proizvodnjo zelenega vodika. "Te oksidne plasti izboljšajo sposobnost proizvodnje vodika v primerjavi s samostojnimi BiOI," je povedal Dr. Robert Jagt (Oddelek za znanosti o materialih in metalurgijo, Univerza v Cambridgeu), eden od avtorjev.

Raziskovalci so še ugotovili, da so naprave z umetnimi listi, ki so sestavljene iz več območij za zbiranje svetlobe (imenovanih "piksli"), učinkovitejše od običajnih naprav z enim samim večjim pikslom enake skupne velikosti. Ta ugotovitev bi lahko olajšala in pospešila povečanje obsega novih svetlobnih zbiralnikov za trajnostno proizvodnjo goriva.

Dr. Virgil Andrei, soavtor z Oddelka za kemijo v Cambridgeu, pojasnjuje: "Tudi če je nekaj pikselov okvarjenih, smo jih lahko odklopili, tako da ne vplivajo na ostale. To pomeni, da smo lahko ohranili učinkovitost majhnih pikselov na večji površini." Povečana zmogljivost je napravi omogočila ne le proizvodnjo vodika, temveč tudi redukcijo CO<sub>2</sub> v sintezni plin, ki je pomemben vmesni produkt pri industrijski sintezi kemikalij in farmacevtskih izdelkov.

**RAČUNALNIŠKE NOVICE**  
bralcem revije  
**SVET ELEKTRONIKE**  
ponujajo POSEBNO  
PONUDBO!

**12 ŠTEVILK** revije  
**RAČUNALNIŠKE NOVICE**  
plačate samo stroške pošiljanja  
**9,70 €** za vseh 12 števil, brez vezave.

Navedete geslo  
SVET ELEKTRONIKE.



12 števil  
BREZPLAČNO

Naročite lahko na: [maja@stromboli.si](mailto:maja@stromboli.si) ☎️ 01 620 88 00

## Pogled v prihodnost

Ugotovitve kažejo, da lahko te nove naprave izpodbijajo učinkovitost obstoječih absorberjev svetlobe. Novi načini za povečanje stabilnosti naprav z umetnimi BiOI listi se zdaj lahko prenesejo na druge nove sisteme in pomagajo pri njihovi komercializaciji.

"To je razburljiv razvoj! Trenutno je le malo sistemov za sončno energijo, ki bi bili stabilni in primerni za uporabo v resničnem svetu. S tem delom smo naredili korak naprej k vzpostavitvi krožnega gospodarstva goriv," je povedal profesor Erwin Reisner (Oddelek za kemijo, Cambridge), eden od ustreznih avtorjev.

**Ugotovitve so bile objavljene v Nature Materials reviji.**

To delo so delno podprli Cambridge Trust, Wintonov program za fiziko trajnostnega razvoja, Kraljeva akademija za inženirstvo,

Svet za raziskovanje inženirskih in fizikalnih znanosti (EPSRC) in Evropski raziskovalni svet. Judith Driscoll je predstojnica katedre za nove tehnologije pri Kraljevi akademiji za inženirstvo. Robert Hoyer je raziskovalni sodelavec Kraljeve akademije za inženirstvo. Virgil Andrei in Erwin Reisner sta člana kolegija St John's College v Cambridgeu. Robert Jagt je doktorski študent na Oddelku za znanost o materialih in metalurgijo Univerze v Cambridgeu.

Viri: Virgil Andrei, Robert A. Jagt et al. 'Long-term solar water and CO<sub>2</sub> splitting with photoelectrochemical BiOI-BiVO<sub>4</sub> tandems' Nature Materials (2022). DOI: 10.1038/s41563-022-01262-w

**Povzeto po:**

- <https://bit.ly/3DDXTwq>

<https://www.joh.cam.ac.uk>



# Kako lahko ekstremni mraz povzroči razpoke v materialih litij-ionskih baterij in poslabša njihovo delovanje

**Avtor: Nathan Collins**

*Skladiščenje akumulatorskih baterij pri temperaturah pod lediščem lahko razpoka katodo baterije in jo loči od drugih delov baterije, kaže nova študija.*

Litij-ionske baterije so znane po slabšem delovanju v hladnih vremenskih razmerah, kar vpliva na nekatere njihove najpomembnejše aplikacije - od zagona električnega avtomobila pozimi v Wisconsinu do letenja z dronom na Marsu.

Raziskovalci Nacionalnega pospeševalnega laboratorija SLAC pri ameriškem Ministrstvu za energijo so zdaj odkrili spregledan vidik te težave: skladiščenje litij-ionskih baterij pri temperaturah pod lediščem lahko povzroči, da nekateri deli baterije razpokajo, kar povzroči njihovo ločitev od okoliških materialov, kar zmanjša njihovo zmogljivost shranjevanja električne energije.

Znanstvenik SLAC Yijin Liu in podoktorski sodelavec Jizhou Li sta do odkritja prišla med preučevanjem učinkovitosti katode, dela baterije, v katerega se med uporabo stekajo elektroni, v

hladnem vremenu. Prve študije so pokazale, da so baterije, ki so bile shranjene pri temperaturah pod nič stopinj Celzija, po 100 polnjenjih izgubile do 5 % več svoje zmogljivosti kot baterije, ki so bile shranjene pri višjih temperaturah.

Da bi razumeli, zakaj je tako, so raziskovalci uporabili kombinacije metod analize rentgenskih žarkov v Stanfordskem sinhrotronskem viru sevanja SLAC in tehniko strojnega učenja, s katerimi se je Li ukvarjal zadnjih nekaj let. Kombinacija jim omogoča prepoznavanje posameznih delcev katod - kar pomeni, da lahko ekipa preuči na tisoče delcev naenkrat, v primerjavi s peščico, ki bi jo lahko prepoznali samo z očmi.

Te metode so skupaj pokazale, da nizke temperature krčijo delce v katodi, ki so podobni mesnim kroglicam, in jih pri tem drobijo - ali pa še povečujejo obstoječe razpoke, je dejal Li.





**Brepilotno letalo Ingenuity, kot ga na Marsu vidi Nasin rover Mars Perseverance. Raziskovalci SLAC si prizadevajo razumeti učinke ekstremnih temperatur oddaljenih planetov ali zim na Srednjem zahodu na akumulatorske baterije, ki napajajo tovrstne naprave. (avtor fotografije: NASA/JPL-Caltech/Arizona State University/Malin Space Science Systems)**

Ker se materiali razlikujejo po načinu, kako se širijo in krčijo pri spreminjanju temperature, je ekstremno nizka temperatura tudi odstranila katode od okoliških materialov.

Rezultati kažejo na nekatere možne rešitve, je dejal Li. Z iskanjem materialov za baterije, ki so bolj prilagojeni glede temperaturnega odziva, bi lahko znanstveniki rešili problem ločevanja katod. S tem bi lahko izboljšali tudi druge baterije, saj se vse baterije med segrevanjem in ohlajanjem širijo in krčijo. Z inženiringom različnih struktur delcev v bateriji - predvsem z gradnjo iz bolj gladkih, manjših delcev v obliki

mesnih kroglic - bi lahko raziskovalci preprečili nastanek razpok in izboljšali dolgoročno zmogljivost litij-ionskih baterij.

Raziskava je bila financirana s subvencijami Nacionalne znanstvene fundacije. SSRL je uporabniška ustanova Urada za znanost DOE.

**Povzeto po:**

- <https://stanford.io/3dqUhTP>

<https://www6.slac.stanford.edu>



REVILJA ZA FLUIDNO TEHNIKO, AVTOMATIZACIJO IN MEHATRONIKO  
**VENTIL**

ISSN 1318 - 7279

Letnik 26

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo  
 Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana  
 Tel.: 01/ 4771 704  
 Faks: 01/ 4771 772  
 E-pošta: [ventil@fs.uni-lj.si](mailto:ventil@fs.uni-lj.si)  
 Internet: [www.revija-ventil.si](http://www.revija-ventil.si)

# Power Integrations proizvaja Buck Switcher IC z 850 mA izhodom za avtomobilске napajalnike

Power Integrations

*Podjetje Power Integrations (NASDAQ: POWI), vodilno na področju visokonapetostnih integriranih vezij za energetsko učinkovito pretvorbo energije, je predstavilo visokotokovnega člana družine avtomobilskih stikalnih integriranih vezij LinkSwitch™-TN2Q, ki zagotavlja izhodni tok do 850 mA brez potrebe po kovinskem hladilnem telesu.*

Visoko integrirani čipi podpirajo široko vhodno napetost od 30 do 550 VDC, kar napravam omogoča zagon in delovanje pod zahtevanim pragom varnostne zelo nizke napetosti (SELV) v aplikacijah za funkcionalno varnost električnih vozil.

Edward Ong, višji vodja trženja izdelkov pri podjetju Power Integrations, je dejal: "Ker je elektronika v električnih vozilih vse bolj izpopolnjena, stranke v avtomobilski industriji za njeno napajanje potrebujejo višje napajalne tokove. Nazivna vrednost 850 mA pri tem novem integriranem vezju pomeni 230-odstotno povečanje razpoložljivega izhodnega toka v primerjavi z drugimi člani družine LinkSwitch-TN2Q. IC LinkSwitch-TN2Q zmanjšuje število komponent, saj vključujejo krmilno, gonilno in zaščitno vezje ter 750-voltni močnostni MOSFET v SMD ohišju."

LinkSwitch-TN2Q IC-ji izpolnjujejo zahteve AEC-Q100 standarda in podpirajo topologije pretvornikov buck, buck-boost in neizoliranih flyback pretvornikov. Vsak čip vsebuje 750-voltni močnostni MOSFET, oscilator, nadzor vklopa/izklopa, visokonapetostni preklopni tokovni vir za samopobujanje, frekvenčno tresenje, hitro zaznavanje in omejevanje toka (cikel za ciklom), histerezno toplotno zaustavitev in izhodno vezje za prenapetostno zaščito, vse v monolitnem IC.

LinkSwitch-TN2Q IC-ji porabijo zelo malo toka v stanju pripravljenosti, kar omogoča zasnovano napajanja, ki brez težav doseže manj kot 50 mW brez obremenitve pri vhodu 400 VDC.



Obsežne zaščitne funkcije omogočajo varne in zanesljive napajalnike, vključno z zaščito pred vhodno in izhodno prenapetostjo, previsoko temperaturo naprave, izgubo regulacije in napakami zaradi preobremenitve ali kratkega stika na izhodu napajalnika.

## Razpoložljivost in viri

Za razvijalce, ki želijo preizkusiti družino integriranih vezij LinkSwitch-TN2Q, je na voljo referenčni komplet za razvoj, RDK -707Q. Cena čipov se začne pri 1,33 USD za LNK3209GQ-TL v količini 10.000 enot. Za dodatne informacije se obrnite na prodajnega predstavnika družbe Power Integrations ali na enega od pooblaščenih svetovnih distributerjev družb Digi-Key, Farnell, Mouser in RS Components.

## O podjetju Power Integrations

Podjetje Power Integrations, Inc. je vodilni inovator na področju polprevodniških tehnologij za visokonapetostno pretvorbo energije. Njegovi izdelki so ključni gradniki v ekosistemu čiste energije, saj omogočajo proizvodnjo energije iz obnovljivih virov ter učinkovit prenos in porabo energije v aplikacijah od milivatov do megavatov. Za več informacij obiščite [www.power.com](http://www.power.com). Avtor fotografije: Power integrations

<https://www.power.com>





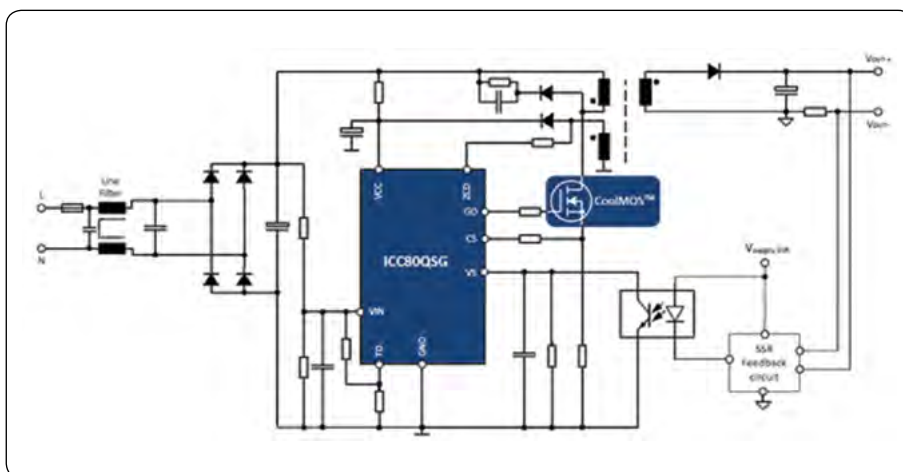
# Infineon je predstavil nov enostopenjski flyback krmilnik za polnjenje baterij, ki omogoča brezskrbno in razširljivo načrtovanje

Infineon Technologies AG

*Naprave na baterijski pogon, ki so eden najhitreje rastočih segmentov v industriji, zahtevajo energetske učinkovito, robustno in stroškovno učinkovito polnjenje baterij.*

Zato Infineon Technologies AG (FSE: IFX / OTCQX: IFNNY) razširja svojo ponudbo AC-DC krmilnih integriranih vezij s predstavitvijo enostopenjskega PWM ICC80QSG krmilnika za flyback topologije. IC je prilagojen za:

- polnilnike baterij, ki ponujajo razširljivo moč do 130 W,
- če so optimizirani z uporabo superjunction (SJ) MOSFET-ov CoolMOS™ P7,
- uporabo v adapterjih, tiskalnikih, osebnih računalnikih, televizorjih, monitorjih, set-top boxih in avdio ojačevalnikih.



IC za polnjenje baterije ICC80QSG ponuja kvaziresonančni način s preklopom v dolini n (QRMn). Njegovo QRM delovanje vključuje preprečevanje neprekinjenega prevodnega načina (CCM) in dolinsko preklapljanje v neprekinjenem prevodnem načinu (DCM) pri srednji do majhni obremenitvi. ICC80QSG v kombinaciji s CoolMOS™ P7 MOSFET je mogoče doseči visoko učinkovitost in nizke elektromagnetne motnje (EMI), kar omogoča prihranke pri celotni sestavi: pri flyback zasnovah je lahko potrebnih manj hladilnikov in tuljav. Poleg tega integrirana funkcija burst mode za zelo majhne obremenitve omogoča zasnovane z zelo nizko porabo energije v stanju pripravljenosti.

Prav tako ima ICC80QSG zmanjšano izhodno napetost gonilnika vrat med burst načinom, zaradi česar je idealen za zelo nizke obremenitve ali brez obremenitev z izjemnim delovanjem v stanju pripravljenosti v celotnem območju delovanja.

ICC80QSG uporablja metodo sekundarne regulacije (SSR), ki je idealna za regulacijo toka med polnjenjem baterije. Za večjo prilagodljivost zasnove omogoča nastavljivo kartiranje



časa vklopa v položaju spreminjanja doline za zeleno največjo delovno frekvenco preklopa ter nastavljiv največji čas vklopa, ki omejuje vhodno moč in tok, kar omogoča varno delovanje pri pogojih nizke napetosti. IC ima zunanje nastavljivo brown-in in brown-out histerezo za zaščito primarnega MOSFET-a, saj zagotavlja, da se med vhodno prenizko napetostjo s tesno histerezo brown-in/brown-out ne pregreje niti z manjšim hladilnim telesom. Skupaj z obsežnim naborom zaščitnih funkcij IC pomaga uresničiti enostavne, varne in robustne zasnove AC-DC polnilnikov baterij za številne aplikacije.

## Dobavljivost

IC za polnjenje baterij ICC80QSG so zdaj na voljo v PG-DSO-8 ohišju. Več informacij je na voljo na spletni strani [www.infineon.com/icc80qsg](http://www.infineon.com/icc80qsg).

Več informacij o Infineonovem prispevku k energetske učinkovitosti: [www.infineon.com/green-energy](http://www.infineon.com/green-energy)

## Povzeto po:

- <https://www.infineon.com/cms/en/about-infineon/press/market-news/2022/INFPS202209-118.html>

<https://www.infineon.com>



# Texas Instruments je v Teksasu začel graditi nove obrate za proizvodnjo 300-milimetrskih polprevodniških rezin

Texas Instruments

*Prelomna naložba bi lahko dosegla 30 milijard dolarjev in sčasoma ustvarila do 3.000 delovnih mest.*



Texas Instruments (TI) (Nasdaq: TXN) je v sredini letošnjega maja v Shermanu v Teksasu začel graditi nove obrate za proizvodnjo 300 mm polprevodniških rezin. Na slovesnosti ob položitvi temeljnega kamna, ki so se je udeležili izvoljeni uradniki in voditelji mesta, je predsednik in izvršni direktor družbe TI Rich Templeton proslavil začetek gradnje največje gospodarske naložbe zasebnega sektorja v zgodovini Teksasa in ponovil zavezo družbe, da bo dolgoročno širila svoje notranje proizvodne zmogljivosti.

Naložba v višini 30 milijard dolarjev vključuje načrte za štiri tovarne, ki bodo sčasoma zadovoljile povpraševanje in zagotovile do 3.000 neposrednih delovnih mest. Novi obrati bodo dnevno proizvedli več deset milijonov analognih in vgrajenih procesnih čipov, ki bodo namenjeni za vse vrste elektronike.

"Ta prelomni dogodek zaznamuje novo obdobje proizvodnje polprevodnikov v Shermanu, ki obeta desetletja gospodarskih priložnosti in izboljšanje kakovosti življenja v regiji," je dejal David Plyler, župan mesta Sherman. "Hvaležni smo podjetju TI za dolgoletno in stalno vlaganje v Sherman in se veselimo nadaljnjega partnerstva."

Proizvodnja v prvi tovarni v Shermanu se pričakuje leta 2025. Tovarni bosta dopolnili TI-jeve obstoječe 300-milimetrske tovarne, ki vključujejo DMOS6 (Dallas), RFAB1 in kmalu dokončano

RFAB2 (obe v Richardsonu, Teksas), ki naj bi začela proizvodnjo še letos. Poleg tega naj bi v začetku leta 2023 začela proizvodnjo tudi tovarna LFAB (Lehi, Utah). "Te naložbe v dolgoročne proizvodne zmogljivosti še povečujejo stroškovno prednost podjetja in zagotavljajo večji nadzor nad našo dobavno verigo," je dejal Templeton.

## O podjetju Texas Instruments

Texas Instruments Incorporated (Nasdaq: TXN) je svetovno podjetje za polprevodnike, ki razvija, proizvaja, preizkuša in prodaja analogne in ugnezdene procesne čipe za trge, kot so industrija, avtomobilska industrija, osebna elektronika, komunikacijska oprema in sistemi za podjetja. Njihova strast, da s polprevodniki ustvarjajo boljši svet, tako da naredijo elektroniško dostopnejšo, je živa še danes, saj vsaka generacija inovacij nadgrajuje prejšnjo, tako da je njihova tehnologija manjša, učinkovitejša, zanesljivejša in dostopnejša - kar omogoča, da polprevodniki pridejo v elektroniško povsod. To pojmuje kot inženirski napredek. To počnejo že desetletja. Več informacij najdete na TI.com.

### Povzeto po:

- <https://bit.ly/3RXzy9b>

<https://www.ti.com>





# Novi senzor položaja podjetja Vishay Intertechnology zagotavlja visoko zmogljivost v miniaturni velikosti za vojaške in industrijske aplikacije

Vishay Intertechnology, Inc.

*12,7 mm senzor s SSI izhodom združuje > 11-bitno natančnost in 14-bitno ločljivost z večjo zanesljivostjo in vzdržljivostjo.*

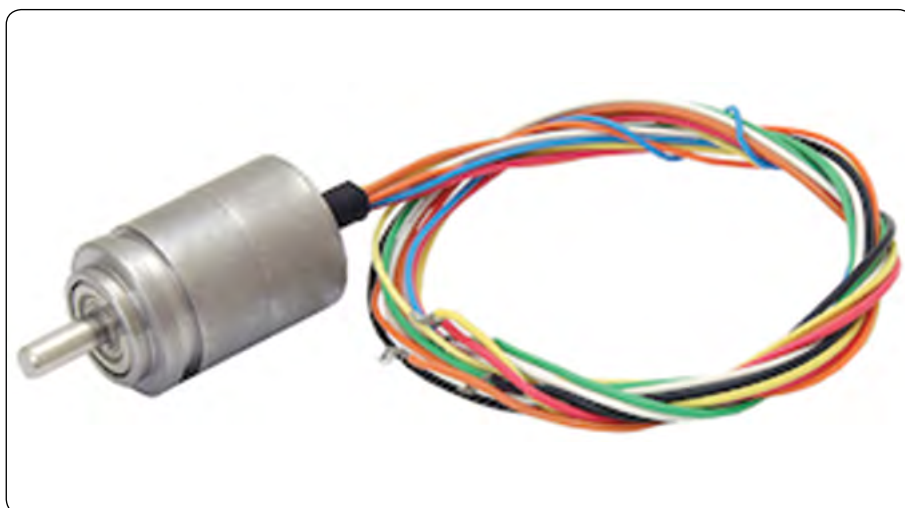
Vishay Intertechnology, Inc. (NYSE: VSH) je danes predstavil nov miniaturni senzor položaja z majhnim zunanjim premerom 12,7 mm, ki zagotavlja večjo natančnost in ločljivost kot konkurenčni senzori enake velikosti, hkrati pa ponuja večjo zanesljivost in vzdržljivost za težka delovna okolja, kot so vojaške in industrijske aplikacije. Vishay MCB RAME012 rotacijski absolutni magnetni dajalnik uporablja napredno brezkontaktno tehnologijo za doseganje > 11-bitne natančnosti in 14-bitne ločljivosti, hkrati pa ohranja robustnost proti zunanjim magnetnim poljem, onesnaženju zraka, vibracijam, mehanskim udarcem in spremembam temperature. Senzor ima uporaben električni kot 360° in deluje v temperaturnem območju od -40 °C do +105 °C.

Zasnova ohišja RAME012 – kot tudi njegova zasnova na osi, tanek premer in majhna teža (< 11 g) – so idealni za aplikacije, kjer je na voljo malo prostora, vendar je treba kotni položaj zaznati z visoko natančnostjo. Senzor je na voljo v varianti z enojnim obratom in z izhodnim signalom SSI, na zahtevo pa so na voljo tudi drugi mehanski in električni vmesniki.

S svojimi SSI izhodom in odličnim razmerjem med zmogljivostjo in velikostjo, senzor položaja ponuja popolno zamenjavo za potenciometre v sistemih za vodenje raket, kardanih za optične kroglice in iskalnike raket, sisteme za pozicioniranje za majhne industrijske aktuatorje (servo pogone) in večnamenske dimenzijsko mehansko merjenje površin s pomočjo 3D sond.

## Glavne prednosti RAME012 so:

- Visoka natančnost > 11 bitov
- Majhen zunanji premer 12,7 mm
- SSI izhod
- Plug-and-play delovanje, ki odpravlja potrebo po kalibraciji
- Široko delovno temperaturno območje od -40 °C do +105 °C
- Telo iz nerjavečega jekla



Ta tehnološka arhitektura zagotavlja najboljšo zmogljivost z varnostnimi jamstvi.

Vzorci in proizvodne količine RAME012 so na voljo zdaj, za večja naročila pa je dobavni rok 20 tednov.

Vishay ima enega največjih portfeljev diskretnih polprevodnikov in pasivnih elektronskih komponent na svetu, ki so bistvenega pomena za inovativne zasnove na avtomobilskem, industrijskem, računalniškem, potrošniškem, telekomunikacijskem, vojaškem, vesoljskem in medicinskem trgu.

Vishay, ki služi strankam po vsem svetu, je DNK tehnologije. Vishay Intertechnology, Inc. je podjetje na seznamu Fortune 1000, ki kotira na NYSE (VSH).

Več o Vishayju na [www.vishay.com](http://www.vishay.com). Fotografija je last [www.vishay.com](http://www.vishay.com).

## Povzeto po:

- <https://www.vishay.com/company/press/releases/2022/RAME012/>

<https://www.vishay.com>



# Omron dodaja kompaktne, visoko zmogljive DC releje za aplikacije v avtomobilski industriji in mobilnosti

Omron Corporation

*Trije novi releji PCB podjetja Omron Electronic Components Europe so namenjeni avtomobilski industriji in aplikacijam za mobilnost, kjer je malo prostora, visoka zmogljivost pa ključnega pomena.*

Novi Omronovi releji G8K, G8G in G8PM podpirajo nadzor visoko zmogljivih enosmernih motorjev. Novi releji imajo velikost in prostornino, ki je do 95 % manjša od podobnih relejev na trgu. Vsi releji so manjši od standardnih DA relejev in zagotavljajo visok kontaktni tlak z največjo velikostjo tuljave v kombinaciji z izolacijsko zmogljivostjo AC500V. Vsak rele je namenjen specifičnim potrebam različnih aplikacij za krmljenje motorjev v majhnem formatu, ki omogoča vgradnjo z visoko gostoto, kar zmanjšuje skupne stroške tiskanih vezij.

Omronovi trije novi miniaturni, visoko zmogljivi releji za enosmerni tok so namenjeni avtomobilskemu sektorju; vir fotografije: Omron

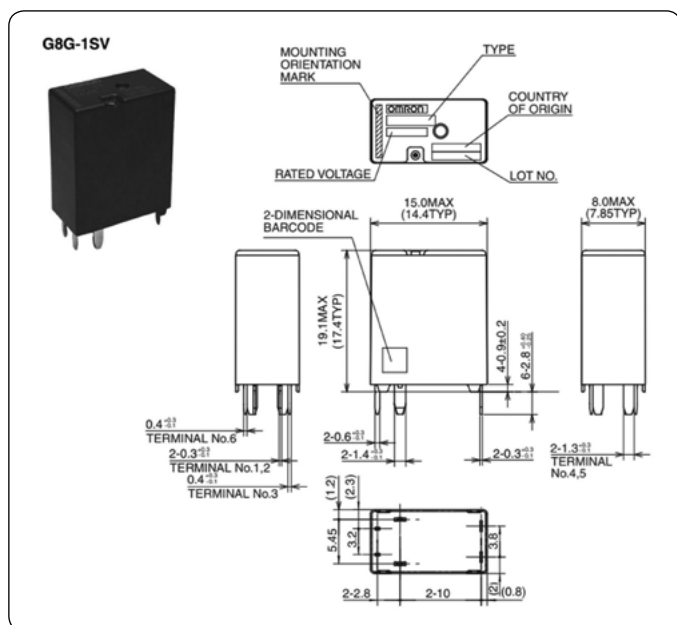
Ultraminiaturni releji serije G8K za kratkotrajno preklapljanje

v aplikacijah, kot je avtomobilska komfortna elektronika (npr. krmilniki sedežev, motorji za zaklepanje vrat in motorji strešnih oken), imajo 95 % prostornine in površine primerljivih relejev. Opcijska dvojna različica (dva združena releja) še poveča gostoto vgradnje. G8K releji, ki se ponašajo s kratkoročno tokovno zmogljivostjo 37 A in trajno tokovno zmogljivostjo 5 A ter vzdržljivostjo 100.000 operacij pri nazivni obremenitvi, lahko kljub kompaktnemu formatu zaradi kontaktov in zasnovave, ki sprošča toploto, zagotavljajo preklapljanje visoke moči.

Releji serije G8G so neposredna zamenjava za vtične releje tipa micro-ISO in so zaradi visoke toplotne odpornosti primerni za uporabo v motornih prostorih, njihova majhnost pa omogoča vgradnjo z veliko gostoto, kar pripomore k zmanjšanju velikosti končnih izdelkov. Rele G8G je na voljo v 24-voltni







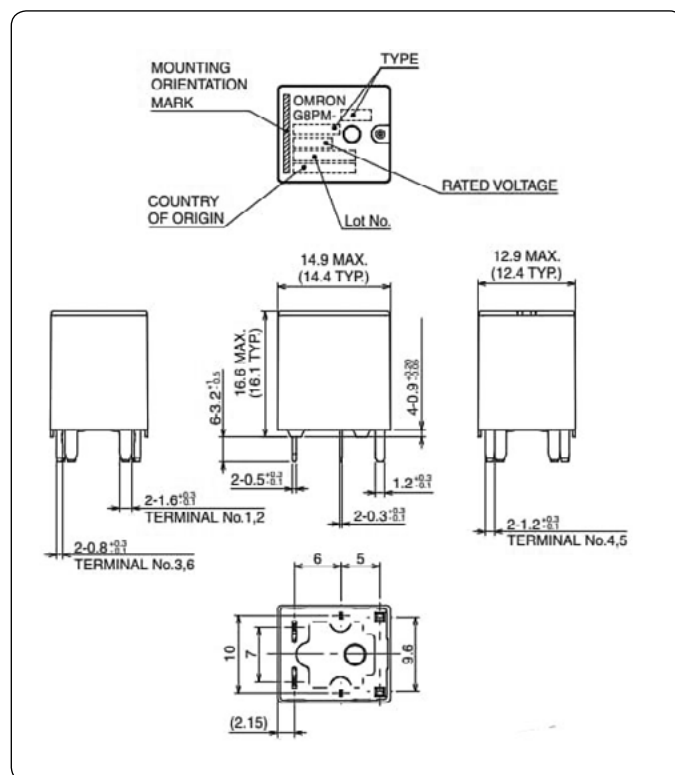
izvedbi - zaradi česar je na tem trgu edinstven kot zamenjava P-in releja za PCB rele - in je s 25 % manjšo velikostjo od alternativnih modelov primeren za uporabo v gospodarskih vozilih (npr. gretje sedežev, zaklepanje vrat, upravljanje sedežev, odmrzovalnik).

Nenazadnje je G8PM serija, ki ima patentirano kontaktno strukturo in ohranja prenosno pot ter zagotavlja visoko zanesljivost stika. Te releji so zasnovani kot nadomestek za tradicionalne mini ISO releje, vendar so za polovico manjši in imajo zmogljivost do 1 milijona operacij, so primerni za težje avtomobilске aplikacije, kot so ventilatorji hladilnikov motorjev, servoojačevalniki, črpalke goriva in zagonski motorji. Ti visokozmogljivi enosmerni preklopni releji za tiskana vezja omogočajo preklapljanje (uporovno) z napetostjo 14 V/45 A in visokim prenosnim tokom (40 A) pri visoki temperaturi okoli 125 °C.

Yoshiaki Anai, tehnični produktni vodja za aplikacijski inženiring pri podjetju Omron, je povedal: "Te novi releji so neposredni nadomestki za mikro ISO releje in še dodatno podpirajo avtomobilski sektor pri njegovih prizadevanjih za oblikovanje bolj kompaktnih tiskanih vezij, kar omogoča zmanjšanje velikosti končnih izdelkov. Vendar pa mora montažo visoke gostote spremljati zelo zanesljivo upravljanje toplote. Zlasti G8PM - s patentirano nizko temperaturo segrevanja kontaktov - ima zasnovano z dvema kontaktoma, ki ohranja zanesljivost in nizko segrevanje kontaktov tudi v primeru okvare enega od kontaktov."

Podjetje OMRON Corporation je 1. aprila 2022 objavilo, da se je njihov oddelek za elektromehanske komponente (EMC) preimenoval v OMRON Device and Module Solutions (DMS) v skladu z globalno dolgoročno vizijo "Oblikovanje prihodnosti 2030".

OMRON Electronic Components Europe je evropska podružnica oddelka za rešitve



za naprave in module. Spremenjeno ime divizije odraža novo usmeritev v zagotavljanje rešitev strankam po vsem svetu in v Evropi. Podjetje OMRON se sooča z novimi družbenimi in okoljskimi spremembami, česar se zaveda in se nanje odziva. Podjetje želi svojim strankam ponuditi rešitve, ki jim pomagajo pri spopadanju s temi univerzalnimi izzivi. V skladu z dolgoročno strategijo namerava OMRON še naprej prispevati k uvajanju novih virov energije in hitrih komunikacij, tako da bo omogočil izdelavo trdnjših, naprednejših in učinkovitejših naprav. Te naprave bodo ljudem olajšale in izboljšale življenje, zlasti z doseganjem ogljične nevtralnosti, uresničevanjem digitalne družbe in podaljševanjem povprečne življenjske dobe.

OMRON Electronic Components Europe močno podpira svoje stranke v zahodni in vzhodni Evropi z osmimi regionalnimi pisarnami, mrežo lokalnih pisarn in partnerstvi s specializiranimi, lokalnimi, regionalnimi in globalnimi distributerji.

### O podjetju OMRON Corporation

Podjetje OMRON Corporation je vodilno podjetje na področju avtomatizacije, ki temelji na osnovni tehnologiji "zaznavanje in nadzor + razmišljanje". Poslovna področja podjetja OMRON za-

jemajo širok spekter, od industrijske avtomatizacije in elektronskih komponent do sistemov družbene infrastrukture, zdravstvenih in okoljskih rešitev. Podjetje OMRON, ustanovljeno leta 1933, ima po vsem svetu približno 30.000 zaposlenih, ki zagotavljajo izdelke in storitve v približno 120 državah in regijah. Za več informacij obiščite <https://www.omron.com/global/en/>

<https://omron.eu>



# Nov miniaturni koaksialni reed rele za visokofrekvenčne sisteme do 3 GHz

Pickering Electronics

*Pickering Electronics predstavlja releje serije 113RF z zaščitnim plaščem za digitalne preklopne sisteme, ki zahtevajo nizke radijske izgube in nizke prenosne izgube.*

Podjetje Pickering Electronics, ki je že več kot 50 let pionir na področju miniaturizacije in visoke zmogljivosti, je predstavilo nove miniaturne koaksialne reed releje za visokofrekvenčne sisteme do 3 GHz. Reed releji serije 113RF SIL/SIP imajo razmik med ohišji 2 mm, kar omogoča, da jih je mogoče zlagati v niz z zelo visoko gostoto.

Na vprašanje: "Kdaj bi bili reed releji najboljša rešitev za radiofrekvenčne in visokofrekvenčne digitalne preklopne sisteme?" je Kevin Mallett, tehnični strokovnjak pri podjetju Pickering Electronics, odgovoril: "Ti majhni, reed releji z zaščito so hitrejši in manjši od elektromehanskih relejev (EMR), imajo manjše prenosne izgube in boljše zmogljivosti za enosmerni tok kot polprevodniški releji (SSR) ter boljšo zmogljivost vročega preklopa kot mikroelektromehanski izdelki (MEM)."

Reed releji serije 113RF so primerni za preklapljanje do 10 W, 0,5 A. 1 Konfiguracije v obliki A (SPST normalno odprto) so na voljo s 3V ali 5V tuljavami z upornostjo tuljav do 100 oziroma 300 Ohmov.

Pri nizkih ravneh je pričakovana življenjska doba reed relejev serije 113RF daljša od 250 milijonov zanesljivih preklopov. Releji uporabljajo najkvalitetnejša instrumentalna reed stikala z

razpršenimi rutenijevimi kontakti in so idealni za avtomatsko preskusno opremo.

Vsi reed releji serije 113RF imajo vgrajen notranji mu-metalni magnetno zaščito, ki omogoča visoko gostoto zlaganja relejev brez tveganja, da bi se sosednje naprave med seboj motile in povzročile okvaro delovanja.

Pickering zdaj ponuja koaksialno RF možnost v številnih svojih majhnih, instrumentalnih linijah za reed releje do 5 GHz. Več informacij o novem 3 GHz 113RF je na voljo na [1].

Pickering ponuja več kot tisoč standardnih kataloških reed relejev. Za tiste, ki potrebujejo nekaj bolj po meri, pa podjetje ponuja številne standardne možnosti izdelave, vse do popolnoma prilagojenega dela, odvisno od zahtev. Če vas na primer zanima model 113RF, vendar zahtevate drugačen tloris ohišja, posebne napetosti tuljav ali vrednosti upornosti, bo podjetje z veseljem sodelovalo z oblikovalcem, da bo izpolnilo zahtevo po natančni specifikaciji.

## O podjetju Pickering Electronics

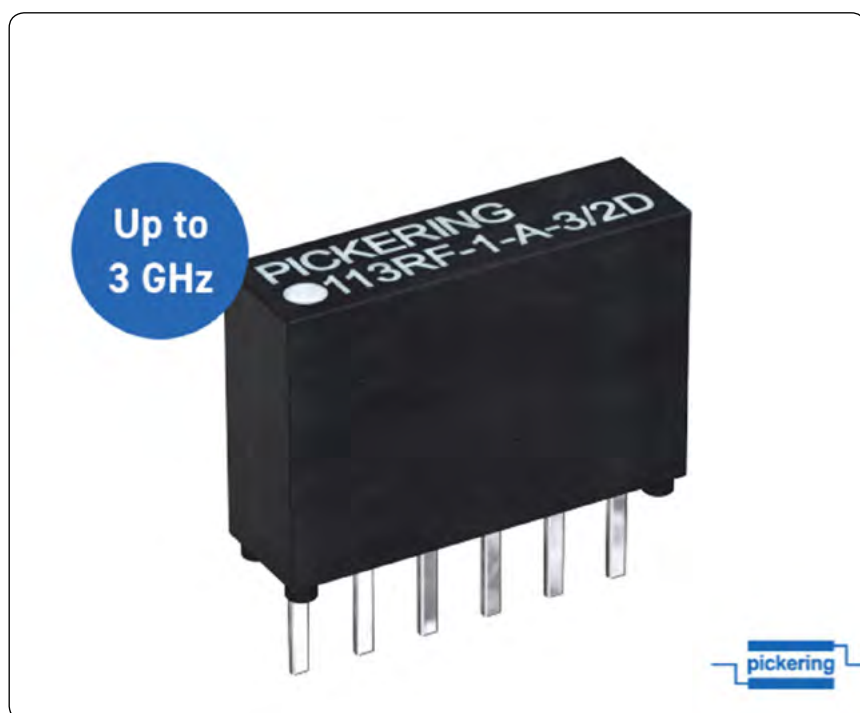
Podjetje Pickering Electronics je bilo ustanovljeno pred več kot 50 leti z namenom oblikovanja in izdelave visokokakovostnih reed relejev, namenjenih predvsem za uporabo v instrumentacijski in testni opremi. Danes je Pickeringova ponudba relejev Single-in-Line (SIL/SIP) daleč najbolj razvita v industriji relejev z napravami, ki so za 25 % manjše od številnih konkurentov. Ti majhni SIL/SIP reed releji se v velikih količinah prodajajo velikim ATE podjetjem in polprevodniškimi podjetjem po vsem svetu.

Skupina Pickering v zasebni lasti vključuje tri proizvajalce elektronike: podjetje Pickering Electronics, ki proizvaja reed releje, podjetje Pickering Interfaces, ki načrtuje in proizvaja modularne izdelke za preklapljanje signalov in simulacijo, ter podjetje Pickering Connect, ki načrtuje in proizvaja kable in konektorje.

### Viri:

- 1: <https://bit.ly/3UuuLB>

<https://www.pickeringrelay.com>





# Univerzalni programator/ razhroščevalnik edinstveno omogoča Wi-Fi delovanje

MIKROE

CODEGRIP podjetja MIKROE podpira ARM® Cortex®-M, RISC-V, PIC®, dsPIC, PIC32 in AVR MCU arhitekture.



MikroElektronika (MIKROE), podjetje za ugnezdene rešitve, ki dramatično skrajša čas razvoja z zagotavljanjem inovativnih izdelkov strojne in programske opreme, ki temeljijo na preverjenih standardih, je lansiralo UNI CODEGRIP [1], univerzalni programator in razhroščevalnik za ARM® Cortex®-M, RISC-V, PIC®, dsPIC, PIC32 in AVR MCU arhitekture. Edinstveno CODEGRIP orodje razvijalcem omogoča programiranje in odpravljanje napak v svojih projektih prek Wi-Fi in USB-C povezav.

Z premostitvijo razlik med različnimi MCU-ji UNI CODEGRIP omogoča programiranje in odpravljanje napak velikega števila MCU-jev različnih proizvajalcev. Dodanih je več MCU-jev, posodobitve pa bodo brezplačne za celotno življenjsko dobo izdelka.

Medtem ko vmesnik USB-C priključka ponuja izboljšano zmožljivost in zanesljivost, v primerjavi s tradicionalno uporabljene USB priključki tipa A/B, brezžična povezaljivost na novo definira način uporabe razvojne plošče. CODEGRIP je na primer mogoče postaviti na težko dostopna mesta, kot so nevarna okolja, kmetijski obrati ali stolpnice, hkrati pa omogoča popoln dostop za odpravljanje napak in programiranje. Nebojša Matić, izvršni direktor pri MIKROE, dodaja: "Podvajanje strojne opreme uporabnika je bilo vedno izziv, a odpravljanje napak prek Wi-Fi omogoča tehnični podpori neposreden dostop do strojne opreme uporabnika."

Grafični uporabniški vmesnik (GUI) zbirke CODEGRIP je jasen, intuitiven in enostaven za učenje ter zagotavlja zelo prijetno uporabniško izkušnjo. Vgrajeni HELP sistem ponuja podrobne smernice za vsak vidik zbirke CODEGRIP. CODEGRIP je na voljo kot samostojna naprava in kot integriran vgrajeni modul.

## O podjetju MikroElektronika

MikroElektronika (MIKROE) je zavezana spreminjanju industrije ugnezdene elektronike z uporabo standardnih industrijskih strojnih in programskih rešitev. Leta 2011 je podjetje izumilo standard razvojne vtičnice mikroBUS™ in kompaktne Click plošče, ki uporabljajo standard za dramatično skrajšanje časa razvoja. Zdaj podjetje ponuja 1000 Click plošč – desetkrat več kot pri konkurentih, standard mikroBUS pa so v svoje razvojne plošče vključila vodilna podjetja mikrokontrolerjev, kot so Microchip, Renesas in Toshiba. Si-BRAIN je MIKROE-jev zadnji standard za MCU razvojne plošče in vtičnice. MikroElektronika izdeluje tudi najširšo paleto prevajalnikov na svetu in dodatno zagotavlja razvojna okolja, razvojne plošče, pametne zaslone ter programatorje in razhroščevalnike.

## Viri:

- 1: <https://www.mikroe.com/uni-codegrip>

<https://www.mikroe.com>



# Novi brezžični Bluetooth® LE MCU-ji omogočajo visokokakovostno VF povezavo in cenovno dostopno energetsko učinkovitost

Texas Instruments

*Inženirji lahko z novimi brezžičnimi MCU-ji CC2340 podjetja TI dodajo Bluetooth Low Energy tehnologijo v več izdelkov kot kdaj koli prej.*

Texas Instruments (TI) (NASDAQ: TXN) je razširil svoj portfelj povezljivosti z novo družino brezžičnih mikrokontrolerjev (MCU), ki omogočajo visokokakovostni Bluetooth® Low Energy (LE) po polovični ceni konkurenčnih naprav. Družina SimpleLink™ Bluetooth LE CC2340, ki jo odlikujeta najnižji tok v stanju pripravljenosti in radiofrekvenčna (RF) zmogljivost v svojem razredu, je zgrajena na temeljih TI-jevega večdesetletnega strokovnega znanja na področju brezžičnega povezovanja. Cene za družino CC2340 se bodo začele že pri 0,79 USD, kar inženirjem omogoča cenovno dostopno dodajanje povezljivosti Bluetooth LE v več izdelkov. Za več informacij si oglejte [www.ti.com/cc2340](http://www.ti.com/cc2340).

"Po napovedih bo leta 2022 v celotni industriji dobavljenih 5 milijard naprav s tehnologijo Bluetooth®," je dejal Mark Powell, izvršni direktor organizacije Bluetooth Special Interest Group (SIG), ki skrbi za standardizacijo Bluetooth tehnologije. "Zavezanost in sodelovanje članov skupine Bluetooth SIG, kot je Texas Instruments, omogočata, da Bluetooth tehnologija izpolnjuje vse večje zahteve po izboljšani brezžični povezljivosti v večjem številu aplikacij. Hvaležen sem za prispevke naših članov pri zagotavljanju inovativnih rešitev, ki koristijo Bluetooth ekosistemu in prispevajo k širši uporabi Bluetooth tehnologije."

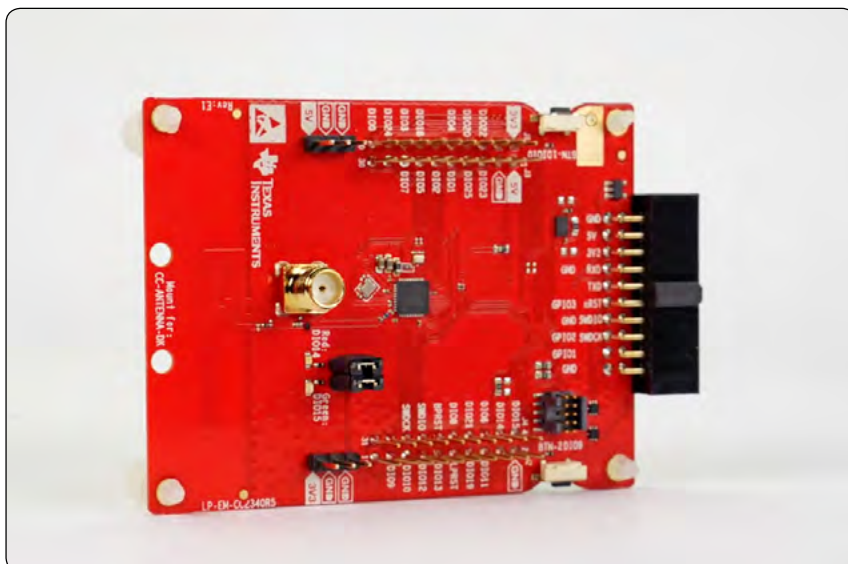
TI je brezžične MCU-je CC2340 predstavil na stojnici št. 3A-215 na sejmu Embedded world v Nürnbergu v Nemčiji od 21. do 23. junija 2022.

"Sprejemanje Bluetooth LE tehnologije je vse hitrejše, naša predstavitev družine CC2340 v ugnezenem okolju pa vam bo pokazala, kako lahko hitro in enostavno dodate to tehnologijo v katero koli aplikacijo," je dejal Marian Kost, podpredsednik in generalni direktor za povezljivost v podjetju Texas Instruments. "Novi MCU-ji bodo zagotavljali visokokakovostno RF in energetsko zmogljivost po dostopni ceni, podprti z neprimerljivo tehnično podporo in notranjimi naložbami v proizvodne zmogljivosti, ki bodo pomagale zadovoljiti povpraševanje naših strank v prihodnjih letih."

## Izvedba odličnih lastnosti na radijskih frekvencah in porabi moči po dostopni ceni

Brezžična MCU CC2340R2 in CC2340R5 z 256 KB oziroma 512 KB Flash pomnilnikom zagotavljata izjemno prilagodljivost za inženirje in dovolj prostora za aplikacijsko kodo. Poleg tega zaradi širjenja Bluetooth LE aplikacij razvojniki potrebujejo dodatno pomnilniško zmogljivost za enostavno posodabljanje programske opreme na daljavo. Nova družina brezžičnih MCU ima 36 KB RAM pomnilnika s podporo za prenos prek spleta.

Novi MCU-ji trošijo najnižji tok v stanju pripravljenosti, ki je nižji od 830 nA, kar je 40 odstotkov manj od konkurenčnih MCU-jev. Zmanjšanje toka pripravljenosti pomaga podaljšati življenjsko dobo baterije do 10 let z baterijo v obliki kovanca v brezžičnih aplikacijah, kot so elektronske etikete na policah in sistemi za nadzor tlaka v pnevmatikah. Družina CC2340 ima tudi temperaturno območje delovanja od -40 °C do 125 °C, kar pomaga zagotoviti stabilno povezavo v različnih aplikacijah, od industrijskih senzorjev in medicinskih laboratorijev







do zunanjih okolij, kot so polnilnice za električna vozila ali pametni števc.

Poleg tega lahko inženirji povečajo RF zmogljivost in doseg povezave z izhodno močjo do +8 dBm, kar je največ med konkurenčnimi brezžičnimi Bluetooth LE MCU-ji. Poleg tega imajo CC2340 naprave vgrajen VF balun, ki omogoča enostavnejšo zasnovo z manj zunanjimi komponentami, kar vodi k zmanjšanju stroškov.

## Omogočanje širšega sprejetja Bluetooth LE tehnologije

Z večjim pomnilnikom, daljšo življenjsko dobo baterije in širšim temperaturnim obsegom po dostopni ceni lahko inženirji omogočijo več povezanih vsakodnevnih aplikacij, kot so:

- *Medicinski pripomočki: v merilnikih sladkorja, na primer, je tok pripravljenosti MCU CC2340 manjši od 830 nA, razlog za 18 do 24 mesecev delovanja končnega izdelka in dva tedna aktivnega delovanja Bluetooth LE z baterijo v obliki kovanca.*
- *Avtomatizacija stavb: MCU-ji CC2340 MCU podpirajo brezžične protokole in izhodno moč do +8 dBm.*
- *Osebna nega: za izdelke, kot je električna zobna ščetka, brezžični MCU-ji CC2340 zagotavljajo nizko porabo energije v načinu mirovanja in lahko podaljšajo življenjsko dobo baterije.*

## Vključite Bluetooth v dveh minutah ali manj

Na sejmu Embedded world so lahko obiskovalci TI-jeve stojnice uporabili razvojni komplet SimpleLink CC2340 LaunchPad™ za vzpostavitev Bluetooth LE povezave v dveh minutah ali manj. TI je ves čas sejma prikazoval, kako lahko njegovi izdelki pomagajo inženirjem pri premagovanju izzivov na področju umezne inteligence, povezljivosti in avtomobilske zasnove. Če si želite ogledati virtualne predstavitve in s tem povezane bele

knjige, tehnične članke in usposabljanje na zahtevo, obiščite [TI.com/embeddedworld](https://www.ti.com/embeddedworld).

Da bi poenostavili uporabo, se lahko inženirji povežejo s TI-jevimi inženirji za aplikacije prek foruma za podporo TI E2E™ Bluetooth. Inženirji imajo tudi dostop do preizkušenega, brezplačnega programskega Bluetooth LE sklada, ki ga TI podpira in posodablja od leta 2010.

## Ohišje, razpoložljivost in cene

Za začetek uporabe brezžičnih MCU CC2340 lahko stranke zahtevajo vzorce in razvojni komplet (LP-EM-CC2340R5) po ceni 39 USD. Novi brezžični MCU-ji bodo predvidoma v serijski proizvodnji v prvi polovici leta 2023.

Cene za CC2340 družino se bodo začele že pri 0,79 USD v količini 1000 kosov. Če želite izvedeti več o novi brezžični družini MCU, si oglejte [www.ti.com/cc2340](https://www.ti.com/cc2340).

## O podjetju Texas Instruments

Texas Instruments Incorporated (Nasdaq: TXN) je svetovno podjetje za polprevodnike, ki razvija, proizvaja, preizkuša in prodaja analogne in ugnezdene procesne čipe za trge, kot so industrija, avtomobilska industrija, osebna elektronika, komunikacijska oprema in sistemi za podjetja. Njihova strast, da so polprevodniki ustvarjajo boljši svet, tako da naredijo elektroniško dostopnejšo, je živa še danes, saj vsaka generacija inovacij nadgrajuje prejšnjo, tako da je njihova tehnologija manjša, učinkovitejša, zanesljivejša in dostopnejša - kar omogoča, da polprevodniki pridejo v elektronično povsod. To pojmuje kot inženirski napredek. To počnejo že desetletja. Več informacij najdete na [TI.com](https://www.ti.com). Fotografija: [www.ti.com](https://www.ti.com).

Povzeto po:

- <https://bit.ly/3eB77im>

<https://www.ti.com>



# Odprava pretvornikov nivojev v mikrokontrolerskih aplikacijah (2)

*Microchip Technology Inc.*

*Avtor teksta in fotografij: Robert Perkel, Microchip*

*V prvem delu članka smo obravnavali novo periferno povezavo, imenovano Multi-Voltage I/O (MVIO), ki je na voljo v družini AVR® DB mikrokontrolerjev.*

Na kratko, MVIO je notranji pretvornik napetostnih nivojev na plošči mikrokontrolerja, ki omogoča, da en vhodno-izhodni priključek deluje v drugačnem napetostnem območju kot preostali deli naprave. S tem se zmanjšata popis materiala (BOM) in površina tiskanega vezja, hkrati pa je zagotovljena večja prilagodljivost kot pri zunanjih rešitvah. V drugem delu te serije si bomo ogledali uporabo MVIO v konkretni aplikaciji.

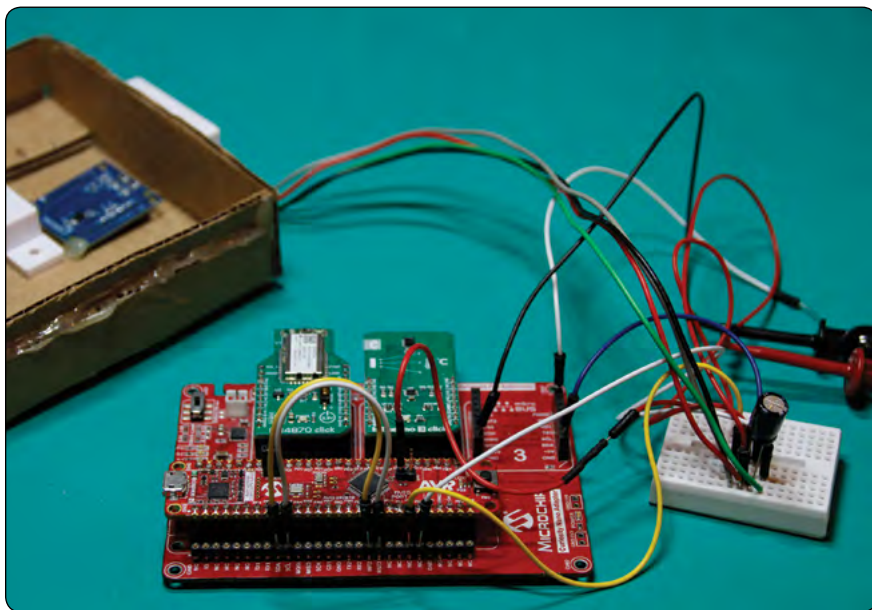
Eden najpreprostejših načinov za ugotavljanje, ali je okno odprto, je uporaba magnetnega stikala. Reed stikalo je preprosta naprava z električnimi kontakti, ki se odprejo ali zaprejo zaradi prisotnosti magnetnega polja. Če na okno pritrdimo magnet, stikalo pa namestimo v fiksni položaj, lahko stanje okna določimo s preverjanjem kontaktov reed stikala. Vendar pa ima reed stikalo dve omejitvi.

Prvič, ne more razlikovati med malo odprtim (okno odprto na »V«, op. ur.) in polno odprtim oknom. Če je alarm vklopljen, okna ni mogoče samo malo odpreti, ne da bi se alarm sprožil. Drugič, na reed stikalo je mogoče zlahka vplivati, če se v njegovo bližino postavi drugi magnet. Drugi magnet drži kontakte stikala nepremične, medtem ko je okno odprto.

Da bi izboljšali odpornost proti ponarejanju in uporabi, je bila razvita alternativna rešitev z magnetometrom. Za razliko od reed stikala, ki je bodisi odprto bodisi zaprto, magnetometer meri in digitalizira komponente magnetnega polja. S spremljanjem komponent polja lahko senzor razlikuje med malo odprtim in široko odprtim oknom in je veliko bolj odporen proti nedovoljenemu spreminjanju magnetov, nameščenih v bližini sensorja.

Da bi dokazali prednosti rešitve, ki temelji na magnetometru, smo skupaj z družbo Melexis, svetovnim dobaviteljem mikroelektronskih polprevodniških rešitev, razvili pametni varnostni senzor za okna. Mikrokontroler je iz AVR DB družine, prve družine mikrokontrolerjev, ki ima MVIO periferno funkcijo.

Za spremljanje jakosti magnetnega polja je bil uporabljen 3D



*Slika 1: Preskusno fiksno ogrodje in nastavitve prototipa*

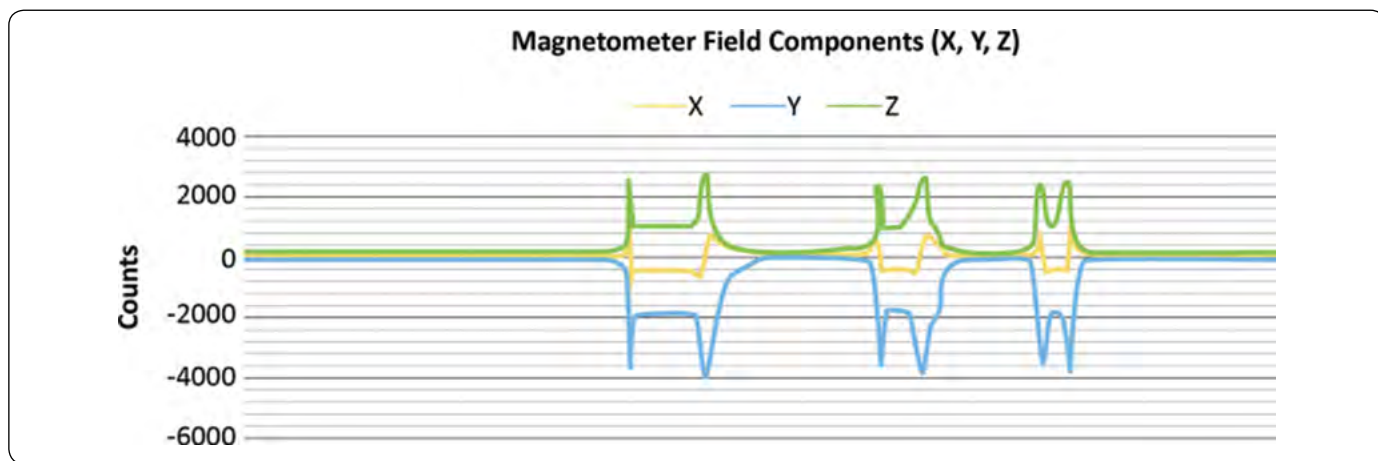
magnetometer MLX90392 [1]. Magnetometer se napaja iz 1,8 V in komunicira prek I2C. V tej demonstraciji je uporabljen tudi MLX90632 Far Infra-Red (FIR) senzor [2] za spremljanje temperature v prostoru. Izbrani FIR senzor je boljše izbira kot lokalni temperaturni senzor, saj bodo na mestu meritve prisotni zračni prepahi in neposredna sončna svetloba, ki bodo povzročili napake pri meritvah. Medtem ko se MLX90632 napaja s 3,3 V, obstaja različica naprave, zasnovana za 1,8 V I2C komunikacijo.

Za brezžično povezljivost je bil zaradi preprostosti uporabljen RN4870 Bluetooth® modul [3]. To uporabniku omogoča interakcijo s predstavitevni modelom s pametnega telefona, namesto da bi uporabljal po meri razvit komunikacijski most. V produkcijski aplikaciji pa bi za vsako senzorsko vozlišče priporočali prehod na alternativno preprostejšo in manj zmogljivo radijsko rešitev, kot je Sub-GHz radio [4]. Izvorna koda in dokumentacija sta navedeni na koncu članka.

## Sestava prototipa in razvoj naprave

Za razvoj smo uporabili Curiosity Nano Base for Click boards™





**Slika 2: Grobe vrednosti magnetnega polja magnetometra**

(AC164162) [5] z AVR DB Curiosity Nano (EV35L43A) razvojno ploščo [6]. RN4870 in temperaturni senzor MLX90632 sta na voljo na ploščah Click podjetja MikroElektronika (RN4870 Click [7] in IrThermo 3 Click [8]). Magnetometer MLX90392 je dobavila družba Melexis na predhodno sestavljeni razvojni plošči (EVB90392) [9].

Po začetnem testiranju komunikacije s senzorjem smo hitro ugotovili, da bo potrebna fiksna preizkusna naprava za nadzor položaja magneta in senzorja. S pomočjo naših latentnih umetniško-obrtniških sposobnosti smo iz kartona in vročega lepila sestavili preprosto preskusno napravo, ki je prikazana na sliki 1.

Majhni beli škatlici, ki sta pritrjeni na napravo sta standardno reed stikalo, ki je na voljo v trgovinah. Priloženi magnet je bil uporabljen kot primer standardnega varnostnega magneta za namene testiranja.

## Magnetometer

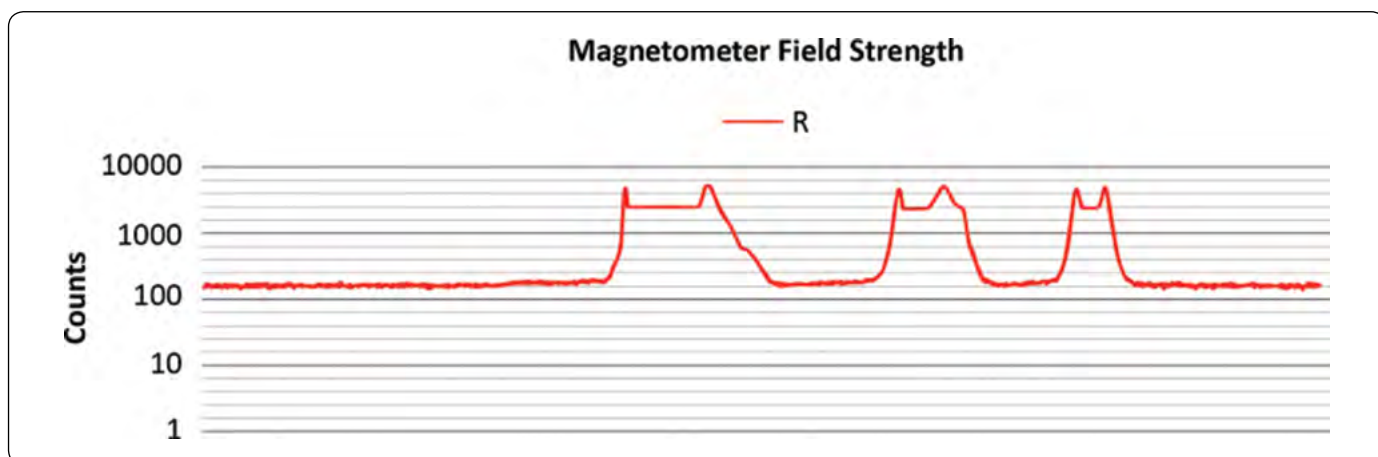
Konceptualno bi se zdelo, da bi bilo najenostavneje izvesti okenski alarm tega sistema, vendar je bilo to veliko bolj zapleteno, kot smo sprva mislili. Razlogov za dodatno zapletenost je več.

Prvič, magnetometer je izredno občutljiv. Majhne razlike v

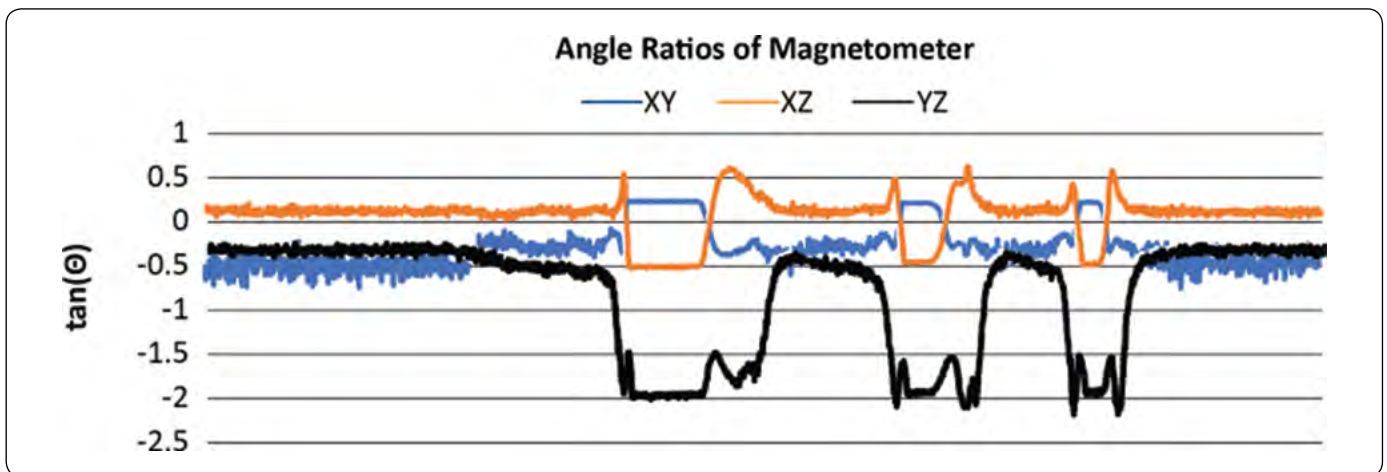
položaju magneta ali magnetometra bi močno spremenile številke. Grafi na sliki 2 so bili dobljeni iz surovih vrednosti magnetometra brez kalibracije ali normalizacije. Med zbiranjem podatkov je drsni mehanizem drsel naprej in nazaj.

Namesto neposrednega spremljanja največje in najmanjše vrednosti vsake komponente, ki se spreminjata glede na položaj namestitve senzorja, smo namesto tega uporabili skupno jakost magnetnega polja ( $R$ ). Zaradi optimizacije programske opreme aplikacija uporablja kvadrat magnetne poljske jakosti. Spodnji graf prikazuje velikost magnetnega polja med istim preskusom. V aplikaciji je magnituda izračunana iz normaliziranih 16-bitnih vrednosti.

Da bi bil sistem na splošno bolj občutljiv, so bile vrednosti magnetnega polja v vsaki osi normalizirane. Iz prikazanih vzorčnih podatkov je razvidno, da je vrednost Y osi največja, sledi ji os Z in nato os X. Vsaka os se povečuje z drugačno hitrostjo kot druge. To je intuitivno smiselno, saj bo magnetni tok največji v pravokotni smeri in najšibkejši v vzporedni. Za normalizacijo vsake osi mikrokontroler vsako od njih premeri tako, da rezultate premakne v desno, da ustrezajo podpisani 8-bitni vrednosti. Faktorji skaliranja se izračunajo med uporabniškim zaporedjem kalibracije, da je sistem na splošno bolj občutljiv. Prvotno je aplikacija nameravala izračunati tudi kotna razmerja X/Y, X/Z in Y/Z za dodatno odpornost proti nepooblaščenim



**Slika 3: Magnetna poljska jakost**



Slika 4: Razmerja X/Y, X/Z in Y/Z

posegom. Vendar se je med testiranjem izkazalo, da je ta izračun zelo nezanesljiv zaradi velikih razlik v intenzivnosti polja. Ti koti so povečali porabo pomnilnika in aktivni čas demo različice. Ugotovili smo, da aplikacija dobro deluje tudi brez njih, zato smo jih onemogočili z makrom. Izračunana kotna razmerja iz prejšnjih podatkov so prikazana na sliki 4. Za zanesljivo uporabo magnetometra smo razvili postopek kalibracije v štirih korakih. Ta postopek je treba izvesti med začetno nastavitvijo, vendar ga lahko uporabnik po potrebi pozneje ponovno sproži. Štirje koraki za umerjanje aplikacije so naslednji:

- Ničenje
- Normalizacija
- Nastavitev praga
- Verifikacija

Pri ničenju je okno popolnoma odprto, zato je magnet najbolj oddaljen od senzorja. Povprečna vrednost, zabeležena za vsako os, je opredeljena kot vrednost odmika. Nato se okno zapre, s čimer se magnet približa senzorju. V tem položaju se izračuna povprečje intenzivnosti polja v vsaki osi. Po določenem številu vzorcev mikrokontroler izračuna normalizacijski faktor za vsako os.

Nato uporabnik odpre okno do zelenega odprtega/zaprtega praga. Medtem ko uporabnik odpira okno, aplikacija spremlja največjo zabeleženo jakost polja (R2). Glede na postavitve mora biti največja poljska jakost v položaju zaprtega okna ali blizu tega položaja.

Po tem koraku uporabnik zapre okno. Na tej točki sistem preveri, ali se bo med zapiranjem okna sprožil alarm. Če se alarm sproži, umerjanje ni bilo uspešno in ga je treba ponoviti. Ko je umerjanje uspešno, se vrednosti zapišejo v notranji EEPROM za poznejšo uporabo.

## Uporaba temperaturnega senzorja

Za vmesnik s senzorjem MLX90632 smo razvili nov lahek API vmesnik, ki je bil zasnovan tako, da za izboljšanje zmogljivosti izkorišča funkcije, značilne za mikrokontroler. V primeru MLX90632 temperaturnega senzorja smo izvedli sistem predpomnjenja kalibracijskih konstant za shranjevanje tovarniških

konstant senzorja v EEPROM mikrokontrolerja. To samodejno izvede mikrokontroler. Ob zagonu mikrokontroler preveri svoj EEPROM, da ugotovi, ali so bile konstante iz senzorja programirane v pomnilnik. Za preverjanje konstant mikrokontroler:

- uskladi shranjeno serijsko številko s serijsko številko senzorja.
- preveri XOR serijske številke na koncu pomnilniškega segmenta.

Če katero od preverjanj ni uspešno, mikrokontroler ponovno pridobi konstante senzorja, izračuna ekvivalente s plavajočo vejico in jih nato ponovno zapiše v EEPROM. Če je pomnilnik veljaven, mikrokontroler preprosto prebere shranjene konstante, namesto da bi jih ponovno pridobil in izračunal.

To funkcijo lahko v programski opremi onemogočite tako, da razveljavite definicijo makra. Če ob vklopu aplikacije držite tipko za umerjanje, se aplikacija zažene v varnem načinu, v katerem so vse nastavitve in vrednosti v EEPROM-u neveljavne in se jih ponovno pridobi/preprogramira (če je to omogočeno).

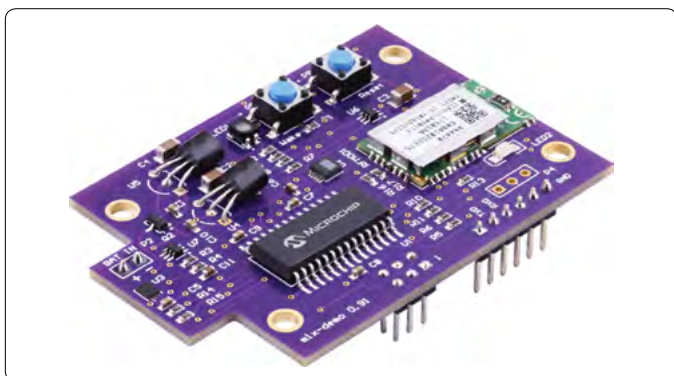
## Delovanje pri 1,8V

Pri napetosti 1,8 V je treba serijsko komunikacijo obravnavati bolj previdno kot pri običajnejših vrstah komunikacij, ki potekajo pri 3,3 V ali 5 V. Notranji pull-up upori v mikrokontrolerju so bili na primer prešibki, da bi vodilo izpolnjevalo časovne zahteve. Da bi rešili to težavo, smo na vodilo dodali zunanje pull-up upore.

Med zgodnjim testiranjem smo skušali neposredno izmeriti porabo toka zunanjega 1,8V napajalnika z natančnim digitalnim multimetrom. Vendar je bila obremenitvena napetost multimetra ravno dovolj velika, da je vodilo med serijsko komunikacijo izklopilo zaradi Brown-out zaščite. To težavo smo v prototipu rešili tako, da smo napajalniku dodali velik kondenzator, ki je zagotovil, da je vodilo ostalo nad pragom za izklop, medtem ko je merilnik meril porabo toka. Pri polni uporabi to ni težava, saj je tok mogoče meriti na vhodu za napajanje, napajalniki pa so regulirani na plošči in ne zunaj nje.

## Končni rezultati

Ko je sistem pravilno deloval, smo začeli razvijati posebno ploščico tiskanega vezja (TIV). Na sliki 5 je razvita ploščica (fotografirana



**Slika 5: Razviti prototip**

brez plastičnega ohišja). Prototip sistema je bil predstavljen na sejmu Sensors Expo na stojnici podjetja Microchip.

## Zaključne ugotovitve

Povezovanje različnih napetosti je ključni element številnih zasnov. V večini primerov je treba za pretvorbo med napetostnimi domenami uporabiti zunanji pretvornik ravni. MVIO to komponento odpravi in jo integrira v mikrokontroler, zaradi česar je za razvijalca skoraj nevidna. Obstaja veliko možnih zasnov in aplikacij, ki jim bo dodana periferna enota MVIO v sistemu koristila. Posebna zahvala za pomoč pri razvoju te aplikacije gre družbi Melexis.

### Izvorna koda in dokumentacija sta na voljo tukaj:

- <https://github.com/microchip-pic-avr-examples/avr128db-28-smart-security-sensor-mplab>

### Viri:

- 1: <https://www.melexis.com/en/product/MLX90392/3D-Magnetometer-micro-power-and-cost-conscious>
- 2: <https://www.melexis.com/en/product/MLX90632/Miniature-SMD-Infrared-Thermometer-IC>
- 3: <https://www.microchip.com/en-us/product/RN4870>
- 4: <https://www.microchip.com/en-us/products/wireless-connectivity/sub-ghz>
- 5: <https://www.microchip.com/en-us/development-tool/AC164162>
- 6: <https://www.microchip.com/en-us/development-tool/EV35L43A>
- 7: <https://www.mikroe.com/rn4870-click>
- 8: <https://www.mikroe.com/ir-thermo-3-click>
- 9: <https://www.melexis.com/en/product/EVB90392/Evaluation-Board-MLX90392>

*Opomba: Ime in logotip Microchip sta registrirani blagovni znamki podjetja Microchip Technology Incorporated v ZDA in drugih državah. Vse druge blagovne znamke, ki so morda tu omenjene, so last njihovih podjetij.*

<https://www.microchip.com>



## Novi toplotno in energetsko učinkoviti PolarFire® SoC FPGA

### Dvakrat večja zmogljivost, pol manjša poraba energije

Računalniški sistemi na robu potrebujejo kompaktne programirljive naprave z učinkovito porabo energije in dovolj majhnim toplotnim odtisom, da je mogoče odpraviti ventilatorje in druge ukrepe za odvajanje toplote, hkrati pa zagotoviti močno računsko moč. Naši PolarFire® SoC FPGA so ta izziv rešili z optimalno energetsko učinkovitostjo in vgrajenim mikroprocesorskim podsistemom, ki temelji na RISC-V in podpira Linux® v realnem času.

PolarFire SoC FPGA edini ponuja procesorski kompleks na osnovi arhitekture RISC-V z 2 megabajta (MB) predpomnilnika L2 in podporo za pomnilnik Low-Power DDR4 (LPDDR4) ter vodilno strukturo PolarFire FPGA v panogi.

Premagajte izzive glede porabe energije, velikosti sistema, stroškov in varnosti v vseh vrstah aplikacij, vključno s pametnimi ugnedenimi aplikacijami za vid ter sistemi za avtomobilsko industrijo, industrijsko avtomatizacijo, komunikacije, obrambo in internet stvari s toplotnimi omejitvami, kjer ni možno ogroziti niti porabe niti zmogljivosti.



[microchip.com/polarfiresoc](https://microchip.com/polarfiresoc)



Ime in logotip Microchip ter logotip Microchip sta registrirani blagovni znamki podjetja Microchip Technology Incorporated v ZDA in drugih državah. Vse druge blagovne znamke so v lasti njihovih registriranih lastnikov.  
© 2022 Microchip Technology Inc. Vse pravice pridržane.  
MEC2436A-SLO-09-22



# STM32 mikrokontrolerji in strojno učenje

Digi-Key Electronics

Avtor: Rolf Horn

*O strojnem učenju (angl. machine learning, ML) v strežniških in mobilnih aplikacijah se že leta veliko govori, vendar se je zdaj še razširilo in postalo ključnega pomena na robnih napravah.*

Glede na to, da morajo biti robne naprave energetsko učinkovite, se morajo razvijalci naučiti in morajo znati razumeti, kako uvajati modele strojnega učenja v sisteme, ki temeljijo na mikrokontrolerjih. Modeli strojnega učenja, ki delujejo na mikrokontrolerju, se pogosto imenujejo tinyML. Žal uvajanje modela na mikrokontroler ni zanemarljiv podvig. Vseeno pa postaja uvajanje vse lažje in razvijalci brez specializiranega usposabljanja spoznavajo, da to lahko opravijo v razumnem času.

V tem članku je opisano, kako lahko razvijalci začnejo s strojnim učenjem z uporabo mikrokontrolerjev STMicroelectronics[1] STM32. Prikazano je, kako ustvariti aplikacijo »Hello World« s pretvorbo modela TensorFlow Lite za mikrokontrolerje[2] za uporabo v STM32CubeIDE[3] z uporabo X-CUBE-AI[4].

## Uvod v primere uporabe tinyML

TinyML je rastoče področje, ki prinaša moč strojnega učenja na naprave z omejenimi strojnimi zmogljivostmi in močjo, kot so mikrokontrolerji, običajno z uporabo globokih nevronske omrežij. Te mikrokrmilne naprave lahko nato izvajajo model strojnega učenja in opravljajo dragoceno delo na robu. Obstaja več primerov uporabe, kjer je tinyML zdaj precej zanimiv.

Prvi primer uporabe, ki je viden v številnih mobilnih napravah in opremi za avtomatizacijo doma, je prepoznavanje ključnih besed. Prepoznavanje ključnih besed vgrajeni napravi omogoča, da z mikrofonom zajame govor in zazna vnaprej naučene ključne besede. Model tinyML uporablja vnos časovne vrste, ki predstavlja govor in ga pretvori v govorne funkcije, običajno spektrogram. Spektrogram vsebuje informacije o frekvencah skozi čas. Spektrogram se nato vnese v nevronske mreže, ki

je naučena za prepoznavanje določenih besed, rezultat pa je verjetnost, da bo določena beseda prepoznana. Na sliki 1 je prikazan primer, kako je videti ta postopek.

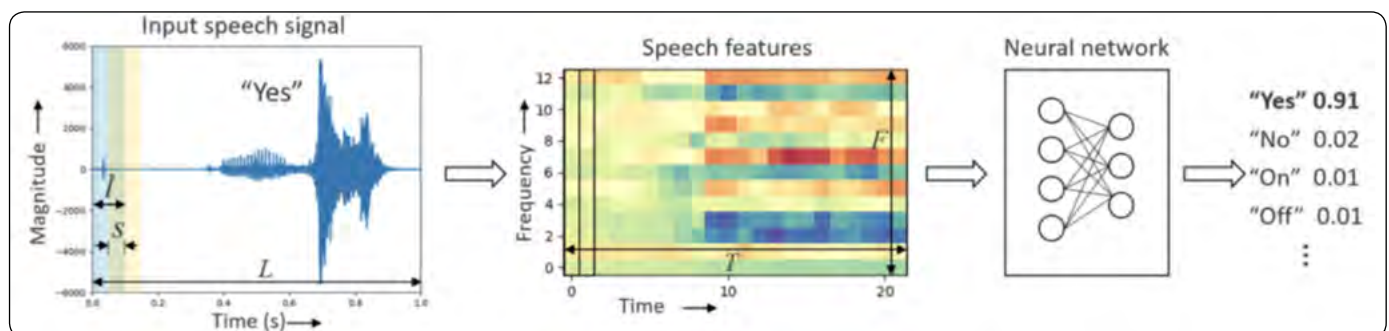
Naslednji primer uporabe za tinyML, ki zanima mnoge razvijalce, je prepoznavanje slik. Mikrokontroler zajame slike s fotoaparata, ki se nato naložijo v vnaprej naučen model. Model lahko razbere, kaj je na sliki. Model lahko na primer ugotovi, ali je na sliki mačka, pes, riba itd. Odličen primer, kako se prepoznavanje slik uporablja na robu, je v videozvočnicah. Videozvočnik lahko pogosto zazna, ali je pri vratih prisoten človek ali pa je bil puščen paket.

Zadnji primer zelo priljubljene uporabe je uporaba tinyML za predvidljivo vzdrževanje. Predvidljivo vzdrževanje uporablja strojno učenje za predvidevanje stanja opreme na podlagi zaznavanja nepravilnosti, algoritmov za razvrščanje in modelov za predvidevanje. Tudi tu je na voljo veliko možnosti uporabe, od sistemov za ogrevanje, prezračevanje in klimatizacijo pa do opreme za tovarne.

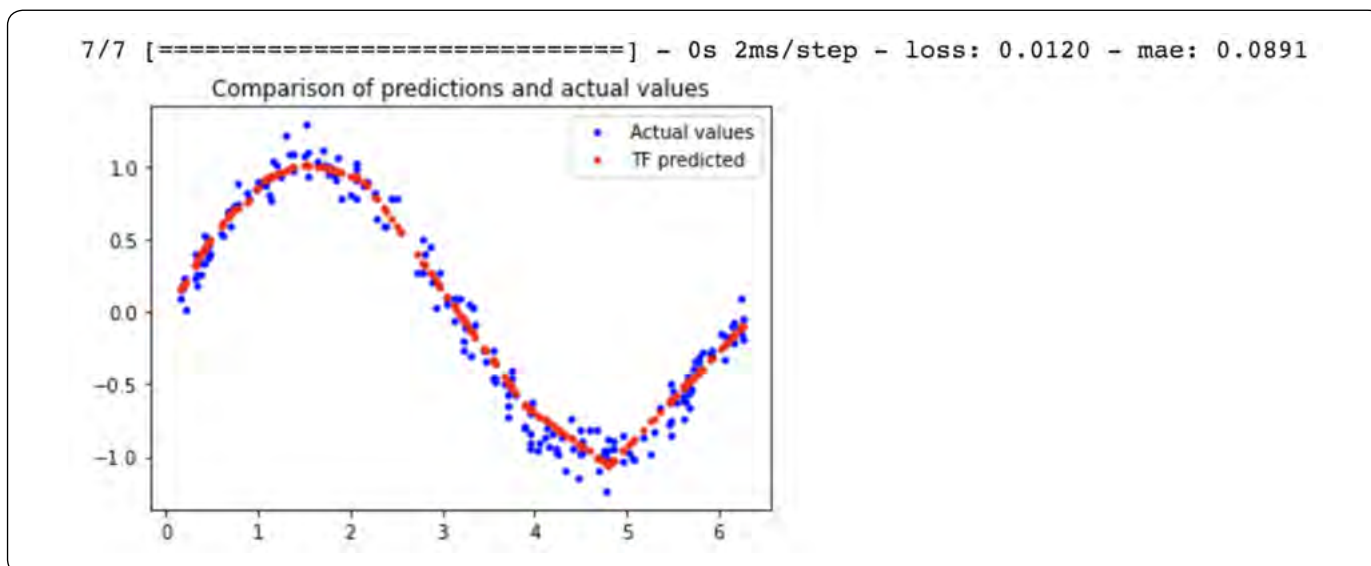
Medtem ko so zgornji trije primeri uporabe trenutno najpriljubljenejši za tinyML, je nedvomno še veliko potencialnih primerov uporabe, ki jih razvijalci lahko odkrijejo. Tukaj je nekaj predlogov:

- *klasifikacija kretenj,*
- *zaznavanje nepravilnosti,*
- *čitalnik analognega števca,*
- *vodenje in nadzor,*
- *zaznavanje paketov.*

Ne glede na primer uporabe je najboljši način za začetek seznanjanja s tinyML z aplikacijo »Hello World«, ki pomaga razvijalcem naučiti se in razumeti osnovni proces, s katerim lahko



**Slika 1:** Prepoznavanje ključnih besed je zanimiv primer uporabe za tinyML. Vhodni govor se pretvori v spektrogram in nato vnese v naučeno nevronske mreže, da se ugotovi, ali je vnaprej naučena beseda prisotna. (Vir slike: ARM)



**Slika 2: Primerjava med predvidevanji modela TensorFlow za sinusni val in dejanskimi vrednostmi. (Vir slike: Beningo Embedded Group)**

postavimo delujoč minimalni sistem. Za zagon modela tinyML na STM32 mikrokontrolerju obstaja pet obveznih korakov:

- 1: zajemanje podatkov
- 2: označevanje podatkov
- 3: učenje nevronskega omrežja
- 4: pretvorba modela
- 5: zagon modela na mikrokontrolerju

## Zajemanje, označevanje in učenje modela "Hello World"

Razvijalci imajo na splošno na voljo veliko možnosti za zajemanje in označevanje podatkov, potrebnih za učenje svojega modela. Prvič, na spletu je na voljo veliko podatkovnih baz za učenje. Razvijalci lahko iščejo podatke, ki jih je nekdo zbral in označil. Za osnovno prepoznavanje slik je na primer na voljo CIFAR-10 ali ImageNet. Za usposabljanje modela za prepoznavanje nasmehov na fotografijah je prav tako na voljo tudi zbirka slik. Spletni repozitoriji podatkov so brez dvoma odlični začetek.

Če zahtevani podatki še niso javno dostopni na internetu, potem razvijalcem ostaja druga možnost, in sicer da ustvarijo svoje podatke. Za ustvarjanje naborov podatkov se lahko uporabi Matlab ali neko drugo orodje. Če samodejno ustvarjanje podatkov ni opcija, je to mogoče izvesti ročno. Če pa se vse skupaj zdi preveč zamudno, je na internetu na voljo nekaj naborov podatkov, ki jih je mogoče kupiti. Zbiranje podatkov je pogosto najbolj vznemirljiva in zanimiva možnost, vendar je za to treba opraviti največji delovni vložek.

Na primeru »Hello World«, ki je predstavljen v tem članku, je mogoče videti, kako model usposobiti za ustvarjanje sinusnega vala in ga vnesti v STM32. Primer sta sestavila Pete Warden in Daniel Situnayake kot del njenega dela v Googlu na TensorFlow Lite za mikrokontrolerje. To olajša delo, saj sta sestavila preprosto javni vodnik o zajemanju, označevanju in učenju modela. Najti ga je mogoče na portalu Github tukaj[5]; na tej lokaciji

je treba klikniti gumb »Run in Google Colab« (Zagon v Google Colab). Google Colab, okrajšano za Google Collaboratory, omogoča razvijalcem pisanje in izvajanje Python jezika v brskalniku brez konfiguracije in omogoča brezplačen dostop do Googlovih grafičnih procesnih enot.

Rezultat učnega primera bo vključeval dve različni datoteki modela: model.tflite TensorFlow, ki je kvantiziran za mikrokontrolerje, in model\_no\_quant.tflite, ki ni kvantiziran. Kvantizacija označuje, kako se aktivacije in odmik modela številsko shranjujejo. Kvantizirana različica proizvaja manjši model, ki je bolj primeren za mikrokontroler. Za radovedne bralce so rezultati naučenega modela v primerjavi z dejanskimi rezultati sinusnega vala prikazani na sliki 2. Rezultat modela je v rdeči barvi. Rezultat sinusnega vala ni popoln, vendar deluje dovolj dobro za program »Hello World«.

## Izbira razvojne plošče

Pred pretvorbo modela TensorFlow za delovanje na mikrokontrolerju, je treba izbrati mikrokontroler za uvajanje v modelu. Ta članek se osredotoča na STM32 mikrokontrolerje, ker ima STMicroelectronics veliko tinyML/ML orodij, ki dobro delujejo za pretvarjanje in delovanje modelov. Poleg tega ima STMicroelectronics široko paleto delov, združljivih s svojimi orodji za strojno učenje (slika 3).

Če imate kakšno od teh plošč pri roki, je kot nalašč za zagon aplikacije »Hello World«. Za tiste, ki želijo od tega primera več in se želijo lotiti nadzora nad kretnjami ali prepoznavanja ključnih besed, naj izberejo vozlišče Discovery IoT STM32 B-L4S5I-IOT01A[6] (slika 4).

Ta plošča ima procesor ARM Cortex-M4, ki temelji na seriji STM32L4+. Procesor ima 2 megabajta (Mbjta) Flash pomnilnika in 640 kilobajtov (Kbjtov) RAM-a, kar zagotavlja dovolj prostora za tinyML modele. Modul je prilagodljiv za eksperimente primerov uporabe tinyML, ker ima vgrajen tudi MEMS mikrofonski STM32MP34DT01[7], ki se lahko uporablja za

**STM32Cube.AI is compatible with all STM32 series**

Category	STM32F3	STM32G4	STM32F2	STM32F4	STM32F7	STM32H7	STM32MP1
<b>MPU</b>							4158 CoreMark Up to 800 MHz Cortex-A7 209 MHz Cortex-M4
<b>High Perf MCUs</b>	245 CoreMark 72 MHz Cortex-M4	569 CoreMark 170 MHz Cortex-M4	Up to 398 CoreMark 120 MHz Cortex-M3	Up to 608 CoreMark 180 MHz Cortex-M4	1082 CoreMark 216 MHz Cortex-M7	Up to 3224 CoreMark Up to 550 MHz Cortex-M7 240 MHz Cortex-M4	
<b>Mainstream MCUs</b>	106 CoreMark 48 MHz Cortex-M0	142 CoreMark 64 MHz Cortex-M0+	177 CoreMark 72 MHz Cortex-M3				
<b>Ultra-low Power MCUs</b>	75 CoreMark 32 MHz Cortex-M0+	93 CoreMark 32 MHz Cortex-M3	273 CoreMark 80 MHz Cortex-M4	409 CoreMark 120 MHz Cortex-M4	443 CoreMark 110 MHz Cortex-M33	651 CoreMark 160 MHz Cortex-M33	
<b>Wireless MCUs</b>			162 CoreMark 48 MHz Cortex-M4 48 MHz Cortex-M0+	216 CoreMark 64 MHz Cortex-M4 32 MHz Cortex-M0+			

■ Latest product generation

**Slika 3:** Prikazani so mikrokontrolerji in mikroprocesorska enota (MPU), ki jo trenutno podpira ekosistem umetne inteligence STMicroelectronics. (Vir slike: STMicroelectronics)

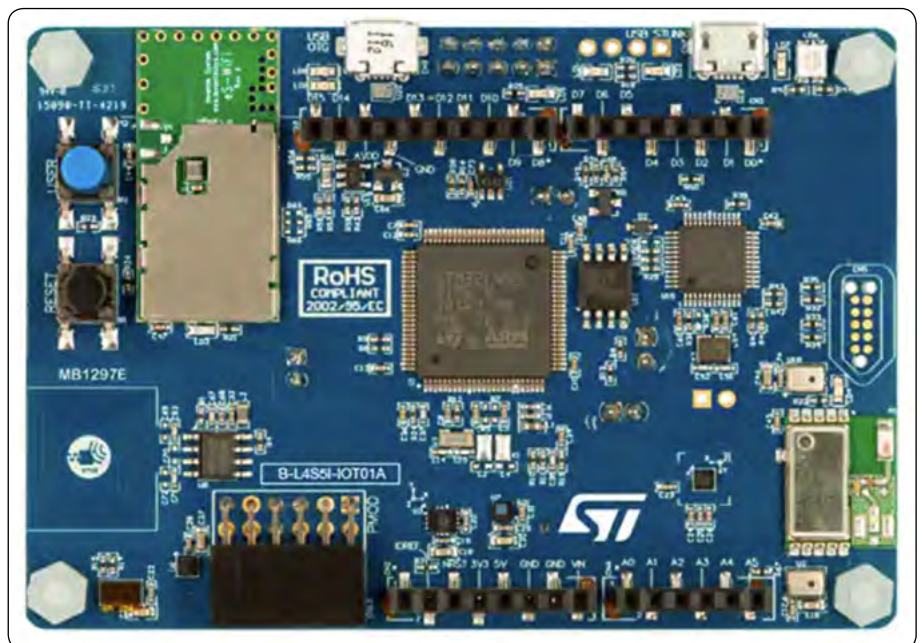
razvoj aplikacije prepoznavanja ključnih besed. Poleg tega se lahko vgrajeni triosni merilnik pospeška LIS3MDLTR[8], prav tako iz podjetja STMicroelectronics, uporablja za odkrivanje kretenj na podlagi tinyML.

## Pretvarjanje in zagon modela TensorFlow Lite z uporabo STM32Cube.AI

Ko imajo razvijalci v arzenalu razvojno ploščo, ki se lahko uporablja za zagon tinyML modela, lahko začnejo pretvarjati TensorFlow Lite model v nekaj, kar lahko deluje na mikrokontrolerju. TensorFlow Lite model lahko deluje neposredno na mikrokontrolerju, vendar za obdelavo potrebuje ustrezno okolje.

Ko se model izvaja, je treba izvesti vrsto funkcij. Te funkcije se začnejo z zbiranjem podatkov senzorjev, ki se nato filtrirajo ekstrahirajo se potrebne funkcije in se dovedejo v model. Model bo ponudil rezultat, ki ga je nato mogoče nadalje filtrirati, nato pa se običajno izvede neko dejanje. Na sliki 5 je prikazan pregled, kako je ta postopek videti.

Vtičnik X-CUBE-AI za STM32CubeMx zagotavlja izvajalno okolje za interpretacijo TensorFlow Lite modela in ponuja alternativna trajanja izvajanja in orodja za pretvorbo, ki jih lahko uporabijo razvijalci. X-CUBE-AI vtičnik ni privzeto omogočen v projektu. Vendar pa je po ustvarjanju novega projekta in inicializaciji plošče v razdelku Software Packs (Paketi programske

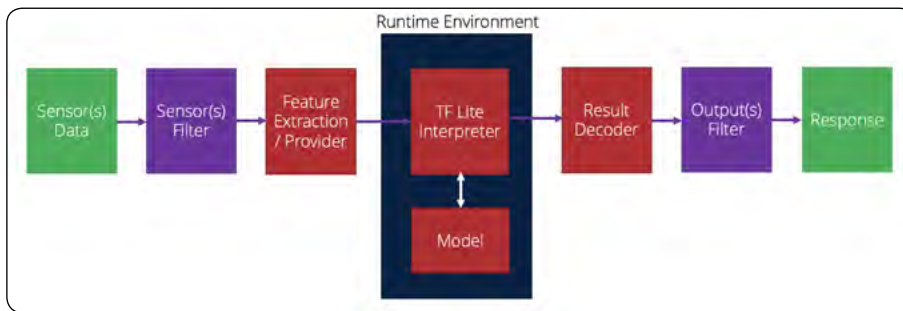


**Slika 4:** Vozlišče Discovery IoT STM32 B-L455I-IOT01A je zaradi vgrajenega ARM Cortex-M4 procesorja, MEMS mikrofona in triosnega merilnika pospeška prilagodljiva eksperimentalna platforma za tinyML. (Vir slike: STMicroelectronics)

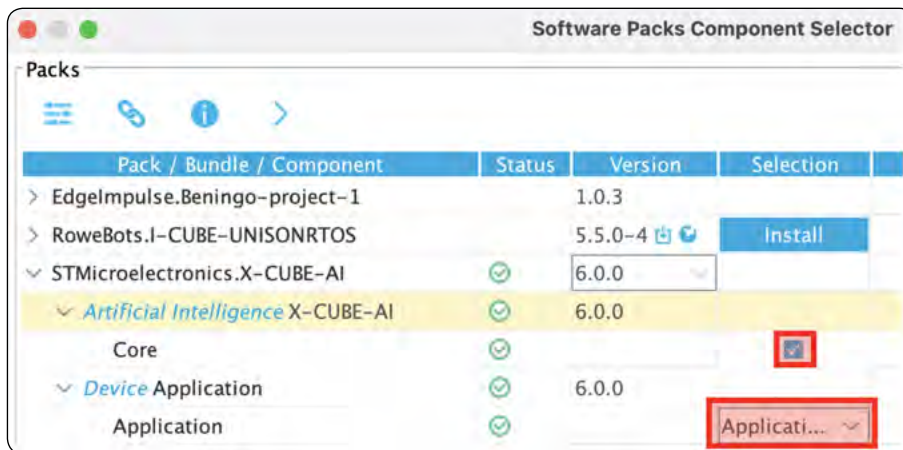
opreme) -> Select Components (Izbira komponent) na voljo možnost, da se omogoči čas izvajanja umetne inteligence. Na voljo je več možnosti; poskrbite, da se za ta primer uporablja Application template (Predloga aplikacije), kot je prikazano na sliki 6.

Ko je omogočen X-CUBE-AI, se v verigi orodij pojavi kategorija STMicroelectronics.X-CUBE-AI. S klikom na kategorijo bo razvijalec lahko izbral datoteko modela, ki jo je ustvaril, in določil parametre modela, kot je prikazano na sliki 7. Gumb za analizo bo analiziral tudi model in razvijalcem zagotovil informacije o RAM-u, ROM-u in izvedbenem ciklu. Zelo priporočljivo je, da razvijalci primerjajo možnosti Keras in TFLite

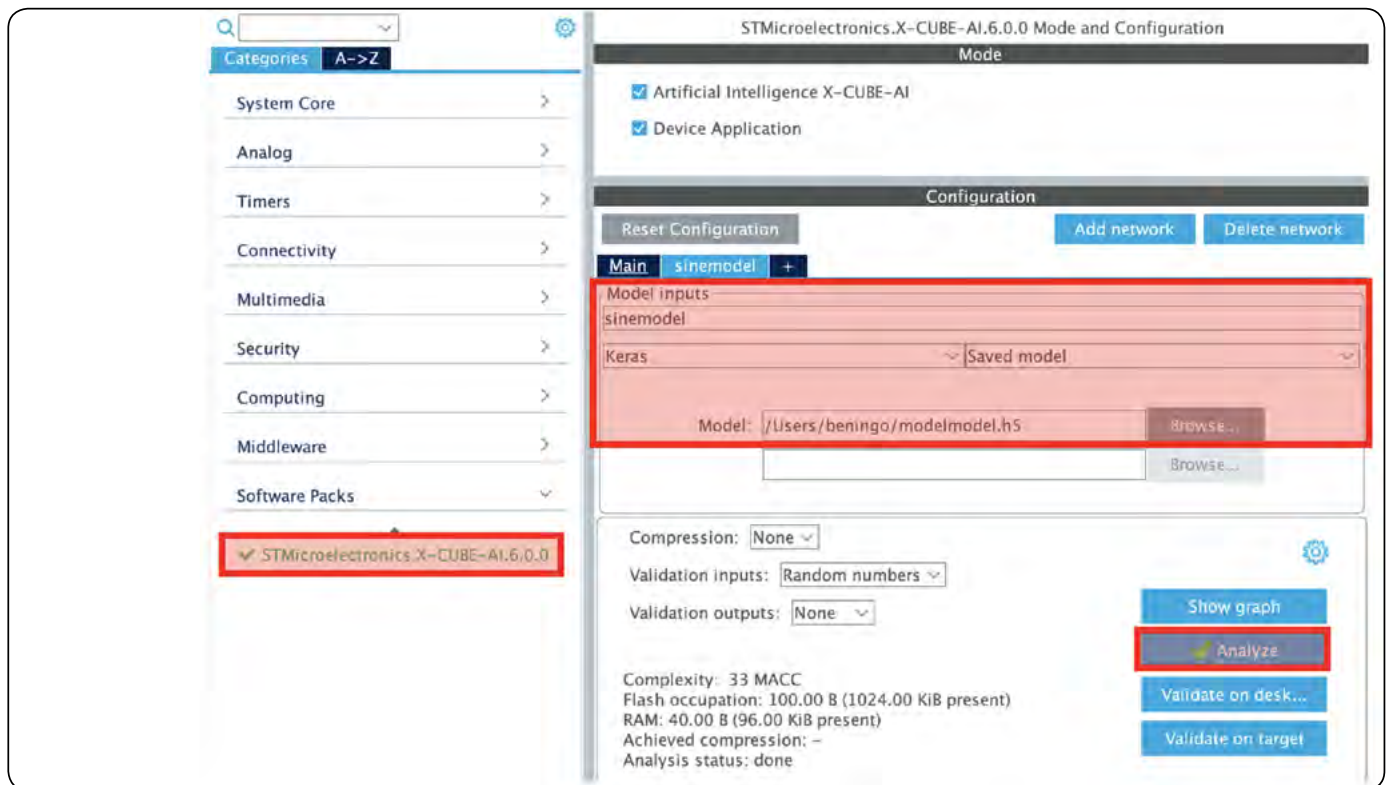




**Slika 5:** Kako se podatki pretakajo od senzorjev do časa izvajanja in nato do rezultata v tinyML aplikaciji. (Vir slike: Beningo Embedded Group)



**Slika 6:** X-CUBE-AI vtičnik je treba omogočiti z uporabo predloge aplikacije za ta primer. (Vir slike: Beningo Embedded Group)



**Slika 7:** Gumb za analizo bo razvijalcem zagotovil informacije o RAM-u, ROM-u in izvedbenem ciklu. (Vir slike: Beningo Embedded Group)

modelov. Na modelu sinusnega vala, ki je majhen, ne bo videti velike razlike, bo pa opazna. Projekt je nato mogoče ustvariti s klikom na »Generate code« (Ustvari kodo).

Generator kode bo inicializiral projekt in izvajalno okolje za tinyML model. Vendar pa se privzeto nič ne vnaša v model. Razvijalci morajo dodati kodo, da zagotovijo vhodne vrednosti modela (vrednosti x), ki jih bo model nato razlagal in uporabljal za ustvarjanje sinusnih vrednosti y. Nekaj kode je treba dodati funkcijama `acquire_and_process_data` in `post_process`, kot je prikazano na sliki 8.

Na tej točki je primer zdaj pripravljen za izvajanje. Opomba: dodajte nekaj `printf` ukazov, da dobite rezultat modela za hitro preverjanje. Hitri rezultati zbiranja in uvedbe v modelu tinyML »Hello World«, ki se izvaja. Pridobivanje rezultata modela za celoten cikel prikaže sinusni val, prikazan na sliki 9. Ni popoln, vendar je odličen za prvo tinyML aplikacijo. Od tu bi razvijalci lahko povezali rezultat na modulator širine impulza in ustvarili sinusni val.

```

174 /* USER CODE BEGIN 2 */
175 int acquire_and_process_data(void * data)
176 {
177     static uint8_t position = 0;
178     uint8_t * Value = data;
179
180     * Value = position;
181
182     position++;
183
184     return 0;
185 }
187 int post_process(void * data)
188 {
189     uint8_t * Value = data;
190
191     if(*Value >= 128)
192     {
193         *Value -= 128;
194     }
195     else
196     {
197         *Value += 128;
198     }
199
200     return 0;
201 }
    
```

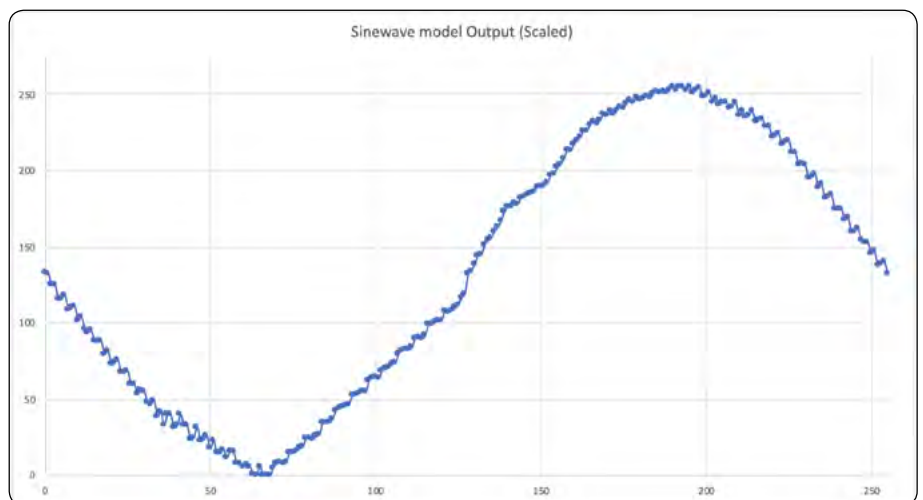
Slika 8: Prikazana koda bo povezala lažne vrednosti vhodnega senzorja z modelom sinusnega vala. (Vir slike: Beningo Embedded Group)

## Namigi in nasveti za iskanje in odpravljanje napak v ugnezenem sistemu

Razvijalci, ki želijo začeti s strojnim učenjem na sistemih, ki temeljijo na mikrokontrolerjih, bodo imeli kar nekaj dela, da bodo lahko svojo prvo tinyML aplikacijo privedli do delovanja. Vendar pa je treba upoštevati več nasvetov in trikov, ki lahko poenostavijo in pospešijo njihov razvoj:

- Oglejte si TensorFlow Lite »Hello World« primer za mikrokontrolerje korak po koraku, vključno z Google Colab datoteko. Vzemite si nekaj časa, da prilagodite parametre in razumete, kako vplivajo na naučeni model.
- Uporabite kvantizirane modele za mikrokontrolerske aplikacije. Kvantizirani model je stisnjen za delo z uint8\_t in ne z 32-bitnimi števili s plavajočo vejico. Posledično bo model manjši in se bo izvajal hitreje.
- Raziščite dodatne primere v repozitoriju TensorFlow Lite za mikrokontrolerje. Drugi primeri vključujejo prepoznavanje kretenj in prepoznavanje ključnih besed.
- Vzemite primer »Hello World« in povežite rezultat modela na modulator širine impulza in nizkoprepustni filter, da vidite rezultat sinusnega vala. Poskusite s časom izvajanja za povečanje in zmanjšanje frekvence sinusnega vala.
- Izberite razvojno ploščo, ki vključuje »dodatne« senzorje, ki bodo omogočili preizkušanje široke palete aplikacij strojnega učenja.
- Ne glede na to, koliko je zbiranje podatkov lahko zabavno, je za učenje modela na splošno lažje podatkovno bazo kupiti ali uporabiti odprtokodno podatkovno bazo.

Razvijalci, ki sledijo tem nasvetom in trikoma, bodo prihranili precej časa in živcev pri pripravi svoje aplikacije.



Slika 9: Rezultat modela sinusnega vala "Hello World" med izvajanjem na STM32. (Vir slike: Beningo Embedded Group)

## Zaključek

Strojno učenje je prišlo do roba omrežja, glavni cilj pa so sistemi z omejenimi strojnimi zmogljivostmi, ki temeljijo na mikrokontrolerjih. Najnovejša orodja omogočajo pretvorbo in optimizacijo modelov strojnega učenja za delovanje na sistemih v realnem času. Kot je prikazano, je vzpostavitev modela na STM32 razvojni plošči kljub zapletenosti razmeroma preprosta. Čeprav se ta članek osredotoča na preprost model, ki generira sinusni val, je mogoče izvesti veliko bolj zapletene modele, kot sta prepoznavanje kretenj in prepoznavanje ključnih besed.

### Viri:

1. <https://bit.ly/3BpoP0c>
2. <https://bit.ly/3QUWwMT>
3. <https://bit.ly/2W52EGw>
4. <https://bit.ly/3qLLgHQ>
5. <https://bit.ly/3UKA96j>
6. <https://bit.ly/3Ue0JxQ>
7. <https://bit.ly/3eZB9fU>
8. <https://bit.ly/3RX1XMz>

<https://www.digikey.com>







AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

ADI Chronous™

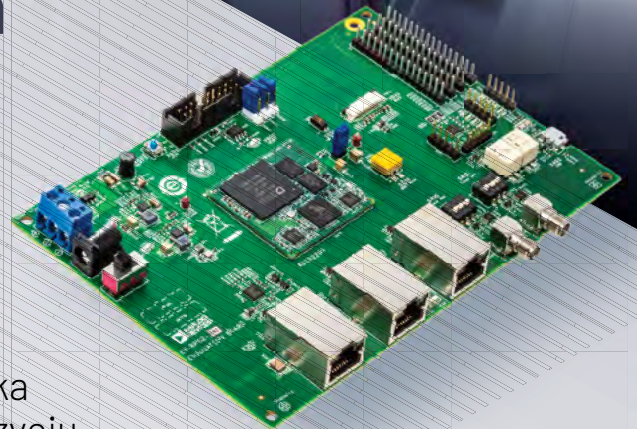
SCALABLE ETHERNET TIMED TO PERFECTION

## EV-RPG2

Celovita referenčna zasnova komunikacijskega vmesnika za industrijski Ethernet podpira zahteve večjega števila protokolov

- ▶ Preizkušena in preverjena strojna in programska zasnova sistema prihrani čas in tveganje pri razvoju.
- ▶ Certificirana večprotokolna programska oprema za Ethernet/IP, EtherCAT, Modbus TCP/IP in PROFINET.

Ugotovite več na [analog.com/EV-RPG2](http://analog.com/EV-RPG2)





# EMC težave in rešitve

Neutronix Ltd

Avtor: Francesco Poderico

*Drage bralke in dragi bralci, avtor Francesco piše zelo zanimive prispevke o EMC problemih, na katere je naletel kot strokovnjak za EMC meritve. Ob tem tudi napiše rešitve, kako se rešiti EMC težav.*

Nekoč sem opravljal nekaj EMC testiranj v EMC hiši blizu Cambridgea za eno od mojih strank. Živim v Oxfordu, vendar imam kar nekaj strank v bližini Cambridgea, zato jih včasih, ko opravljam EMC testiranje, prosim, da me pričakajo v EMC hiši. Spomnim se, da sem nekega dne preiskoval sevane motnje (angl. radiated emissions), ko je ena od mojih strank prišla v EMC hišo in mi rekla: »Hej, Francesco, si to že popravil?«.

## Moj odgovor je bil:

»Pravkar ... mislim, da sem razumel pot motnje«.

## In odgovoril je:

»Stavim, da je bil kondenzator«.

## in moj odgovor je bil:

»Da, bil je. Bil je pravi kondenzator, s pravo vrednostjo na pravem mestu«.

Zakaj to govorim? Ker je nadzor povratne zanke naše motnje zelo pomemben. Včasih je razlika med uspešno in neuspešno.

Začnimo s primerom. Predpostavimo, da načrtujete PoE PD (angl. (Power Over Ethernet Powered Device, napajanje vezja preko Ethernet) ali izolirani pretvornik DC/DC ali da samo uporabljate izoliran DC/DC pretvornik. Med načrtovanjem smo skrbno prebrali vse opombe o uporabi ... veliko časa smo porabili za

namestitve in načrtovanje tiskanega vezja, da smo zagotovili, da so izpolnjene vse poti in razdalje. Potem je končno prišel veliki dan, gremo v EMC hišo in nam spodleti. Najverjetneje nam ne uspe opraviti testiranje prevodne motnje (angl. conductive emission). Zakaj?

Če pogledamo risbo, ki sem jo priložil temu članku lahko vidimo, da z dodajanjem kondenzatorja med primarni in sekundarni del izolacijskega transformatorja »pomagamo« običajnemu toku, da ima krajšo zanko. V prvem primeru (brez kondenzatorja) je skupna zanka nenadzorovana, medtem ko v drugem primeru namenoma ustvarimo prednostno pot do nje, tako da bo motnja dobila veliko krajšo pot in tokrat bomo opravili CE testiranje

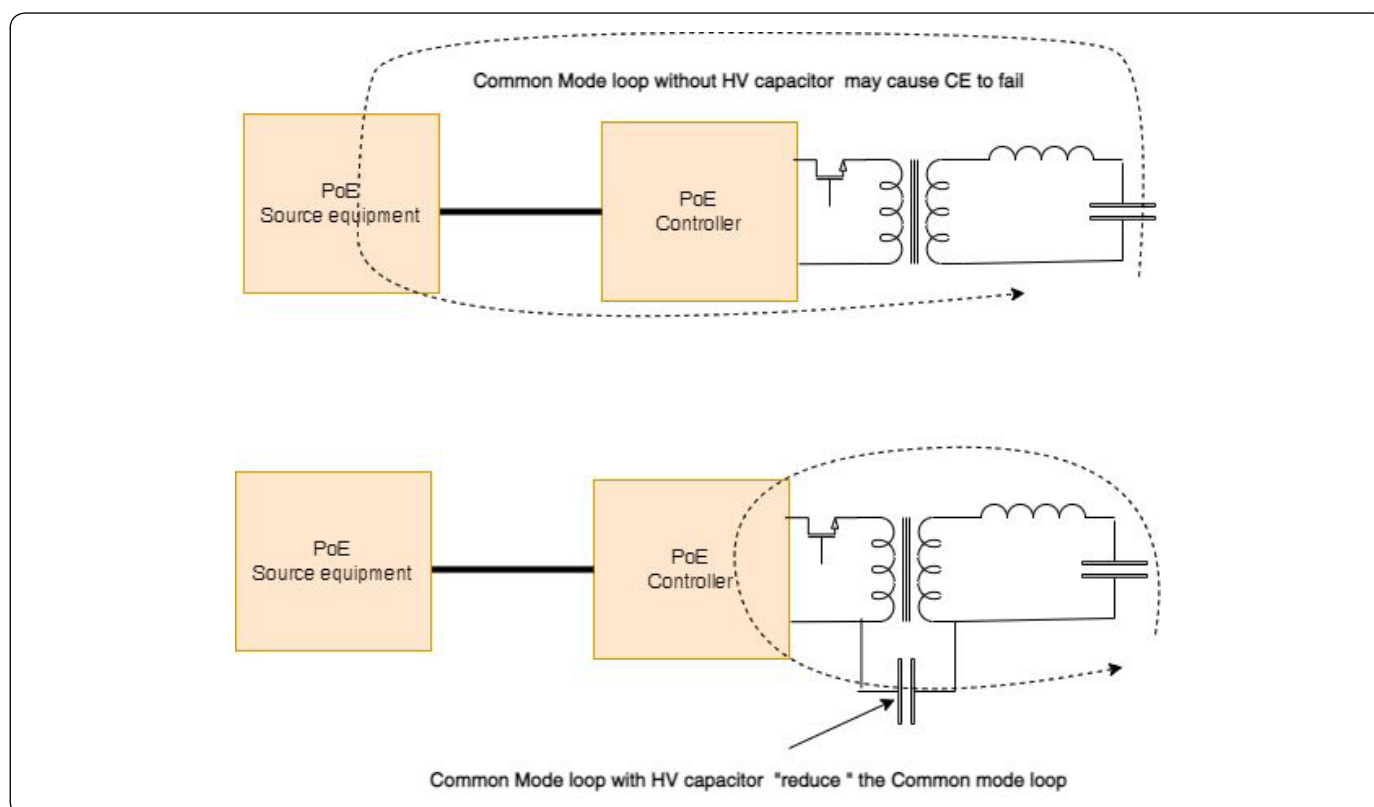
Torej ... če se vrnem k temu, kar sem rekel v najavi, pravi kondenzator ... s pravo vrednostjo ... na pravem mestu!

Upam, da boste uživali, in ko boste na podatkovnem listu izoliranega DC/DC pretvornika videli, zakaj včasih uporabljajo 100 pF, 1,5 kV kondenzator med Vin- in Vout, no - zdaj veste, zakaj.

## Povzeto po:

- <https://bit.ly/3uA18IH>

<https://svet-el.si>



# Sejem MOS2022 ponovno z velikim obiskom

AX elektronika d.o.o.  
Avtor: Jurij Mikeln  
E-pošta: stik@svet-el.si

*Letošnji 54. MOS se je odvijal od 14. do 18. septembra na celjskem razstavišču. Kot tolikokrat prej, smo na sejmu sodelovali tudi članki uredništev revij Svet elektronike in Svet mehatronike.*

Že pričetek sejma je pokazal trend – namreč vse brezplačne vstopnice, ki nam jih je namenil organizator sejma, so pošle v 15. minutah po poslanem email sporočilu.

Brezplačnih vstopnic bi lahko razdelili veliko več, saj email sporočila za brezplačno vstopnico kar niso nehala prihajati v naš e-nabiralnik. To je že nakazovalo, da bo obisk sejma velik.

Organizator sejma, podjetje Celjski sejem, je imelo cilj privabiti 60.000 obiskovalcev. Zadnji, peti dan, so sporočili, da so te številke presegle. Uradni podatki bodo sicer prihajali še v naslednjih dneh, a prvi pregledi številka kažejo, da so te napovedi presegle in so se približali obiskanosti, ki so jo beležili pred pandemijo.

Na 54. MOS se je predstavilo 600 razstavljalcev iz 20 držav. Moto letošnjega sejma je bila »Samooskrba«, kar se je videlo tudi na velikem številu podjetij, ki so ponujala fotovoltaično opremo.

Na sejmu ste lahko obiskali t.i. Ulico obrti, ki je bila organizirana po načelu »vse na enem mestu«, saj ste hkrati lahko videli predstavitev posameznih poklicev, vključitev dijakov v proces praktičnega usposabljanja z delom, dobili informacije srednjih šol in spoznali strokovno podporo obrtno-zborničnega sistema.

Na sejmu je potekalo tudi Državno tekmovanje mladih strokovnjakov v poklicnih spretnostih SloveniaSkills 2022, kjer so se tekmovalci med seboj pomerili v kar 11 poklicih – frizerstvu, slikopleskarstvu, kuharstvu, strežbi, cvetličarstvu, aranžerstvu, kamnoseštvu, mehatroniki, IKT, pohištvenem in stavbnem mizarstvu.

Petič pa je na sejmu MOS potekal projekt »Stičišče znanosti in

gospodarstva«. Predstavili so se inštituti, fakultete, univerze in visokotehnološka podjetja. Vodja projekta je Janez Škrlec, nekdanji član Sveta za znanost in tehnologijo Republike Slovenije,



*Slika 1: Velik obisk že 1. dan sejma, avtor fotografije: Celjski sejem*



*Slika 2: Tema sejma je bila Samooskrba, avtor fotografije: Celjski sejem*



ustanovitelj Odbora za znanost in tehnologijo pri Obrtno-podjetniška zbornica Slovenije ter prejemnik številnih visokih priznanj za povezovanje znanosti in gospodarstva. Dogodek je predstavil tehnologije na področjih, kot so mehatronika, avtomatika, robotika, elektronika, energetika, informacijsko komunikacijska tehnologija, bionika, medicinske tehnologije, vesoljske tehnologije in drugo.

V letošnjem letu je bila posebna pozornost posvečena mikro, bio in nanotehnologijam in še zlasti bioniki ter vesoljskim tehnologijam, obenem pa so obravnavali nove tehnološke procese, visokotehnološke inovacije, novodobne poklice in sodobne izobraževalne programe. Gospod Škrlec je pripravil tudi zanimivo predstavitev projekta na temo, »človeška bionika«. Na temo vesoljske tehnologije pa je bil letos predstavljen TRISAT-R, drugi slovenski satelit FERI Univerze v Mariboru in podjetja Skylabs d.o.o.. Satelit kroži okoli našega planeta na višini 6.000 kilometrov. Na sejmu je bil predstavljen tudi prenos slik, ki jih satelit zajema.

Na sejmu smo predstavili tudi naši reviji Svet elektronike in Svet mehatronike, pa tudi našo strokovno literaturo. Največ zanimanja je bilo za Arduino 2 knjigo in GeekCreit razvojni komplet.

## Zaključek

54. MOS je bil uspešen tako za razstavljalce kot obiskovalce. Očitno obiskovalcev ni motilo močno deževje, ki je 2 dni spremljalo sejem, saj je ravno ob deževnih dnevih bilo največ obiskovalcev. Tudi v pogovoru z razstavljalci smo slišali pohvale glede velikega obiska, ki se je odrazil tudi na našem razstavnem prostoru.

»54. MOS je s svojim množičnim obiskom znova dokazal, kako pomemben je za slovensko gospodarstvo. Zadovoljni smo, da je letošnji sejem ponovno združil tako razstavljalce kot obiskovalce. Hvala vsem, ki ste MOS letos naredili tako edinstven in bogat v vseh pogledih,« je ob koncu sejma dejala podpredsednica upravnega odbora družbe Celjski sejem Nina Ermenc Pangerl.

<https://svet-el.si>



*Slika 3: Veliko obiskovalcev, avtor fotografije: Celjski sejem*



*Slika 4: Na sejmu se je predstavila tudi Vojska Slovenije, avtor fotografije: Celjski sejem*



*Slika 5: Razstavni prostor uredništva revij Svet elektronike in Svet mehatronike, avtor fotografije: Jurij Mikeln*



# Osnove in načini uporabe EDLC-kondenzatorjev

Rutronik GmbH

Avtorji: Julio Gállego, Christian Kasper, Akos Labady (EATON)

*Kondenzatorji z elektrostatičnim dvojnim slojem (EDLC – Electric Double Layer Capacitors), ki jih poznamo tudi kot superkondenzatorje, so elektrokemični kondenzatorji, ki združujejo visoko kapacitivnost z nizko notranjo upornostjo. Zato so primerni za zelo široko paleto načinov uporabe, ki jih bomo razložili, hkrati pa izpostavili, kaj morate pri tem upoštevati.*

EDLC sestavljata dve aluminijasti elektrodi, prevlečeni z ogljikom. Ker je ta zelo porozen, ima izjemno veliko površino, ki omogoča veliko kapacitivnost. Ločevalni papir med elektrodama hkrati vsebuje zalogo elektrolita, običajno acetonitrila (ACN), katerega glavna naloga je, da kot topilo raztaplja soli, ki povečajo prevodnost. Pri priključeni enosmerni napetosti se nosilci naboja skladno s polarnostjo zberejo na izredno kratki razdalji od površine ogljika. Temu učinku pravimo Helmholtzov sloj in tvori dielektrik. Ker se ta hkrati zgodi na pozitivni in negativni elektrodi, pravimo tem gradnikom kondenzatorji z elektrostatičnim dvojnim slojem.



Julio Gállego



Christian Kasper

zbiralniki za zagotavljanje visoke impulzne moči (angl. Pulse Power) in pokrivanje izpadov napajalne napetosti (angl. Backup). Cilj je razvoj hranilnika energije, ki uporablja samo superkondenzatorje ali pa jih kombinira s polnilno baterijo, kjer so superkondenzatorji namenjeni kot pomožni hranilnik energije za pokrivanje konic moči.

PREDSTAVLJAMO

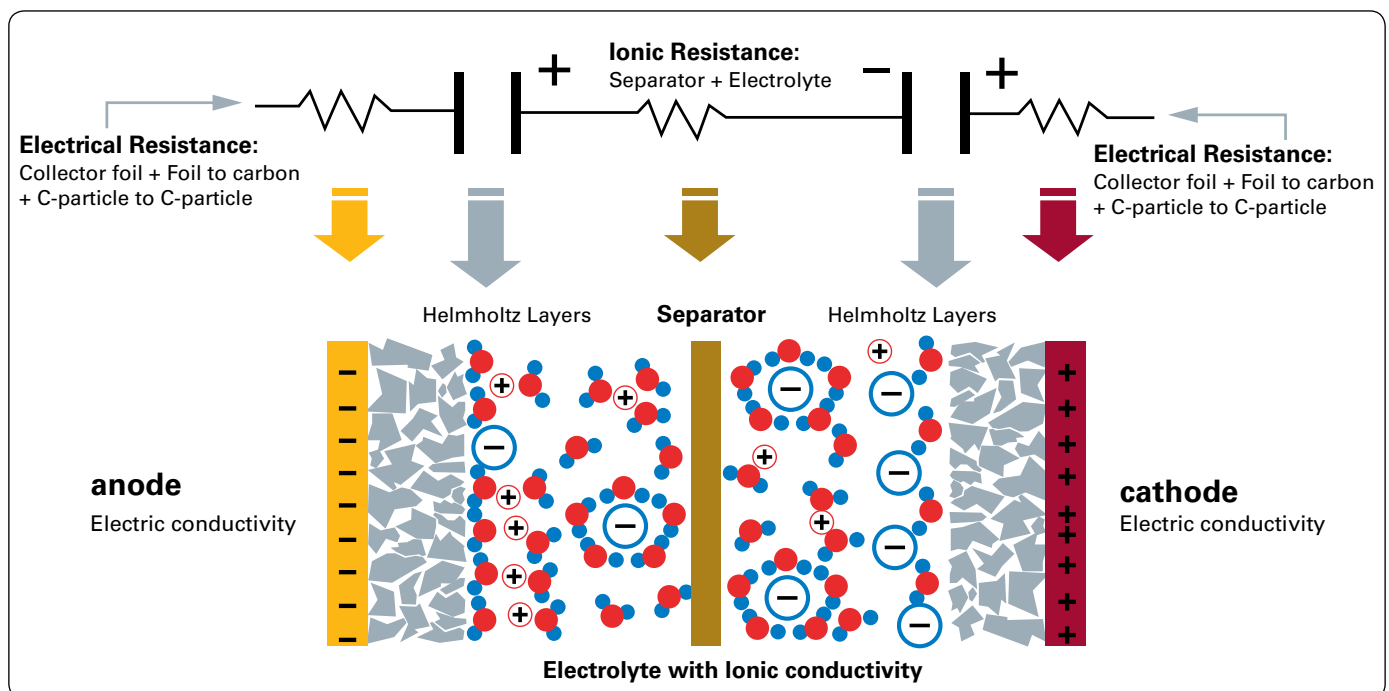
## Pridobivanje energije iz okolja

Pri pridobivanju energije iz okolja potrebujemo možnost shranjevanja energije, ki jo proizvede glavni vir energije, na primer solarna celica, da jo lahko po potrebi uporabimo.

## Sistemi za shranjevanje energije s superkondenzatorji

Superkondenzatorji so primerni zlasti za tri načine uporabe: pridobivanje energije iz okolja (angl. Energy Harvesting),

Pri tem velja upoštevati, da imajo superkondenzatorji večji slepi tok oziroma večje samopraznjenje od baterij. Med fazo pridobivanja energije oziroma polnjenja hranilnika bi moral biti polnilni tok vsaj 10-krat večji od slepega toka.



Slika 1: Zgradba kondenzatorja z elektrostatičnim dvojnim slojem (EDLC) (vir: Eaton)

## Zagotavljanje visoke impulzne moči ali povečanje moči

Če aplikacija občasno zahteva visoke vršne moči, jih lahko pokrije superkondenzator, kar lahko nekajkrat podaljša življenjsko dobo glavnega vira energije, na primer polnilne baterije. Tukaj je najpomembnejša vrednost pri izbiri superkondenzatorja enakovredna zaporedna upornost (angl. Equivalent Serial Resistance – ESR). Okvirno pravilo je: ESR kondenzatorja mora znašati približno četrtno ESR glavne baterije.

## Prekinitev napajalne napetosti ali rezervno napajanje

Superkondenzatorji lahko določen čas zagotavljajo energijo. Pri tem ni nujno, da ima sistem vir energije, kot je baterija ali polnilna baterija. Primer so sistemi z uro realnega časa, ki več dni ali celo tednov porablja nekaj mikrovatov moči, pa tudi načini uporabe z veliko močjo, kot so tramvaji, ki morajo premagati kratke razdalje brez nadzemnih vodov. Superkondenzatorji so primerni tudi za omogočanje krajših odsekov vožnje za sisteme brez voznika (angl. Automated Guided Vehicle – AGV) brez potrebe po bateriji.

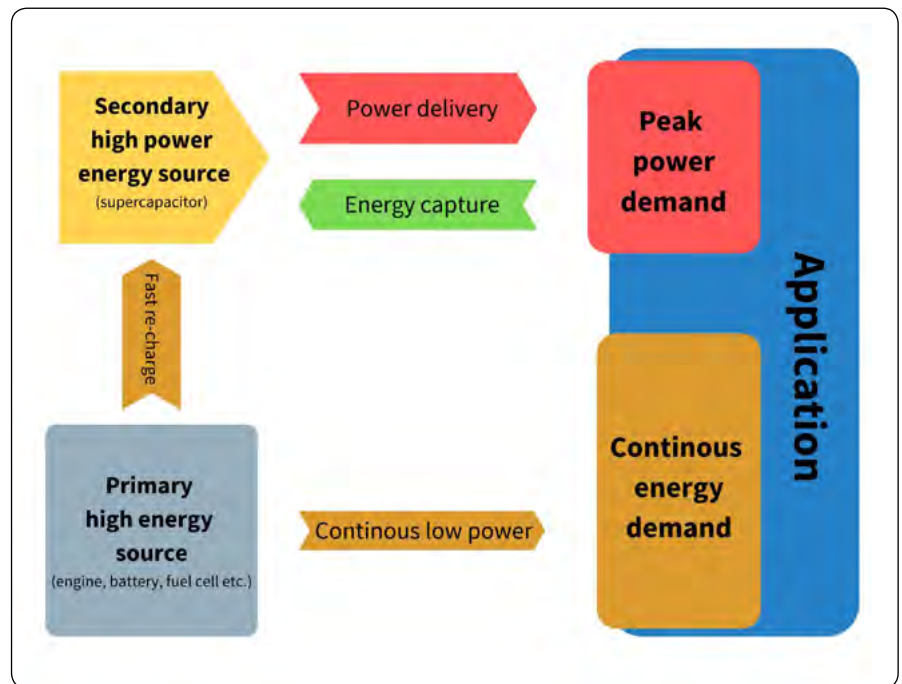
## Pomembni parametri pri razvoju sistema s superkondenzatorji

Pri sistemih s superkondenzatorji je treba upoštevati določene parametre. Najpomembnejši so:

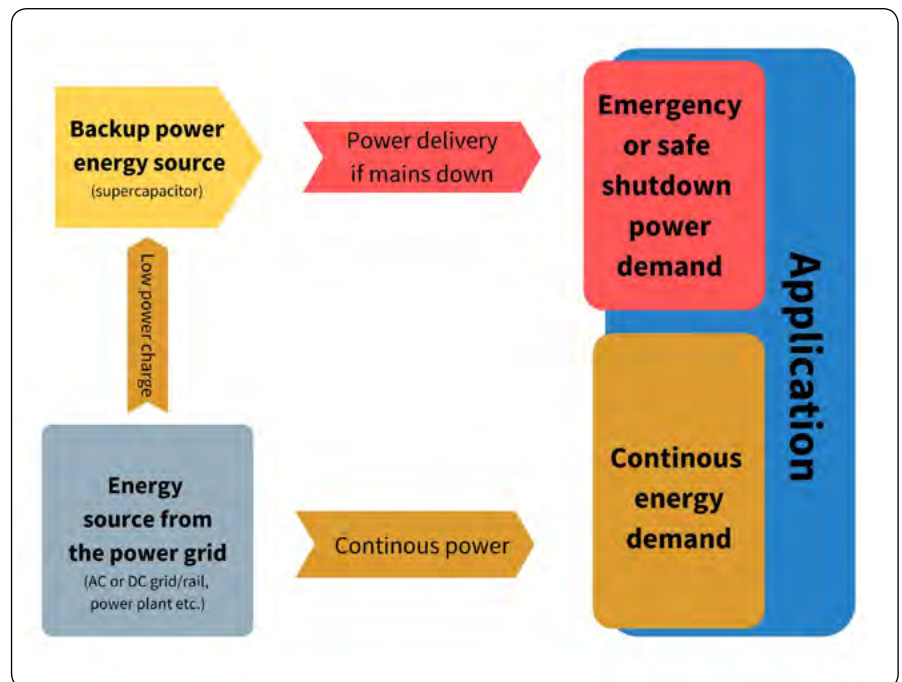
- Temperaturno območje
- Življenjska doba
- Število ciklov polnjenja in praznjenja v življenjski dobi
- Uporabno območje napetosti
- Stroški
- Parametri polnjenja
- Uravnoveženje

## Temperaturno območje

Zaradi svoje kemične in fizikalne sestave imajo superkondenzatorji zelo stalne lastnosti v širokem temperaturnem območju



Slika 2: Glavna baterija stalno zagotavlja relativno nizek tok, superkondenzator pa pokriva konice. (vir: Eaton)



Slika 3: Ob napakah na viru energije (npr. električnem omrežju) lahko superkondenzatorji zagotavljajo energijo kot pomožni vir energije, npr. za varno zaustavitev strežnikov. (vir: Eaton)

delovanja. Krivulje kapacitivnosti in ESR (enakovredna zaporedna upornost) glede na temperaturo so na zahtevo na voljo pri proizvajalcu.

## Življenjska doba

Na življenjsko dobo superkondenzatorjev najbolj vplivata delovna napetost in temperatura. Če so shranjeni nenapolnjeni, je njihova življenjska doba skoraj neomejena. Kot značilne

vrednosti za življenjsko dobo proizvajalci v podatkovnih listih navajajo spreminjanje zmogljivosti, ki se največkrat pokaže kot padanje kapacitivnosti in naraščanje upornosti.

## Število ciklov v življenjski dobi

V tipičnih delovnih pogojih lahko superkondenzator doseže do milijon delovnih ciklov, preden njegova kapacitivnost glede na nazivno pade za običajno 20–30 %.

## Uporabno območje napetosti

Superkondenzatorji imajo nazivno napetost 2,7 oziroma 3,0 V (hibridni 3,8 V). Delujejo, dokler napetost ne pade na 0 V (hibridni samo do 2,2 V). Hibridni superkondenzatorji združujejo lastnosti polnilne baterije in superkondenzatorja, vendar pa njihova uporaba zaradi minimalne potrebne napetosti ni trivialna. Nekateri proizvajalci na podatkovnih listih navedejo tudi udarno napetost (nazivna napetost +10 %). To je absolutno najvišja dovoljena napetost, ki sme biti priključena največ eno sekundo. Nenamerni napetostni konice nad nazivno napetostjo na kondenzator ne vplivajo takoj, lahko pa glede na pogostost in trajanje znatno skrajšajo njegovo življenjsko dobo.

Teoretično znaša skupna sposobnost shranjevanja energije v kondenzatorju  $W = \frac{1}{2} CU^2$  ( $C$  = kapacitivnost,  $U$  = napetost). Ker večina elektronskih naprav za delovanje potrebuje določeno minimalno napetost, območje napetosti nikoli ne sega od nazivne napetosti do ničle. Če uporabimo napetostno območje do polovice nazivne napetosti, lahko povrnemo približno 75 % razpoložljive energije superkondenzatorja.

Preostalo energijo pri delni razelektritvi izračunamo po naslednji formuli (formula 1):

$$W = \frac{1}{2} C (U^2_{\max} - U^2_{\min}).$$

## Stroški

Cena superkondenzatorjev na vatno uro je na primer v primerjavi z litij-ionskimi polnilnimi baterijami relativno visoka, zato je priporočljivo dobro premisliti, ali je rešitev s superkondenzatorjem smiselna in izvedljiva. Pri tem moramo stroške primerjati tudi s prednostmi uporabe superkondenzatorjev.

## Parametri polnjenja

Superkondenzatorji za razliko od polnilnih baterij ne shranjujejo energije s kemično reakcijo, ampak elektrostatično. Zato jih je mogoče polniti in prazniti enako ter z enako vrednostjo toka, na primer s stalnim tokom ali stalno močjo iz vira enosmerne napetosti.

## Uravnoveženje

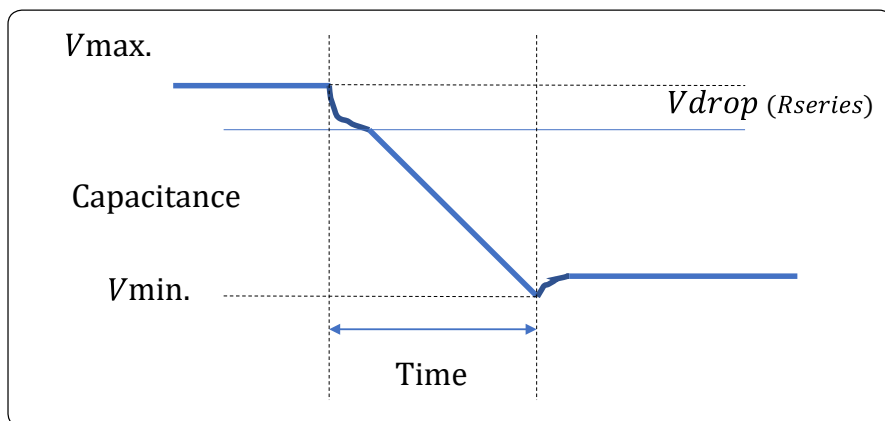
Delovna napetost pri načinih uporabe, za katere so primerni superkondenzatorji, praviloma močno presega nazivno napetost posameznih superkondenzatorjev, ki znaša 2,7 ali 3,0 V. Za napetost npr. 12, 24 oz. 48 V je zato treba več kondenzatorjev povezati zaporedno. Različne tolerance kapacitivnosti in slepega toka posameznih kondenzatorjev v kondenzatorski bateriji je treba med polnjenjem medsebojno izravnati z uravnoveženjem celic (angl. Cell Balancing), da posamezne celice ne presežejo največje dovoljene napetosti, kar lahko izvedemo aktivno ali pasivno. Poenostavljeno povedano je pasivno uravnoveženje primerno za načine uporabe z majhnimi obremenitvami, aktivno pa za velike obremenitve in nagla zaporedja ciklov polnjenja/praznjenja.

Pri pasivnem uravnoveženju vgradimo vzporedno z vsako celico obvodni upor ali Zenerjevo diodo, ki kompenzira razlike v slepih tokovih in kapacitivnostih med celicami. Če so vsi vzporedno vezani upori enaki, se celice z višjo napetostjo na upor praznijo hitreje od celic z nižjo napetostjo, kar izenači napetosti posameznih celic.

Pri aktivnem uravnoveženju uporabljamo napetostne komparatorje same ali skupaj z drugimi funkcijami za nadzor/polnjenje. Aktivno uravnoveženje za razliko od pasivnega ne uporablja ves čas celotnega kompenzacijskega toka, ampak ga vklopi le, ko napetost preseže vnaprej določeno mejno vrednost. Zaradi tega je aktivno uravnoveženje zelo učinkovito in ima bistveno boljši izkoristek, a je tudi bolj zapleteno in dražje. Na splošno je največkrat najboljša izbira superkondenzatorska baterija, ki ima uravnoveženje v veliki meri že integrirano, saj je tam uravnoveženje optimalno prilagojeno celicam.

## Dimenzioniranje superkondenzatorjev

V prvem koraku razvoja naprav s superkondenzatorji je ključnega



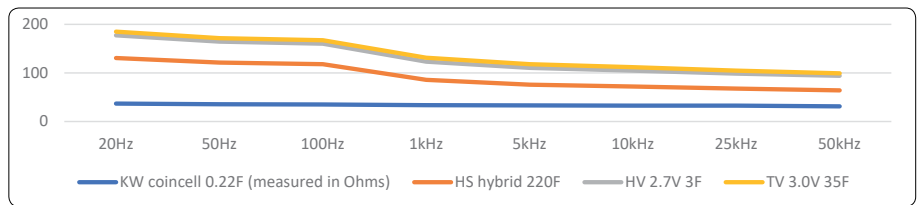
Grafika 4: Krivulja praznjenja superkondenzatorja (vir: Rutronik)

- $V_{\max}$ : največja dovoljena delovna napetost
- $V_{\min}$ : najmanjša dovoljena napetost, pod katero naš način uporabe ne deluje
- Čas: čas, za katerega mora superkondenzator zagotoviti napetost in tok med največjo ter najmanjšo napetostjo
- $V_{\text{drop}}$ : padec napetosti na kondenzatorju zaradi ESR (to določimo pozneje)



pomena določitev vrednosti parametrov v grafiki 4, saj določajo delovanje superkondenzatorja pri našem načinu uporabe.

Ker večina načinov uporabe zahteva skoraj stalen tok, pri nekaterih pa se tok tudi spreminja, izhajamo tukaj iz povprečnega toka ( $I_t$ ).



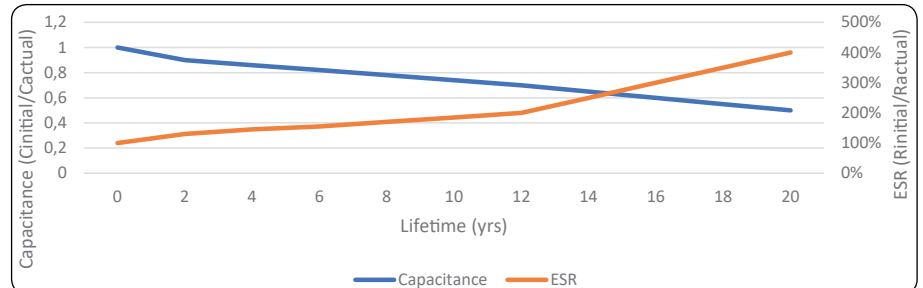
Grafika 5: Obnašanje ESR glede na frekvenco (vir: Eaton)

## Življenjska doba superkondenzatorjev

Da je superkondenzator dosegel konec življenjske dobe (angl. End of Life – EOL), šteujemo, ko v primerjavi s podatkovnim listom:

- kapacitivnost pade za 30 % (za nekatere načine uporabe, npr. letalstvo, velja 20 %; za druge, npr. avtomobilsko industrijo, pa 50 %),
- ali se podvoji vrednost ESR (običajno pri približno 30-odstotnem zmanjšanju kapacitivnosti); za gumbaste celice (angl. Coin) šteje 400-odstotno povečanje.

Merila za EOL običajno najdete v podatkovnem listu pod naslovom »DC-life«.



Grafika 6: Skozi čas se kapacitivnost superkondenzatorja postopoma zmanjšuje, vrednost ESR pa povečuje. (vir: Eaton)

računana vrednost mora biti manjša od prej izbrane kapacitivnosti. Če na primer znaša 13,8 F, bo izbrani kondenzator 15 F še vedno ustrezal, če pa je ugotovljena kapacitivnost večja od 15 F, je treba izbrati kondenzator z večjo kapacitivnostjo. Pri tem vedno upoštevajte tudi poslabšanje kapacitivnosti in ESR (grafika 6).

## Izračun kapacitivnosti

Z naslednjo formulo lahko izračunate potrebno kapacitivnost superkondenzatorja:

$$I_T = Cx \frac{dV}{dT} = Cx \frac{(V_{max} - V_{min} - V_{drop})}{T}$$

$$C = I_t x \frac{T}{(V_{max} - V_{min} - V_{drop})}$$

V prvem koraku ne upoštevamo padca napetosti ( $V_{drop}$ ):

$$C = I_t x \frac{T}{(V_{max} - V_{min})}$$

Nato izberemo standardno vrednost kapacitivnosti, ki je višja od izračunane. Če je rezultat formule na primer 13,2 F, izberemo 15 F.

Naslednji korak je drugi izračun, ki upošteva največjo možno vrednost ESR v enosmernem načinu (nizka frekvenca). Vrednost DC ESR je običajno navedena v podatkovnem listu in je kot primer prikazana v grafiki 5.

## Padec napetosti (padec napetosti na ESR)

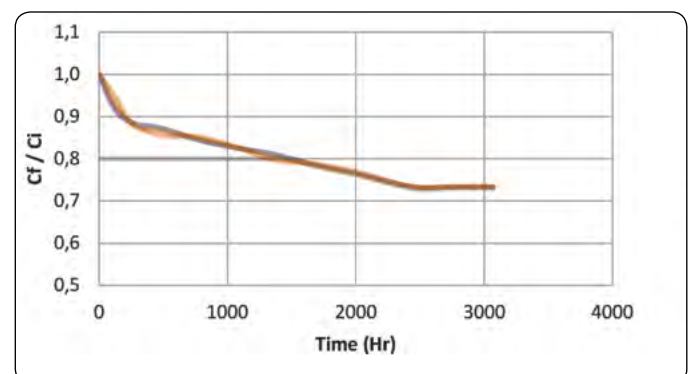
Če upoštevamo  $V_{drop}$  zaradi ESR, dobimo višjo končno kapacitivnost, saj se zmanjša uporabno območje napetosti. Ta na novo iz-

- $V_{drop} = ESR (DC) \times I_t$
- $C_2 = I_t x \frac{T}{(V_{max} - V_{min} - V_{drop})}$

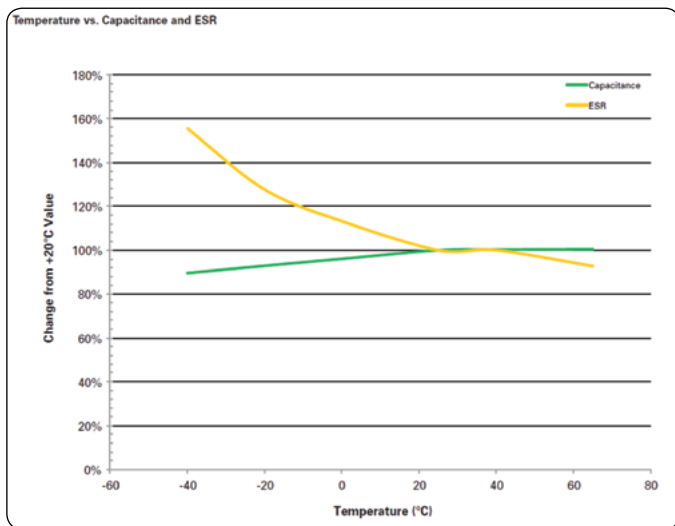
Če vzamemo za konec življenjske dobe (EOL) npr. 80 % prvotne kapacitivnosti in smo določili vrednost kapacitivnosti 13,8 F, mora biti dejanska kapacitivnost za 20 % večja, tj. 16,56 F. To pomeni, da moramo izbrati kondenzator z vrednostjo 25 F.

## Temperaturni profil

Ključni dejavnik pri uporabi superkondenzatorjev je temperaturni profil načina uporabe, saj zelo močno vpliva na različne značilnosti superkondenzatorja, zlasti ESR, kapacitivnost in



Grafika 7: Padanje kapacitivnosti superkondenzatorja; pri od 65 do 80 % prvotne kapacitivnosti v podatkovnem listu se šteje, da je življenjska doba dosežena. (vir: Eaton)



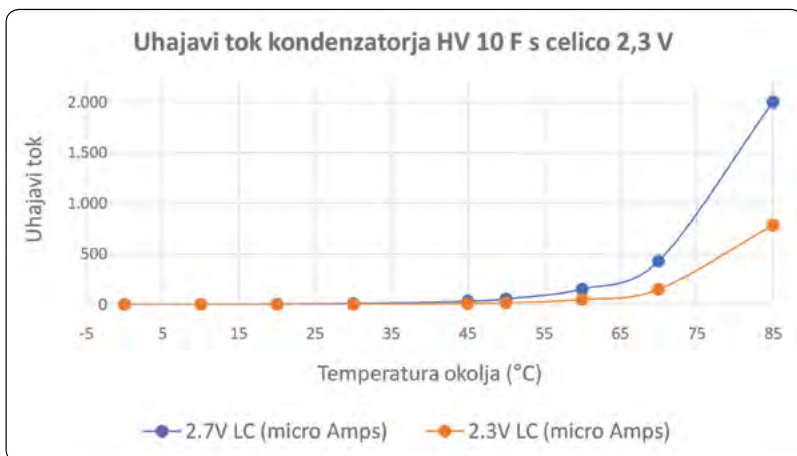
**Grafika 8:** Pri načinih uporabe s temperaturami pod 20 °C moramo obvezno upoštevati povečanje ESR. (vir: Eaton)

slepi tok. To posledično vpliva na njegovo življenjsko dobo.

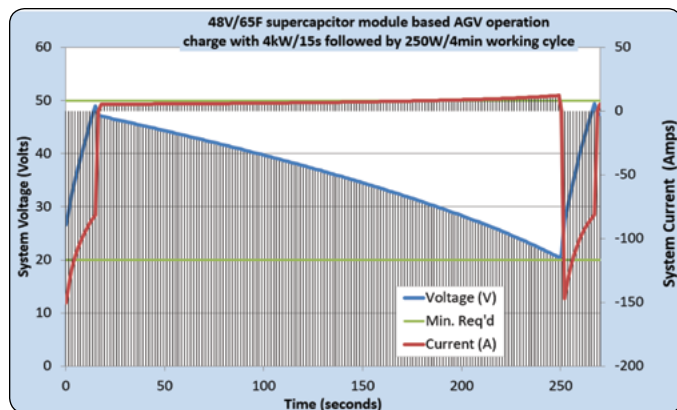
Notranja upornost (ESR) je v srednjem temperaturnem območju skoraj stalna, pri višjih temperaturah pa celo nekoliko pade (grafika 8). Če naprava deluje pri temperaturah pod 20 °C, je treba v izračunih obvezno upoštevati naraščanje vrednosti ESR. Drugače je s kapacitivnostjo, ki je razmeroma stabilna v celotnem temperaturnem območju, malo pade le pri nizkih temperaturah.

Slepi tok najlažje opišemo kot najmanjši potreben tok, ki ga je treba dovajati v superkondenzator, da dolgoročno ohrani enak naboj oz. napetost. Močno je odvisen od temperature in priključene napetosti: z vsakim dvigom temperature za 10 °C se dvigne za dva- do trikrat, od 40 °C naprej pa narašča še bolj strmo (grafika 9). Na drugi strani ga vsako zmanjšanje napetosti za 0,2 V zmanjša za približno 50 %. Sorazmeren je s kapacitivnostjo kondenzatorja in odvisen od vrste elektrolita: pri ACN (acetonitril) je nekoliko višji kot pri PC (propilenkarbonat).

Slepi tok je pomemben pri načinih uporabe, ki so stalno pod napetostjo, saj je treba v kondenzatorje vedno dovajati tok, da



**Grafika 9:** Uhajavi tok superkondenzatorja v celotnem temperaturnem območju (vir: Eaton)



**Grafika 10:** Delovni cikel sistema za prevoze brez voznika s hranilnikom energije s superkondenzatorji 48 V/65 F, ki tehta približno sedem kilogramov in ima prostornino devet litrov. (vir: Eaton)

se ohrani napetost. Slepi tok je treba upoštevati tudi pri zaporedno vezanih kondenzatorskih baterijah, ki so stalno priključene na napetost. Njegovo spreminjanje skozi življenjsko dobo namreč postopoma poslabša uravnoteženost sistema: celice z nižjim slepim tokom se napolnijo bolj, celice z višjim pa manj, kar povzroči še bolj neenakomerno staranje celic v sistemu. Tu lahko pomaga pasivno uravnoteženje. Približno pravilo je, da mora biti tok uravnoteženja desetkrat večji od slepega toka.

## Primer sistema s superkondenzatorji: vozila brez voznika

Skladišča sodobnih sistemov za e-trgovino v svojih močno avtomatiziranih procesih skladiščenja in odpreme pogosto uporabljajo prevozne sisteme brez voznika (AGV). Ti vzamejo kartone ali palete z regalov in jih prepeljejo v pakirno postajo, kar običajno traja dve do tri minute. Napajanje imajo izvedeno preko drsnih vodil ali pa z vgrajenim hranilnikom energije (polnilna baterija ali superkondenzator). Ta hranilnik energije lahko dovaja energijo skozi celotno pot in se polni po izmeni ali pa pokriva le del poti in se vmes redno polni na polnilni postaji.

Za takšna vozila brez voznika so postali superkondenzatorji priljubljen način napajanja, zlasti v hladilnicah ali za delovanje brez vzdrževanja 24 ur na dan in 7 dni v tednu. Ker jih je mogoče v 10–30 sekundah napolniti za dve do tri minute delovanja, omogočajo skladiščniku skoraj 100-odstotno izkoriščenost vozila zaradi kratkih časov mirovanja med polnjenjem. Poleg tega lahko delujejo skoraj brez vzdrževanja več kot deset let in nimajo potencialnih varnostnih težav, ki se lahko pojavljajo pri polnilnih baterijah.

Rutronik GmbH, Podružnica v Ljubljani  
Motnica 5, 1236 Trzin, Slovenija  
E-pošta: [rutronik\\_si@rutronik.com](mailto:rutronik_si@rutronik.com)  
Tel. +386 1 561 09-80  
<https://www.rutronik.com>



# ESP32-CAM: TinyML razvrstitev slik – sadje proti zelenjavi

Avtor: Marcelo Rovai

*Učenje klasifikacije slik na ugnезdenih napravah (ESP32-CAM).*

Vedno bolj se soočamo z revolucijo vgradnje strojnega učenja. In ko govorimo o strojnem učenju (Machine Learning: ML), prva stvar, ki pride na misel, je klasifikacija slik, nekakšen ML Hello World!

Ena najbolj priljubljenih in cenovno dostopnih razvojnih plošč, ki že ima integrirano kamero, je ESP32-CAM, ki združuje Espressif ESP32-S MCU čip s kamero ArduCam OV2640.



**Slika 1**

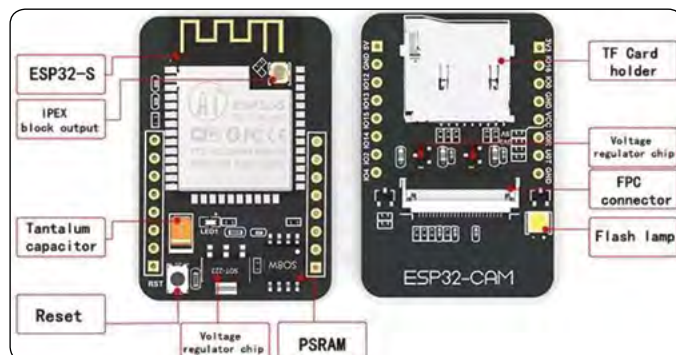
Čip ESP32 je tako zmogljiv, da lahko obdeluje celo slike. Vključuje komunikacije I2C, SPI, UART ter PWM in DAC izhode.

**Parametri:**

- Delovna napetost: 4,75-5,25V
- Flash: privzeto **Slika 2** 32Mbit
- RAM: notranji 520KB + zunanji 8MB PSRAM
- Wi-Fi: 802.11b/g/n/e/i
- Bluetooth: Bluetooth 4.2BR/EDR in standard BLE
- Podporni vmesnik (2Mbps): UART, SPI, I2C, PWM
- Podpora za TF kartico: največja podpora 4G
- IO vrata: 9
- Hitrost serijskih vrat: privzeto 115200 bps
- Razpon spektra: 2400 ~ 2483,5 MHz
- Oblika antene: vgrajena PCB antena, dobitek 2dBi
- Izhodni format slike: JPEG (podpira samo OV2640), BMP, SIVILA



**Slika 2**

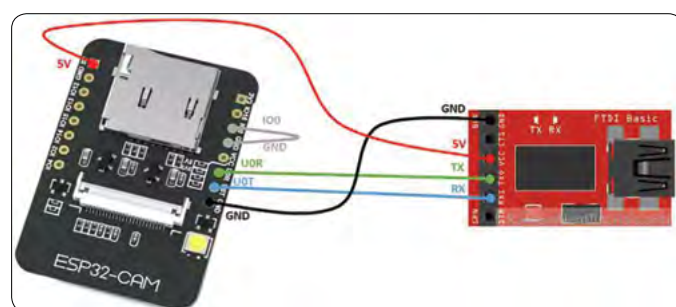


**Slika 3**



**Slika 4: Razpored priključkov na ESP32**

Upoštevajte, da ta naprava nima vgrajenega serijskega modula USB-TTL, zato bo za nalaganje kode v ESP32-CAM potreben poseben adapter, kot je prikazano na sliki 5



**Slika 5: Programiranje ESP32 preko USB/TTL vmesnika.**

Programiranje je možno tudi preko USB-TTL serijskega adapterja, kot je prikazano spona sliki 6.

Če želite izvedeti več o ESP32-CAM, močno priporočam knjige in vadnice Ruija Santosa [1].

**Slika 6: Adapter se poveže z ESP32 preko povezovalnih letvic.**





# Namestitev ESP32-CAM na Arduino IDE

Odprite okno z nastavitvami iz Arduino IDE in pojdite na:

Arduino > Nastavitve

### Vnesite spodnjo vrstico:

- [https://dl.espressif.com/dl/package\\_esp32\\_index.json](https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json)

v polje ==> URL-ji upravitelja dodatnih plošč (Additional Boards Manager URLs) (slika 7)

Nato odprite upravitelja plošč. Pojdite na Orodja > Plošča > Upravitelj plošč... in vnesite z ESP32. Izberite in namestite najnovejši paket (slika 8).

Izberite ESP32 ploščo:

Na primer, AI-Thinker ESP32-CAM (slika 9)

Nenazadnje izberite vrata, kamor je priključen ESP32-CAM.

To je to! Naprava mora biti pripravljena. Naredimo nekaj testov.

## Testiranje plošče z utripanjem LED-ice

ESP32-CAM ima vgrajeno LED-ico, ki je povezana z GPIO33. Torej ustrezno spremenite Blink skico, glej program 1.

Upoštevajte, da se LED-ica nahaja pod ploščo.

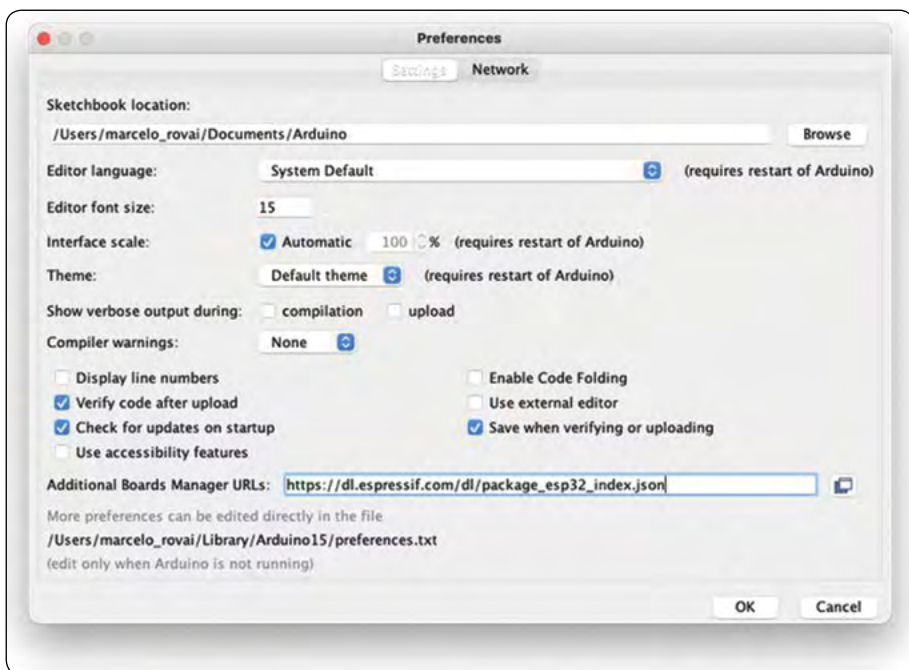
## Testiranje WiFi

Ena od zvočnih značilnosti ESP32S je njegova WiFi povezljivost. Torej, preizkusimo njegov radio in skenirajmo WiFi omrežja okoli njega. To lahko storite tako, da zaženete enega od primerov kode, ki je priložen plošči.

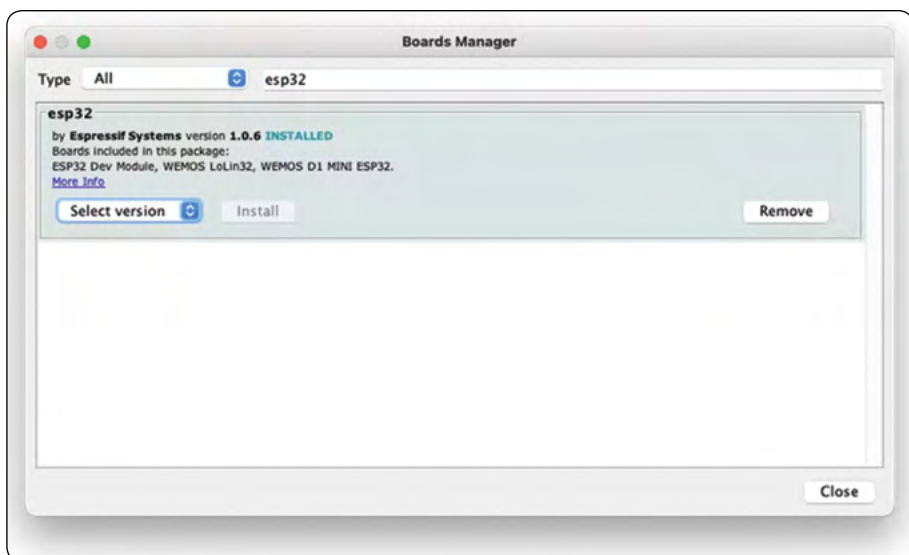
Pojdite na Arduino IDE Primeri in poiščite WiFi ==> WiFiScan

Na serijskem monitorju bi morali videti

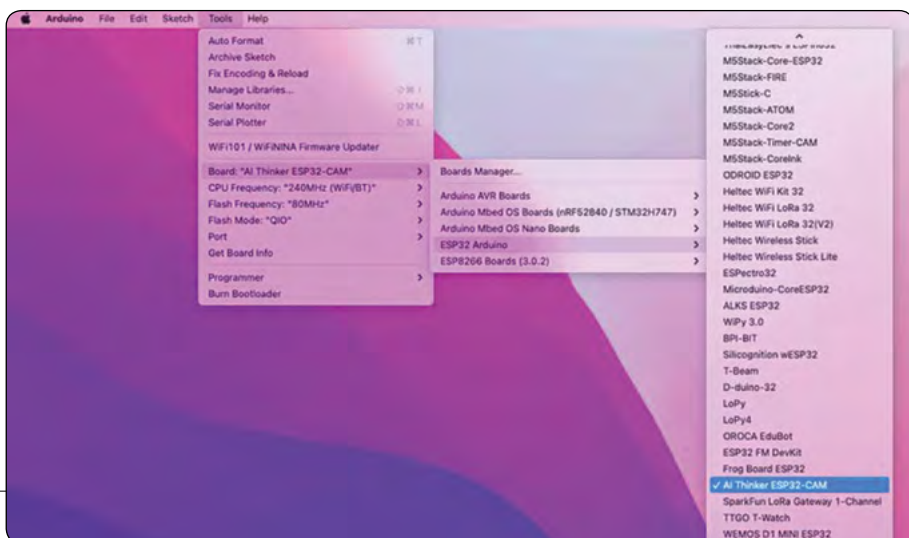
Slika 9

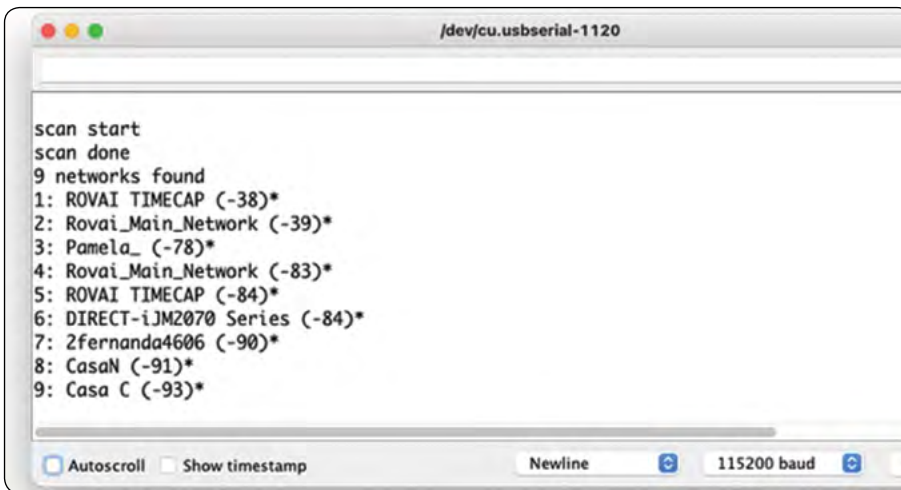


Slika 7

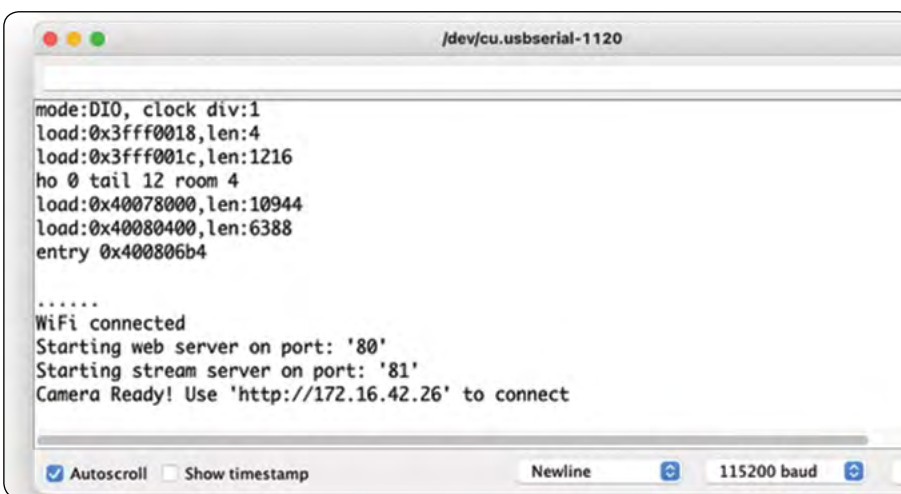


Slika 8





Slika 10



Slika 11

WiFi omrežja (SSID in RSSI) v dosegu vaše naprave. Takole izgleda to, kar imam doma (slika 10).

## Testiranje kamere

Za preizkus kamere lahko uporabite kodo, ki je na voljo na:

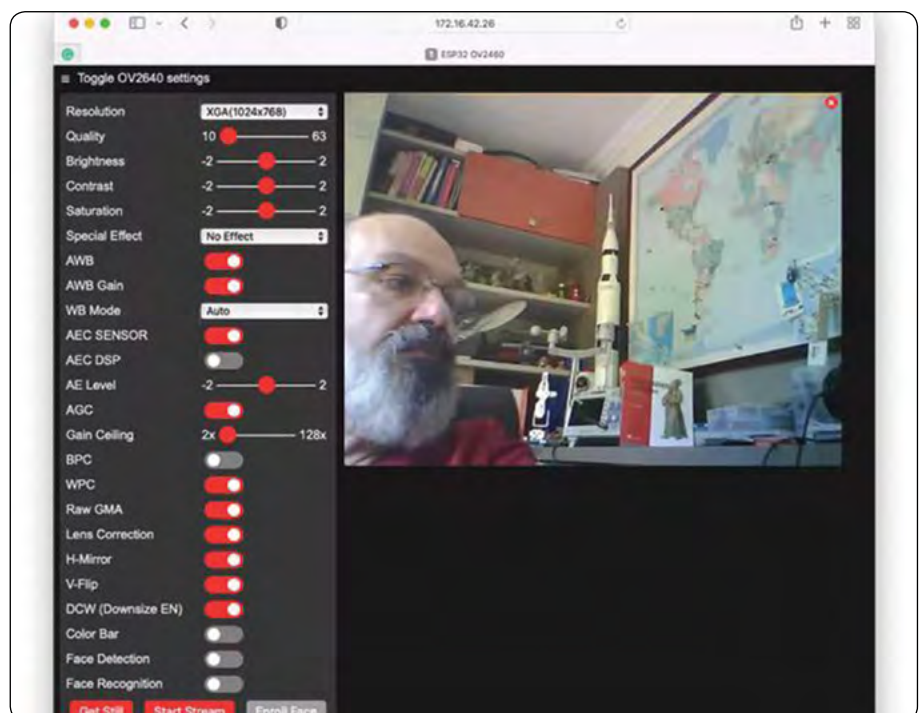
Examples ==> ESP32 ==> Camera  
==> CameraWebServer

Izberite samo pravo kamero:

```
1 #define CAMERA_MODEL
   _AI_THINKER
```

in vstopite z omrežnimi poverilnicami:

```
1 constchar* ssid =
   "*****";
2 constchar* password =
   "*****";
```



Slika 12

Na serijskem monitorju boste dobili ustrezen naslov za zagon strežnika, kjer lahko nadzorujete kamero (slika 11)

V mojem primeru: <http://172.16.42.26> (slika 12)

## Uporaba vašega spletnega strežnika

Do sedaj smo lahko preizkusili vso ESP32-CAM strojno opremo (MCU in kamero) in tudi Wi-Fi povezljivost.

Zdaj pa zaženimo enostavnejšo kodo, da zajamemo eno sliko in jo predstavimo na preprosti spletni strani.

Ta koda je bila razvita na podlagi odlične vadnice avtorja Rui Santos z naslovom: ESP32-CAM fotografiraj in prikaži v spletnem strežniku.

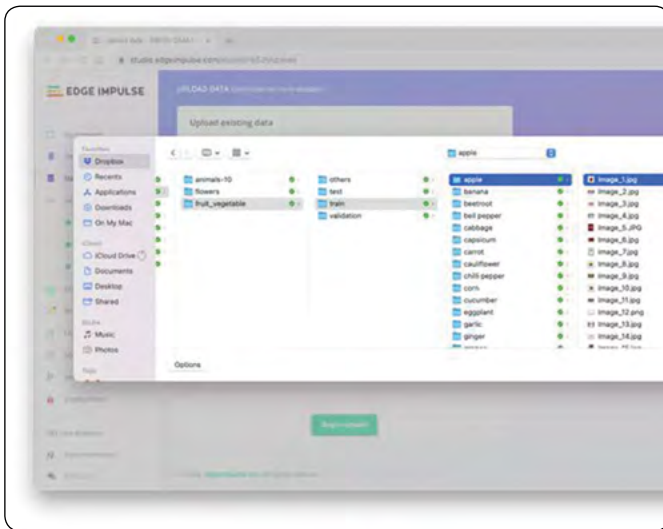
Prenesite datoteko: [ESP332\\_CAMERA\\_HTTP\\_Server\\_STA](#) iz GitHuba, spremenite poverilnice za Wi-Fi in zaženite kodo.

Tukaj je rezultat (slika 13).

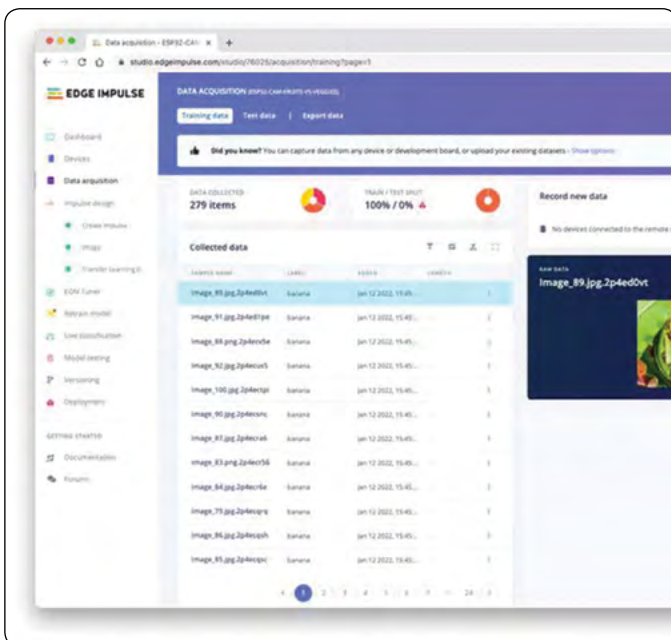
Poskusite pregledati kodo; lažje bo razumeti, kako deluje kamera.







Slika 16



Slika 17

**program 1**

```

1  #define LED_BUILT_IN 33
2
3  void setup() {
4      pinMode(LED_BUILT_IN, OUTPUT); // Set the pin as
5      output}
6
7      // Remember that the pin work with inverted logic
8      // LOW to Turn on and HIGH to turn off
9  void loop() {
10     digitalWrite(LED_BUILT_IN, LOW); //Turn on
11     delay (1000); //Wait 1 sec
12     digitalWrite(LED_BUILT_IN, HIGH); //Turn off
13     delay (1000); //Wait 1 sec
14 }

```

**program 2**

```

# Implements the data augmentation policy
def augment_image(image, label):
    # Flips the image randomly
    image = tf.image.random_flip_left_right(
        image)

    # Increase the image size, then randomly
    # crop it down to
    # the original dimensions
    resize_factor = random.uniform(1, 1.2)
    new_height = math.floor(resize_factor *
        INPUT_SHAPE[0])
    new_width = math.floor(resize_factor *
        INPUT_SHAPE[1])
    image = tf.image.resize_with_crop_or
    pad(image, new_height, new_width)
    image = tf.image.random_crop(image, si
    ze=INPUT_SHAPE)

    # Vary the brightness of the image
    image = tf.image.random_brightness(ima
    ge, max_delta=0.2)

    return image, label

```

kategorijami podatkov, branjem za usposabljanje (slika 17). Prav tako lahko naložite dodatne podatke za nadaljnje testiranje modela ali razdelite podatke o usposabljanju.

## Impulse Design

Impulse zajame neobdelane podatke (v tem primeru slike), zajame značilnosti (spremeni velikost slik) in nato uporabi učni blok za razvrstitev novih podatkov.

Kot smo že omenili, je razvrščanje slik najpogostejša uporaba globokega učenja, vendar je treba za izpolnitev te naloge uporabiti veliko podatkov. Za vsako kategorijo imamo okoli 90 slik. Ali je ta številka dovolj? Sploh ne!

Potrebovali bomo na tisoče slik, da se bomo »učili ali modelirali«, da bi razlikovali jabolko od banane. Toda to težavo lahko rešimo s ponovnim usposabljanjem predhodno usposobljenega modela s tisočimi slikami. To tehniko smo poimenovali "Transfer Learning" (TL) (slika 18).

S TL lahko natančno prilagodimo vnaprej usposobljen model klasifikacije slik na naših podatkih, tako da dosežemo dobro zmogljivost tudi z relativno majhnimi nabori podatkov slik (naš primer).

Torej, začeni s surovimi slikami, jim bomo spremenili velikost (96 × 96) slikovnih pik in jih tako dali v naš Transfer Learning blok (slika 19).

## Predprocesiranje

Poleg spreminjanja velikosti slik bi jih morali spremeniti v sivine, da ohranimo dejansko globino barve RGB. Pri tem bo vsak od naših vzorcev podatkov imel dimenzijo 9, 216 značilnosti (96x96x1). Če bi ohranili RGB, bi bila ta dimenzija trikrat večja. Delo s sivinami pomaga zmanjšati količino končnega pomnilnika, potrebnega za sklepanje (slika 20).

Ne pozabite pritisniti tipke "Shrani parametre". To bo ustvarilo funkcije, ki se bodo uporabljale pri usposabljanju.

## Usposabljanje (zajemanje in povečanje podatkov)

Leta 2007 je Google predstavil MobileNetV1 [4], družino nevronske omrežij računalniškega vida splošnega namena, zasnovane za mobilne naprave, ki podpirajo klasifikacijo, odkrivanje in drugo. MobileNets so majhni modeli z nizko zakasnitvijo in nizko porabo, ki so parametrizirani tako, da izpolnjujejo omejitve virov različnih primerov uporabe.

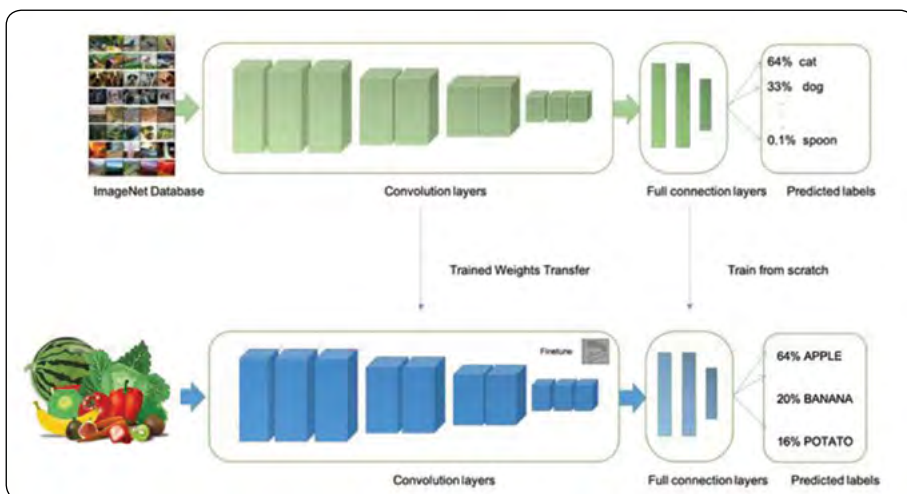
Čeprav je osnovna arhitektura MobileNet že majhna in ima nizko zakasnitev, lahko velikokrat določen primer uporabe ali aplikacija zahteva, da je model manjši in hitrejši. Za izdelavo teh manjših in računsko manj dragih modelov MobileNet uvaja zelo preprost parameter  $\alpha$  (alfa), imenovan množitelj širine. Vloga množitelja širine  $\alpha$  je enakomerno tanjšati omrežje na vsaki plasti.

Edge Impulse Studio ima na voljo MobileNet V1 (96x96 slike) in V2 (96x96 in 160x160 slike), z več različnimi vrednostmi  $\alpha$  (od 0,05 do 1,0). Najvišjo natančnost boste na primer dosegli s slikami V2, 160x160 in  $\alpha=1,0$ . Seveda obstaja kompromis. Višja kot je natančnost, več pomnilnika (okoli 1,3M RAM-a in 2,6M ROM-a) bo potrebno za zagon modela, kar pomeni večjo zakasnitev.

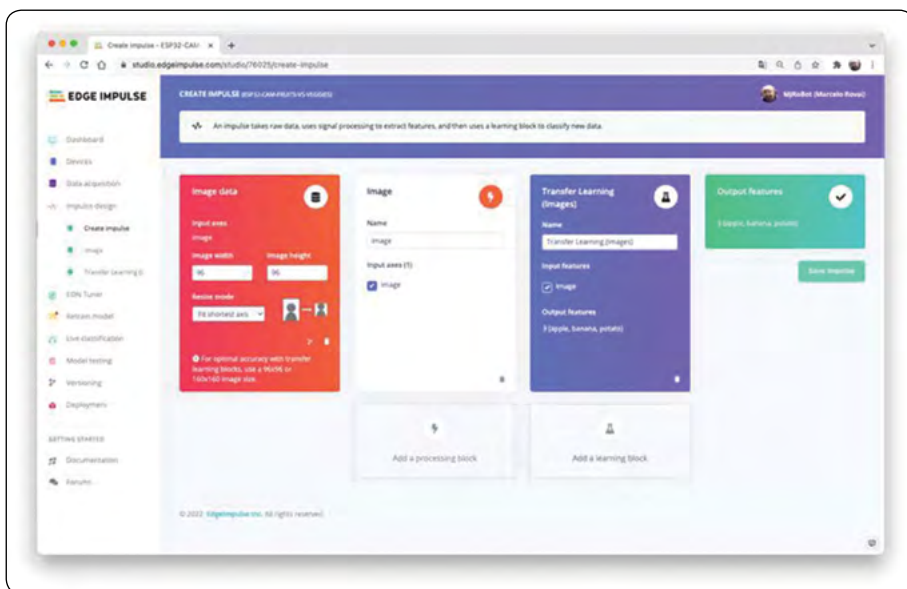
V drugem skrajnem primeru bo manjši odtis dosežen z MobileNet V1 in  $\alpha=0,10$  (okoli 53,2 K RAM-a in 101 K ROM-a).

Za izvajanje tega projekta na ESP32-CAM bi morali ostati na spodnji strani možnosti, zagotoviti primer sklepanja, vendar ne z visoko natančnostjo.

Druga potrebna tehnika, ki jo je treba uporabiti pri globokem učenju, je povečanje podatkov. Povečanje podatkov je metoda, ki lahko pomaga izboljšati natančnost modelov strojnega



Slika 18



Slika 19

učenja. Sistem za povečanje podatkov med vadbenim procesom naredi majhne, naključne spremembe vaših vadbenih podatkov (kot so obračanje, obrezovanje ali vrtenje slik).

Tu lahko vidite, kako Edge Impulse izvaja politiko povečanja podatkov za vaše podatke, glej program 2.

Če ste med vadbo izpostavljeni tem spremembam, lahko preprečite, da bi vaš model uporabljal bližnjice, tako da si "zapomni" površne namige v vaših podatkih o vadbi, kar pomeni, da lahko bolje odraža globoke osnovne vzorce v vašem naboru podatkov.

Končna plast našega modela bo imela 16 nevronov z 10 % osipa za preprečevanje prevelikega števila vzorcev. Tukaj je rezultat usposabljanja (slika 21).

Rezultat ni odličen. Model je dosegel približno 77 % natančnosti, vendar je pričakovana količina pomnilnika RAM, ki bo uporabljen med sklepanjem, precej majhna (okoli 60 KB), kar je zelo dobro.

## Uvajanje in zagon

Izurjeni model bo nameščen kot Arduino.zip knjižnica, ki se bo uporabljala na določeni ESP32-CAM kodi (slika 22).

Odprite svoj Arduino IDE in pod Sketch pojdite na Include Library in add.ZIP Library. Izberite datoteko, ki ste jo pravkar prenesli iz Edge Impulse Studio in to je to!

Pod zavihkom Primeri v Arduino IDE bi morali najti kodo skice pod imenom svojega projekta (slika 23).

Odprite Static Buffer primer (slika 24).

Vidite lahko, da je prva vrstica kode točno klic knjižnice, ki bo imela vse potrebno za izvajanje sklepanja na vaši napravi.

```
1 #include <ESP32-CAM
  -Fruit-vs-Veggies_
  inferencing.h>
```

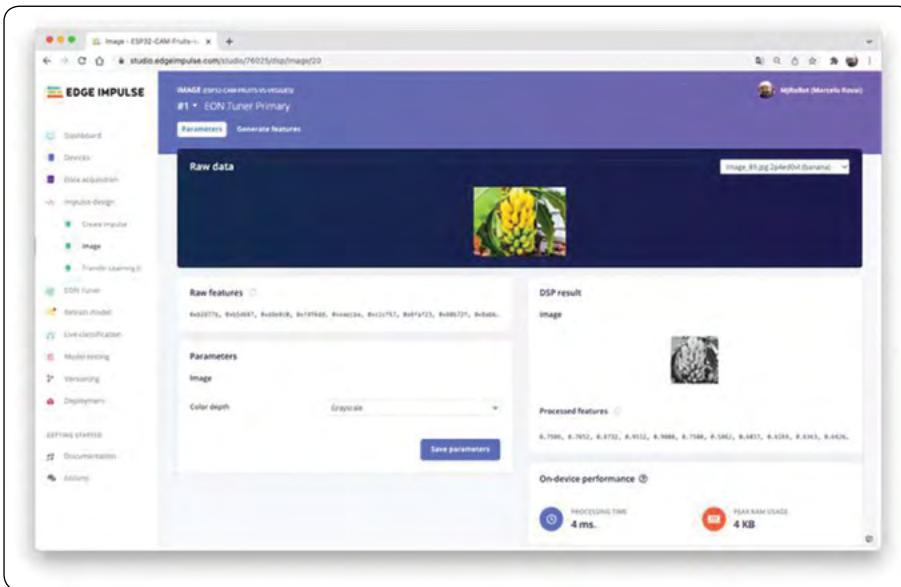
Seveda je to generična koda (>predloga<), ki dobi samo en vzorec neobdelanih podatkov shranjenih v spremenljivki: features = {} in zažene klasifikator, pri čemer izvede sklepanje. Rezultat je prikazan na serijskem monitorju.

Kar moramo storiti je, da dobimo vzorec (sliko) iz kamere, jo predhodno obdelamo (spremenite velikost na 96×96, pretvorimo v sivine in ji znižamo resolucijo). To bo vhodni tenzor našega modela. Izhodni tenzor bo vektor s tremi vrednostmi, ki prikazujejo verjetnosti vsakega od razredov (slika 25).

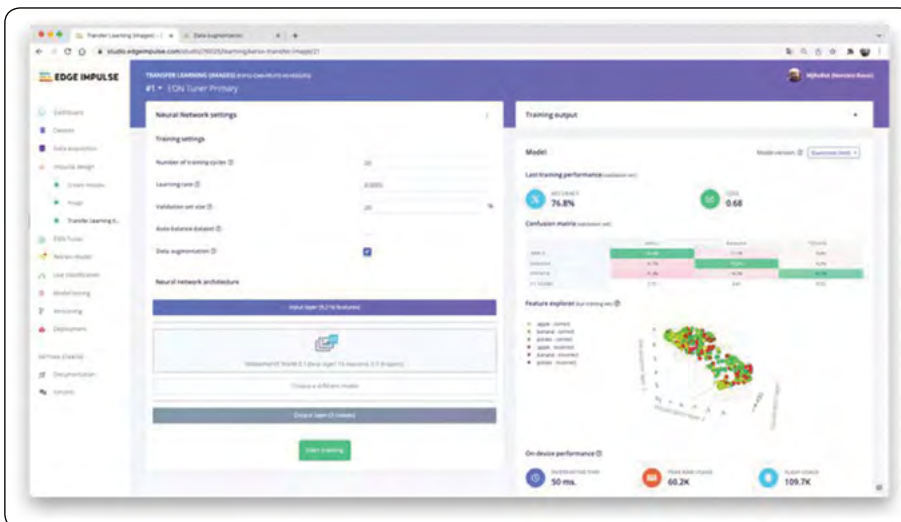
Na spletnem mestu [5] je Edge impulse prilagodil kodo, ki je na voljo za testiranje kamere (Primeri ==> ESP32 ==> Camera ==> CameraWebServer), vključno s tisto, kar je potrebno da zažene sklepanje na ESP32-CAM.

Na GitHub prenesite kodo Basic-Image-Classification, vključno s knjižnico vašega projekta, pri čemer izberite svojo kamero in poverilnice za WiFi omrežje (slika 26).

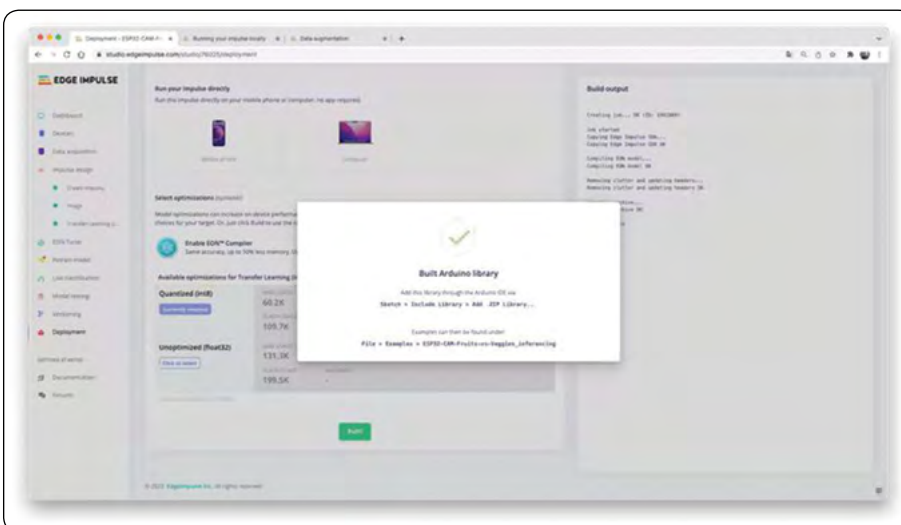
Naložite kodo v vaš ESP32-CAM in že boste lahko začeli razvrščati svoje sadje in zelenjavo! To lahko preverite na serijskem monitorju (slika 27).



Slika 20

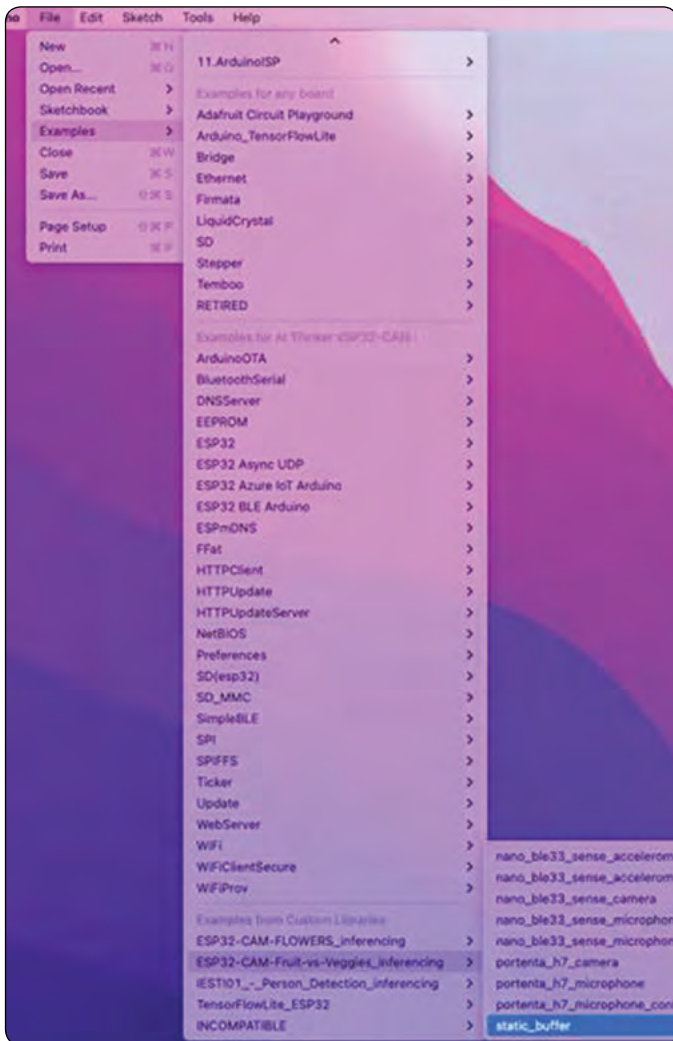


Slika 21

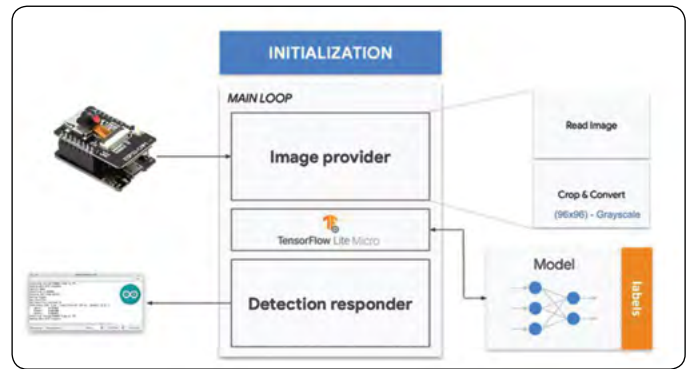


Slika 22

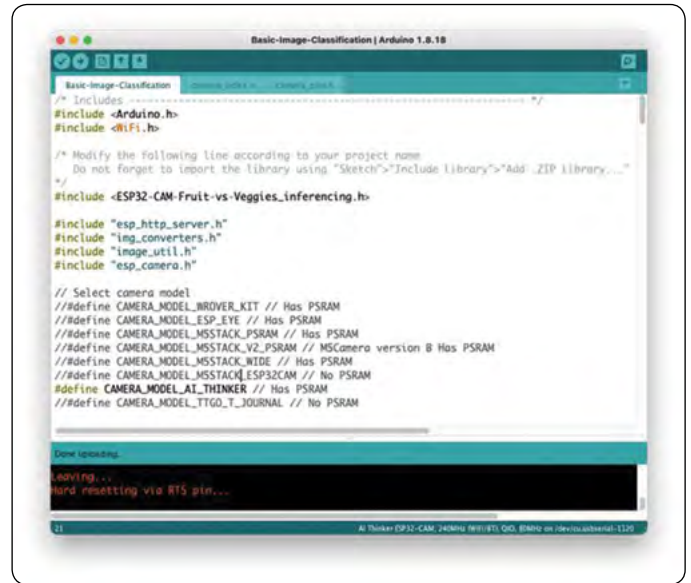




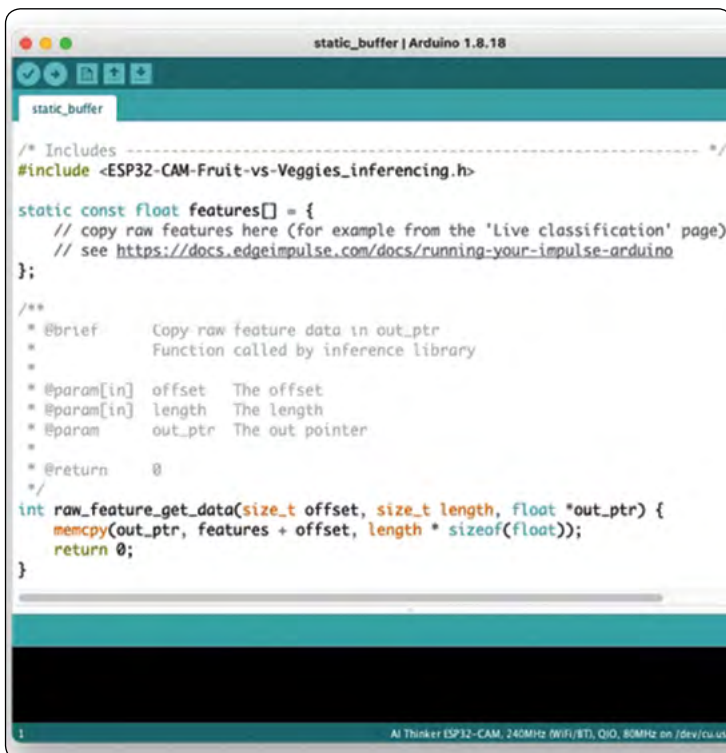
Slika 23



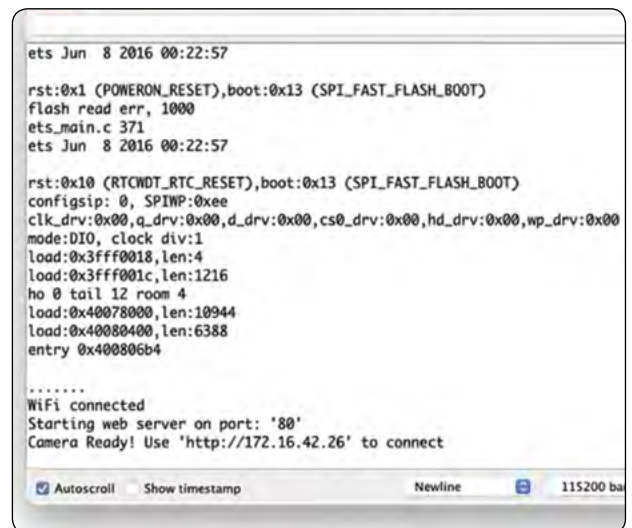
Slika 25



Slika 26



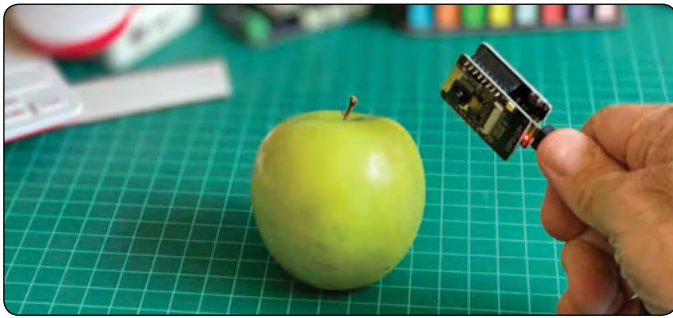
Slika 24



Slika 27

## Testiranje modela (sklepanje)

Slika 28. Če dobite fotografijo s kamero, se bo rezultat razvrstitve prikazal na serijskem monitorju (slika 29).



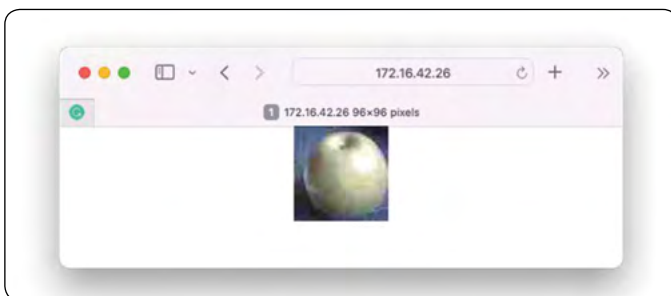
Slika 28

```

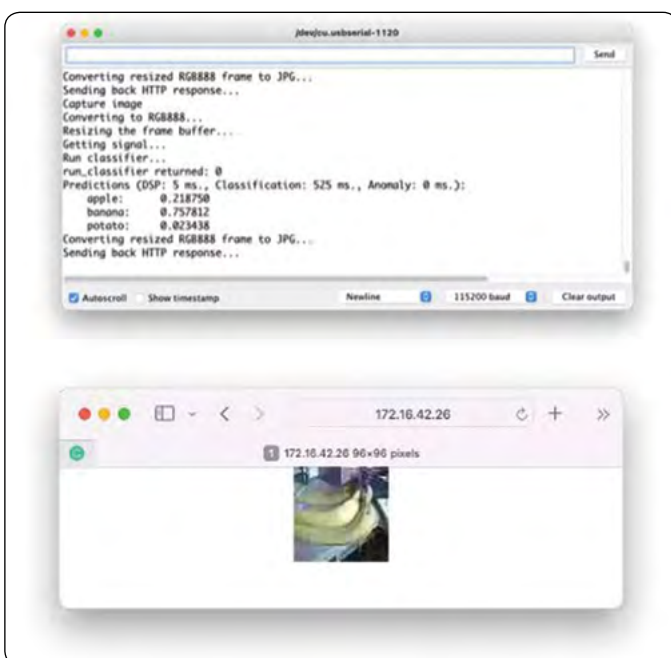
Converting resized RGB888 frame to JPG...
Sending back HTTP response...
Capture image
Converting to RGB888...
Resizing the frame buffer...
Getting signal...
Run classifier...
run_classifier returned: 0
Predictions (DSP: 5 ms., Classification: 525 ms., Anomaly: 0 ms.):
apple: 0.636719
banana: 0.113281
potato: 0.250000
Converting resized RGB888 frame to JPG...
Sending back HTTP response...

```

Slika 29



Slika 30



Slika 31

Slika kot, ki jo je posnela kamera, je mogoče preveriti na spletni strani (slika 30). Drugi testi (slika 31,32).

## Zaključek

ESP32-CAM je zelo prilagodljiva, ni draga in enostavna naprava za programiranje. Projekt bi lahko dokazal potencial TinyML, vendar nisem prepričan, ali je mogoče splošne rezultate uporabiti v resničnih aplikacijah (na način, kot je bil razvit). Samo najmanjši model Transfer Learning je deloval pravilno (MobileNet V1 z  $\alpha=0,10$ ) in vsak poskus povečanja natančnosti z uporabo večjega  $\alpha$  je povzročil napako pri dodelitvi Arene. Morda je eden od razlogov za to količina pomnilnika, ki je že uporabljena na končni splošni kodi za zagon kamere. Torej je naslednji korak v projektu optimizacija končne kode, s čimer se sprostijo več pomnilnika za zagon modela. V mojem GitHub skladišču boste našli zadnjo različico kod: ESP32-TinyML [6].

Kot vedno upam, da bi lahko ta projekt pomagal drugim, da se znajdejo v razburljivem svetu umetne inteligence, elektronike in interneta stvari!

### Viri:

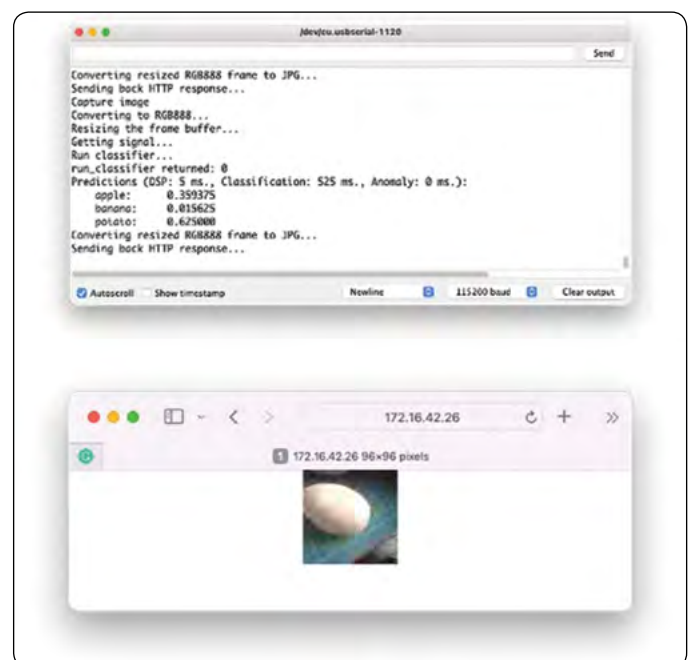
- 1: <https://bit.ly/3Ngmqd7>
- 2: <https://en.wikipedia.org/wiki/Kaggle>
- 3: <https://bit.ly/36Ub3ax>
- 4: <https://research.googleblog.com/2017/06/mobilenets-open-source-models-for.html>
- 5: <https://github.com/edgeimpulse/example-esp32-cam>
- 6: <https://github.com/Mjrovai/ESP32-TinyML>

### Povzeto po:

- <https://bit.ly/3DbF15I>



<https://svet-el.si>



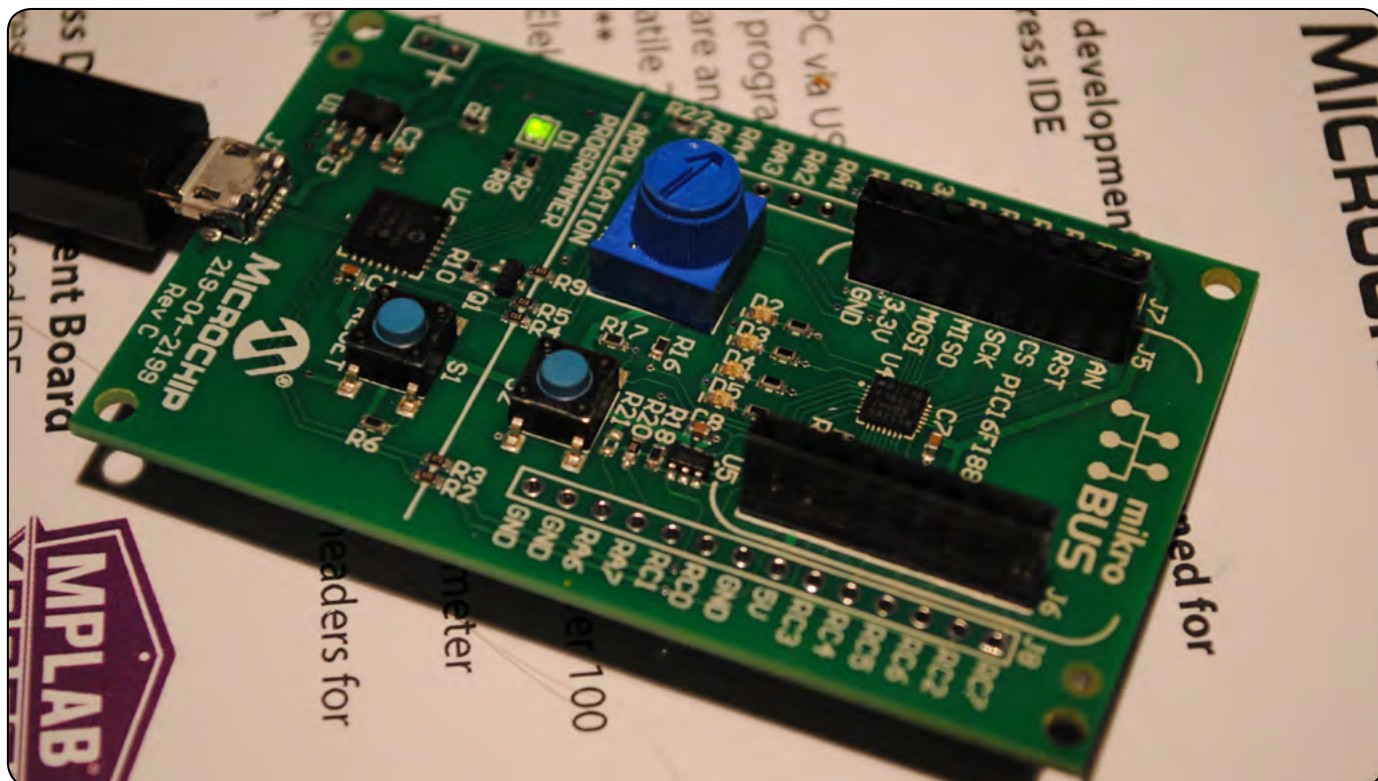
Slika 32



# Sodobni Microchipovi mikrokontrolerji: kako začeti?

Avtor teksta in fotografij: dr. Simon Vavpotič  
E-pošta: [simon.vavpotic@gmail.com](mailto:simon.vavpotic@gmail.com)

*Potem, ko je leta 2016 Microchip kupil Atmel in svoj portfelj dodal njegove mikrokontrolerje, dve leti kasneje pa tudi obetavni Microsemi in njegovo PolarFire FPGA tehnologijo, ima danes skoraj zagotovo najbolj zanimiv izbor mikrokontrolerskih tehnologij za graditelje mikroelektronskih sistemov. Znamo med tisočnimi mikrokontrolerji izbrati ravno pravnjega?*



**Slika 1: Microchip Xpress Development module**

Raba mikrokontrolerjev in sistemov v enem čipu (SoC) pri gradnji vsakovrstne strojne opreme, h kateri je veliki meri pripomoglo tudi popularno razvojno okolje Arduino, se hitro povečuje tudi pri nas. Domači in profesionalni graditelji vse pogosteje uporabljajo 32-bitne mikrokontrolerje, ugnedene v raznovrstne module in razvojne plošče, ki omogočajo hiter razvoj novih strojnih aplikacij v različnih razvojnih okoljih, med katerimi je za domače projekte v ospredju Arduino, profesionalni graditelji pa raje uporabljajo zmogljivejša in zahtevnejša razvojna okolja proizvajalcev.

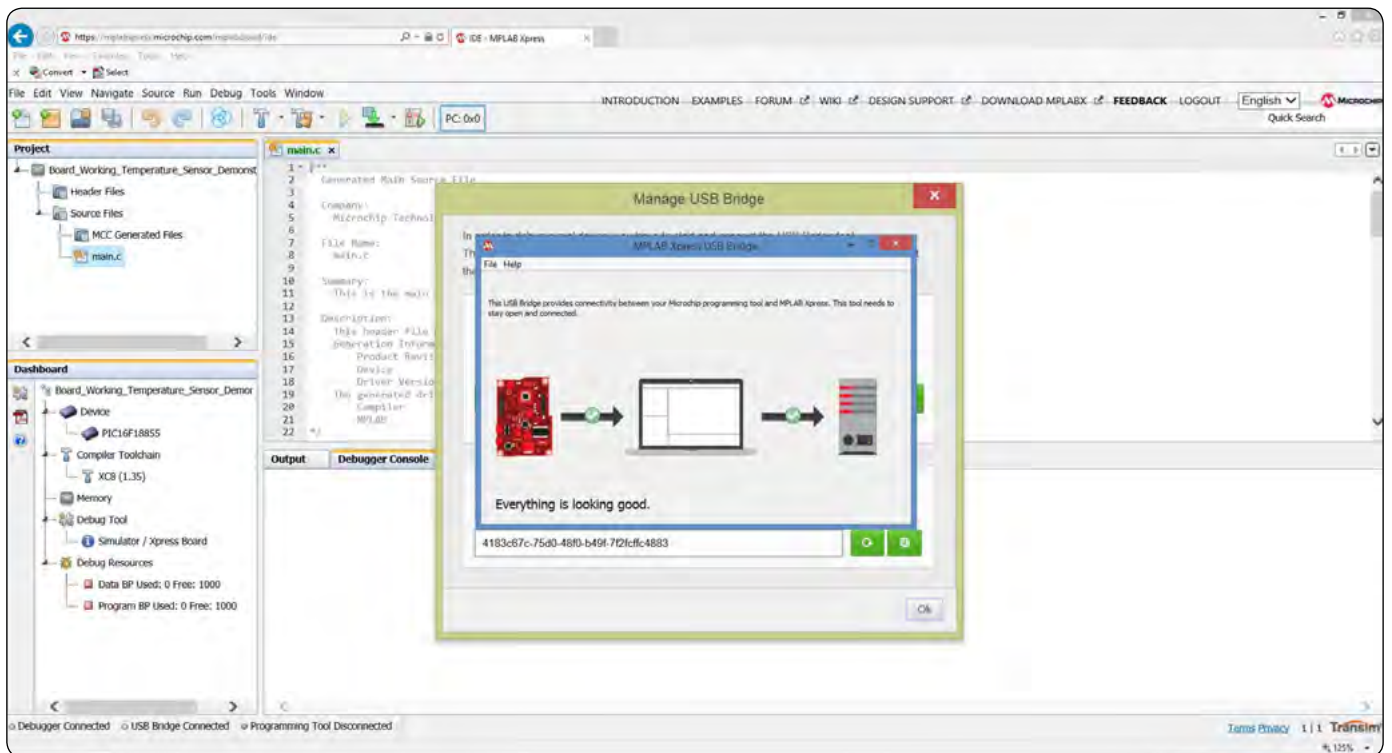
Ob misli, da bi za svoj projekt uporabil katerega od zajetnejših 8-bitnih mikrokontrolerjev s 64, 100 ali več priključki marsikateri razvijalec najprej pomisli na paleto možnosti, ki jih nudijo po mikroprocesorski zasnovi sodobnejši 32-mikrokontrolerji, a pri številnih aplikacijah je mikrokontrolerjeva procesna enota zgolj povezovalni element med zmogljivimi funkcijskimi enotami. Je pa 8-bitna programska koda krajša in pogosto zahteva bistveno manj pomnilnika od 32-bitne. Navadno zadošča od nekaj kB do 200 kB Flash RAM-a in od 1 kB do 10 kB RAM-a.

Zato pri Microchipu še naprej razvijajo tudi 8-bitnike in sproti posodabljaajo njihovo notranjo arhitekturo.

## 8-bitniki za enostavne in poceni (velikoserijske) aplikacije

Čeprav domači graditelji pogosto posežemo po za programerja udobnejših 32-bitnih arhitekturah, so 8-bitne arhitekture še kako aktualne med proizvajalci bele tehnike in avtomobilov, saj imajo mikrokontrolerji z enostavnejšimi jedri veliko prostora za specializirano periferijo, po drugi strani pa lahko z vgradnjo v različne digitalne senzorje bistveno zmanjšajo procesorsko obremenitev glavnih mikrokontrolerjev v različnih napravah. Več kot 3.000 različnih Microchipovih 8-bitnih mikrokontrolerjev temelji na preizkušeni arhitekturah PIC16F, PIC18F in AVR z do 16 kB RAM-a in 384 kB Flash RAM-a. Vgrajujejo jih v čipe z od 6 do 100





**Slika 2:** Vgrajeno programsko kodo za enostavne mikrokontrolerje lahko razvijamo tudi prek Microchipovega spletnega portala, na katerem je vedno nameščena zadnja različica MPLAB X in vanj vgrajenih razvojnih orodij.

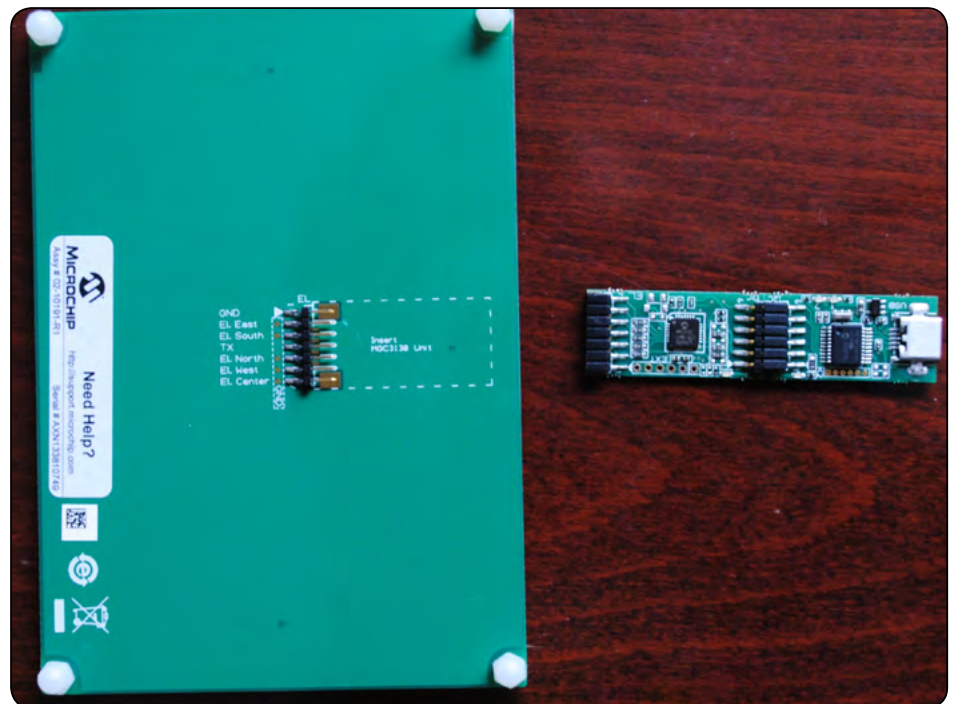
priključki, ki jih napajamo z napetostmi med 1,6 V do 5,5 V. Omogočajo varčevanje z energijo, saj potrebujejo v stanju pripravljenosti le 20 nA toka, v stanju globokega spanja pa le 9 nA, kar omogoča uporabo baterijskega napajanja, denimo v daljinskih upravljalnikih.

Microchip na 8-bitni mikrokontrolerski osnovi izdeluje tudi kopico tovarniško predprogramiranih krmilnih, komunikacijskih in senzorskih čipov, ki jih lahko enostavno uporabimo v svojih projektih gradnje strojne opreme, ne da bi se morali ukvarjati z razvojem in nalaganjem ugnezdene programske kode.

Eden izmed zimezelenih popularnih tovrstnih mikrokontrolerjev je MCP2200, ki deluje kot USB-RS-232 most in ga je mogoče celo reprogramirati z lastno ugnezdjeno programsko opremo. A to odsvetujem, če uporabljate zastonsko licenco za MPLAB X, saj ta ne dopušča dovolj optimizacij programske kode, zaradi česar bo doma izdelana programska koda delovala kvečjemu slabše od tovarniško ugnezdene, saj bo za programerske trike preprosto zmanjkalo pomnilnika. Poti nazaj ni, saj tovarniške programske kode zaradi zaščite pomnilnika ni mogoče prekopirati, v internetu pa je tudi ne moremo dobiti.

## Bistvene so ugnezdene periferne enote

Ob naraščajoči stopnji integracije Microchip v svoje 8-bitne mikrokontrolerje vgrajuje vse več funkcijskih enot, kar



**Slika 3:** Razvojna sledna tablica z namenskim mikrokontrolerjem MGC3130 za aplikacije, ki zaznavajo tudi 3D gibanje in geste v prostoru nad tablico na osnovi signalnega procesorja z ugnezdjeno programsko knjižnico GestIC.

poenostavlja stojne aplikacije in zmanjšuje dimenzije mikrokontrolersko krmiljenih modulov. Je pa res, da moramo potrebne funkcionalnosti natančno opredeliti že pred začetkom projekta in se v skladu z njimi odločiti za najustreznejši mikrokontroler. Vsekakor pa moramo prej poznati izbor funkcijskih enot in njihovo število pri članih izbrane mikrokontrolerske družine.

Pri tem nam je veliko pomoč pregledna tabela, v kateri so prikazane okvirne zmogljivosti posameznih poddružin mikrokontrolerjev. V dokumentu 8-bit MCU Brochure (30009630) najdemo tudi tabeli z opisom funkcionalnosti vseh 8-bitnih PIC in AVR mikrokontrolerjev, med katerimi so tudi popularni PIC10, PIC12, PIC16, PIC18, ATtiny, ATmega in AVR mikrokontrolerji.

Vendar naj opozorim, da je potrebne pozorno prebrati tudi kratke opise funkcionalnih enot, saj so v tabelah le podatki, ki se med posameznimi poddružinami mikrokontrolerjev razlikujejo, ne pa tudi tisti, ki so enaki za vse. Tako pri PIC mikrokontrolerjih hitro ugotovimo, da nekateri omogočajo celo 32-bitne časovnike in števec.

Kaj so bistvene razlike med funkcijskimi enotami PIC, ATtiny, ATmega in AVR mikrokontrolerjev? Po številu funkcionalnosti so med 8-bitni mikrokontrolerskimi družinami po zmogljivosti nekoliko v ospredju PIC18 mikrokontrolerji, a ne čisto za vse naloge, saj na primer pri PIC nimamo ugnezdene podpore za kriptografijo.

--Kje 8-bitne mikrokontrolerje pogosto uporabljamo? Implementacija kompleksnih senzorjev, kot je tisti za merjenje dotika in premika prstov in rok, je gotovo eden izmed problemov, ki jih zlahka rešimo s PIC16F18076. Za tiste, ki si želite sami eksperimentirati pa je kot nalašč razvojna ploščica Microchip Xpress Development Board s PIC16F18855 mikrokontrolerjem z bogato funkcionalnostjo. Vsekakor pa ne morete pričakovati, da boste v 8-bitnik vgradili tudi zmogljiv spletni grafični vmesnik ali z njim hitro zajemali gore podatkov iz digitalne kamere na SD kartico ali jih pošiljali prek Wi-Fi v osebni računalnik. Za kaj takega rabite 32-bitni mikrokontroler...

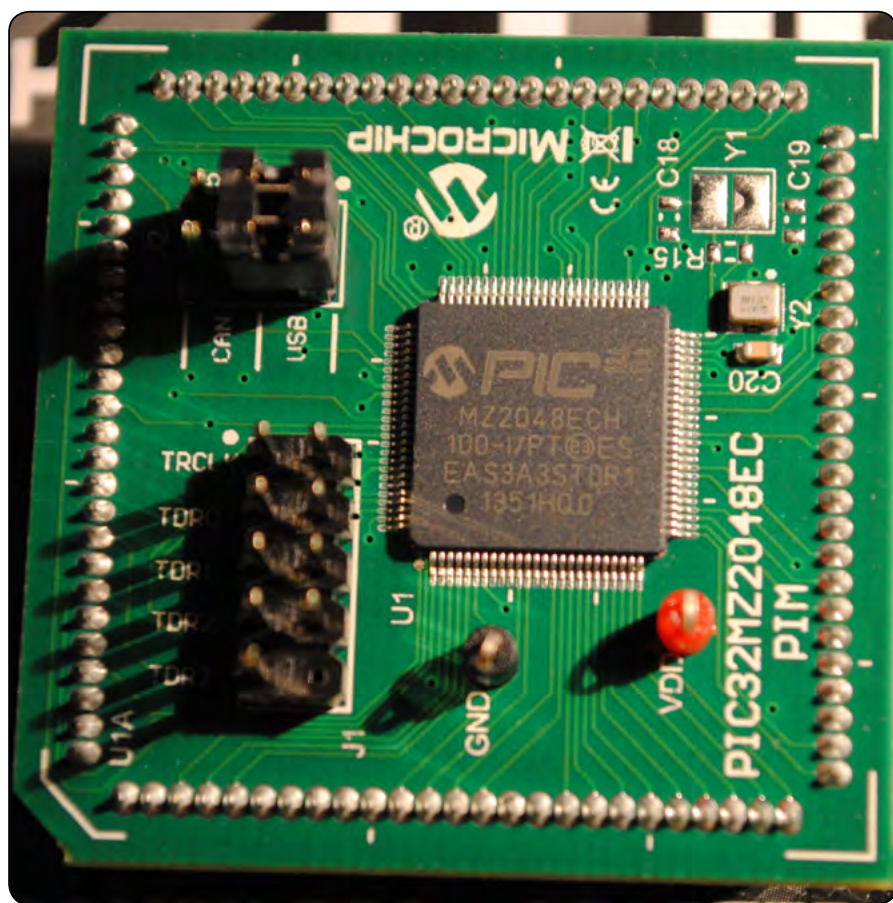
## 16-bitniki in digitalni signalni procesorji posebne aplikacije

Družini PIC24 in dsPIC33 nista redkeje uporabljamo za domače aplikacije, saj zahtevata precejšnjo optimizacijo programske kode, krati pa za enostavnejše domače projekte nimata prednosti pred 8-bitniki, medtem ko so 32-bitni mikrokontrolerji hitrejši, enostavnejši za uporabo in za večino problemov bistveno zmogljivejši. Povejmo še, da je razporeditev priključkov PIC32MM GPL enaka kot pri večini PIC24 in dsPIC DSC mikrokontrolerjih, zato slednje lahko zamenjamo s PIC32MM, ne da bi morali bistveno spreminjati tiskano vezje. Kakorkoli, PIC24 in dsPIC33 družini mikrokontrolerjev v zadnjem času nista doživeli bistvenih posodobitev, zato smo ju le omenili.

## Zmogljivi 32-bitniki za vsakogar

Zmogljivejše digitalne (IoT) naprave za vsakdanjo rabo z boljšimi prikazovalniki z zasloni na dotik potrebujejo tudi zmogljivejše mikrokontrolerje, ki ne le olajšajo delo programerju, ampak omogočijo hitrejši dostop in shranjevanje velikih količin podatkov. Nanje lahko namestimo tudi za mikrokontrolerje prilagojene različice Linuxa, kot je FreeRTOS.

PIC32 je zaradi svoje zmogljivosti in skalabilnosti vsekakor zavidanja vredna mikrokontrolerska družina. PIC32 mikrokontrolerji z MIPS32 arhitekturo danes temeljijo na treh različnih procesorskih jedrih: starem in preverjenem M4K, M-Class, ki poganja poddružini PIC32MZ EC in PIC32MZ EF, in najnovejšem microAptiv, ki poganja poddružini PIC32MZ DA in PIC32MM GPx. Medtem, ko je slednja namenjena raznovrstnim krmilnim aplikacijam, se DA ponaša z največ vgrajenega statičnega RAM-a in krmilnikom DDR2 RAM-a, oziroma z do 32 MB vgrajenega ali z do 128 MB zunanjega, ter vgrajenim krmilnikom LCD grafičnih prikazovalnikov, kar omogoča pocenitev in poenostavitev proizvodnje, hkrati pa tudi hitrejšo osveževanje grafičnega prikaza.



Slika 4: PIC32MZ2048ECH100 mikrokontroler na vtičnem modulu, ki ga lahko vstavimo v za to prilagojene razvojne plošče.



Prav posebna pa je mikrokontrolerska poddružina PIC32C, ki so jo pri Microchipu dozdevno nekaj zasnovali predvsem kot odgovor na Atmelove SAM-e z ARM procesorskimi jedri. PIC32C temelji na temelji na CM0+ (ARM Cortex-M0+) jedru, ki ga obkroža nabor zmogljivih in dodelanih Microchipovih funkcionalnih enot, ki ga srečamo tudi v drugih PIC32 mikrokontrolerjih.

Po Microchipovem nakupu konkurenčnega Atmela leta 2016 se zdi, da je razvoj PIC32C arhitektur na osnovi ARM procesorskih jeder zastal, saj je široko polje ARM-ovih mikrokontrolerskih arhitektur zdaj povsem zapolnjeno s SAM-i. Vendar to ne preseneča, saj tudi večina enostavnejših SAM mikrokontrolerjev temelji na CM0+ procesorskih jedrih, zmogljivejši pa na CM4, CM4F in CM7. Slednji imajo sicer podobno količino vgrajenega pomnilnika (do 2 MB Flash RAM-a in do 384 kB RAM-a) kot PIC32MZ-ji in PIC32MK-ji (do 2 MB Flash RAM-a in do 640 MB RAM-a), a imajo nekoliko drugačen nabor zmogljivih funkcionalnih enot, katerega zasnova je nastala še v konkurenčnem Atmelu. A to ne pomeni, da ni prenosa pomembnih tehnologij iz PIC v SAM in obratno.

## Vse številčnejše periferne enote

Za tiste, ki se sprašujejo, ali so po številu strojnih operacij v sekundi hitrejši PIC ali SAM mikrokontrolerji, povejmo, da pri najzmogljivejših SAM jedra tiktakajo pri 600 MHz in več. Zato skoraj ni dvoma, da so najzmogljivejši SAM-i hitrejši od najzmogljivejših PIC-ov, a veliko vlogo pri prenosih in obdelavi podat-

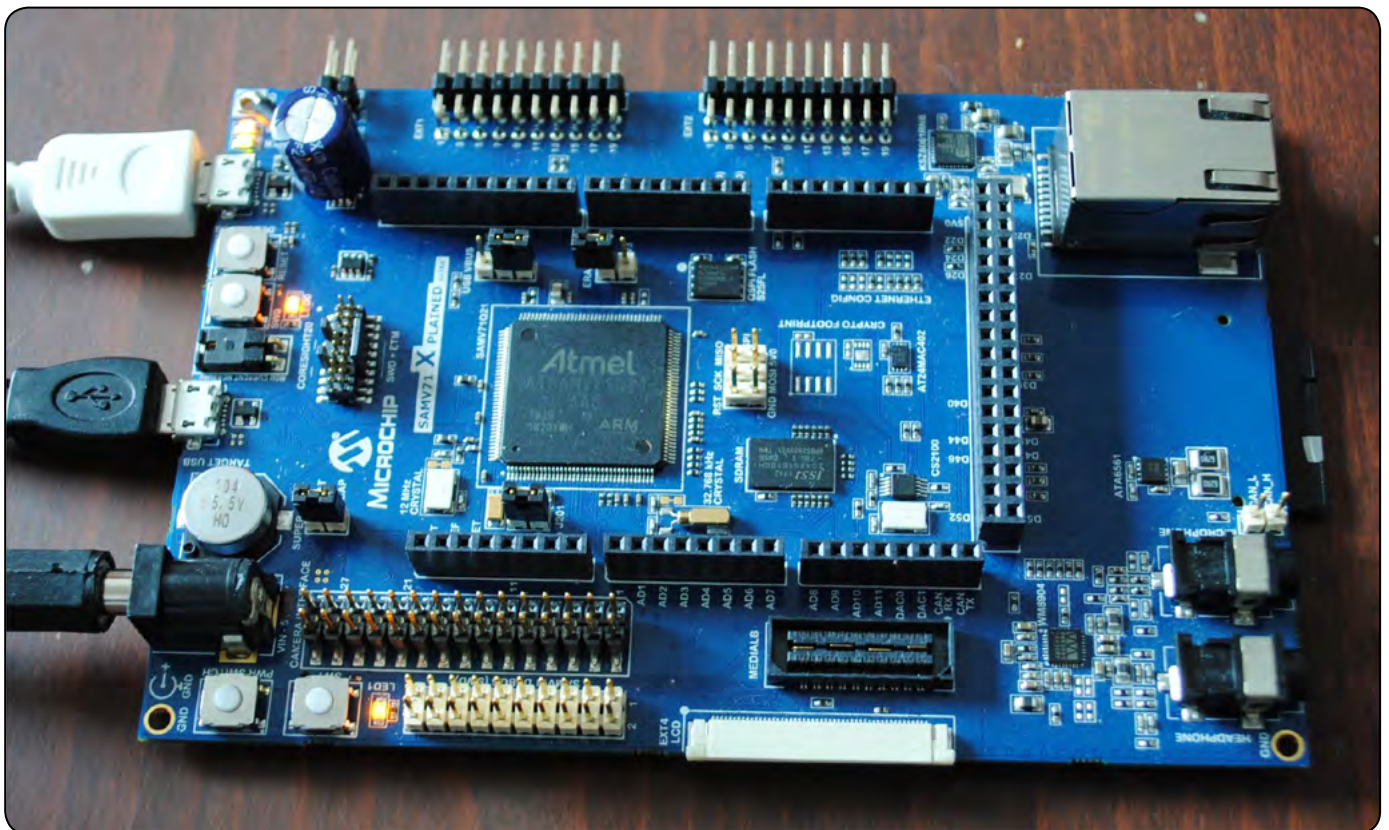
kov imajo tudi v mikrokontroler ugnezdene funkcijske enote, kot so krmilniki: DMA, GMAC, Wi-Fi, U(S)ART, I2C, SPI, QSPI, USB, CAN, večkanalni A/D pretvorniki, primerjalniki analognih signalov, časovniki, matematični soprocesorji, ugnezdjeni krmilniki LCD prikazovalnikov itn. Pogosto potrebujemo več istovrstnih funkcionalnih enot, denimo UART-ov za implementacijo RS-232 vmesnikov. Zato pogosto hitrejša procesorska enota k hitrosti delovanja ne pripomore toliko kot ugnezdene funkcijske enote s strojni podporo različnim komunikacijskim protokolom.

Denimo, PIC32MK GP/MC mikrokontrolerji so edini z dvema funkcijskima USB enotama, kar pomeni, da za priklop več USB naprav ne potrebujemo dodatnih krmilnikov, obenem pa lahko mikrokontroler deluje kot gostitelj USB naprav in USB naprava hkrati. Vendar je USB 2.0 komunikacija prehitra in prekompleksna, da bi jo lahko implementirali zgolj v ugnezdene programske opreme SAM mikrokontrolerja, tako da bi uporabili zgolj splošno-namenske priključke, kot to lahko storimo pri počasnejših in enostavnejših SPI in I2C komunikacijah.

Lahko pa dodatne USB enote implementiramo v sistemih v enem čipu (SoC) z FPGA tehnologijo PolarFire, o katerih lahko preberete na koncu članka.

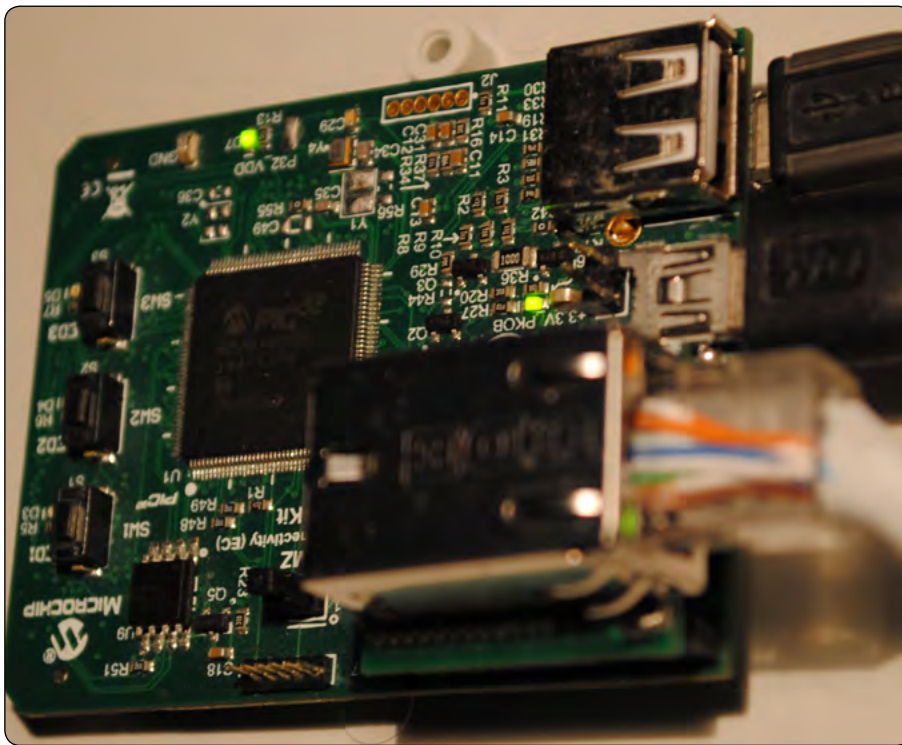
## PIC32MM za krmilne aplikacije

Mikrokontrolerska družina PIC32MM temelji na novem procesorskem jedru microAptiv s prilagojenim naborom funkcionalnih



*Slika 5: Microchip ATSAM V71-Xplained Ultra, sodobna razvojna na plošča, s katero lahko izkoristimo potencial zmogljivega SAM V71Q21B mikrokontrolerja z ARM Cortex-M7 jedrom.*





V PIC32MM razveseljuje tudi ugnezdni 12-bitni A/D pretvornik, pri GPM pa tudi 5-bitni D/A pretvornik, medtem ko je števec, analognih primerjalnikov, U(S) ART, SPI, I2S in drugih funkcijskih enot ter možnost za strojno generiranje PWM signalov precej več. USB funkcijska enota je na voljo le pri podružini GPM, a jo pri krmilnih aplikacijah pogosto niti ne potrebujemo, saj komunikacija z glavnim računalnikom navadno poteka prek SPI ali I2C vodila. Je pa PIC32MM nekoliko manj radodaren pri (podatkovnem) RAM-u, ki ga je največ 32 kB (pri PIC32MX največ 64 kB), pri čemer dodajmo, da ima jo mikrokontrolerji PIC32MM GPL največ le 8 kB RAM-a. Zato ne moremo trditi, da PIC32MM v vsem prekaša PIC32MX, ampak le, da nudi obilico novih možnosti.

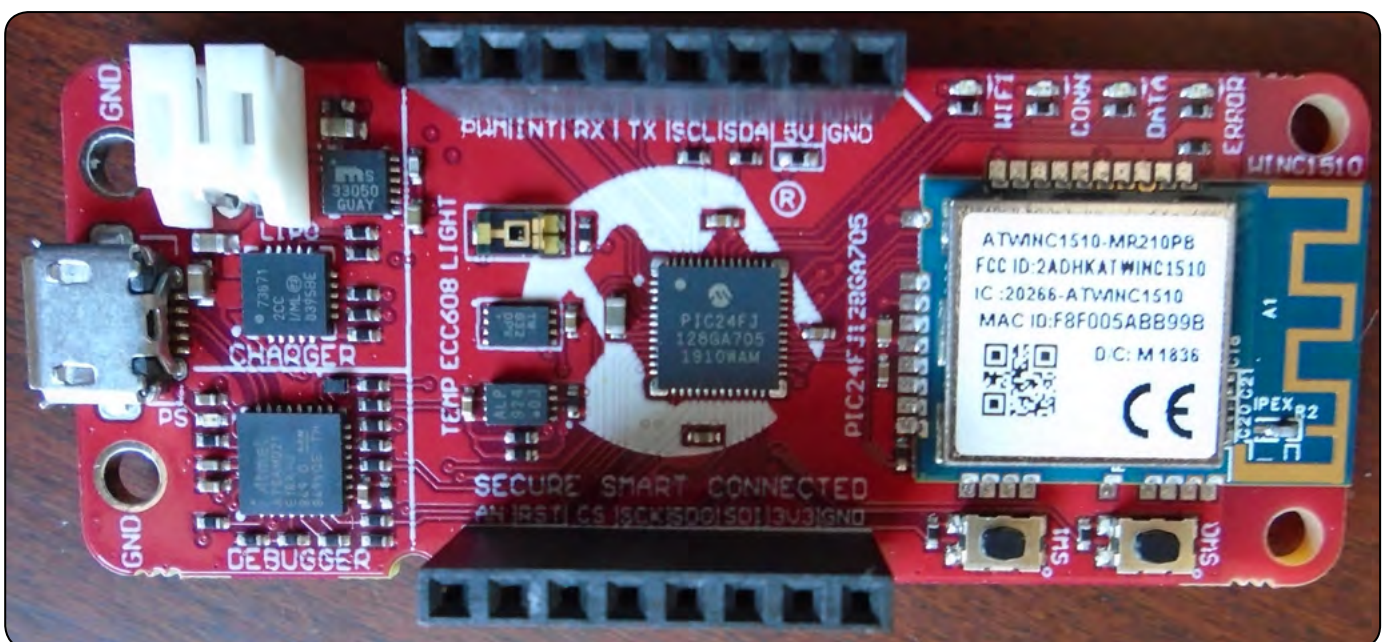
Kot zanimivost za domače samograditelje povejmo še, da PIC32MM0064GPL028 mikrokontroler izdelujejo tudi v klasičnem SPDIP-28 ohišju z 28 priključki, vendar ne podpira USB, s katerim nas v enakem ohišju razvijata starejša in energetskej potratnejša PIC32MX250F128B in PIC32MX270F256B.

**Slika 6:** PIC32MZ EC StarterKit lahko komunicira tudi prek 10/100 Mb/s Ethernet

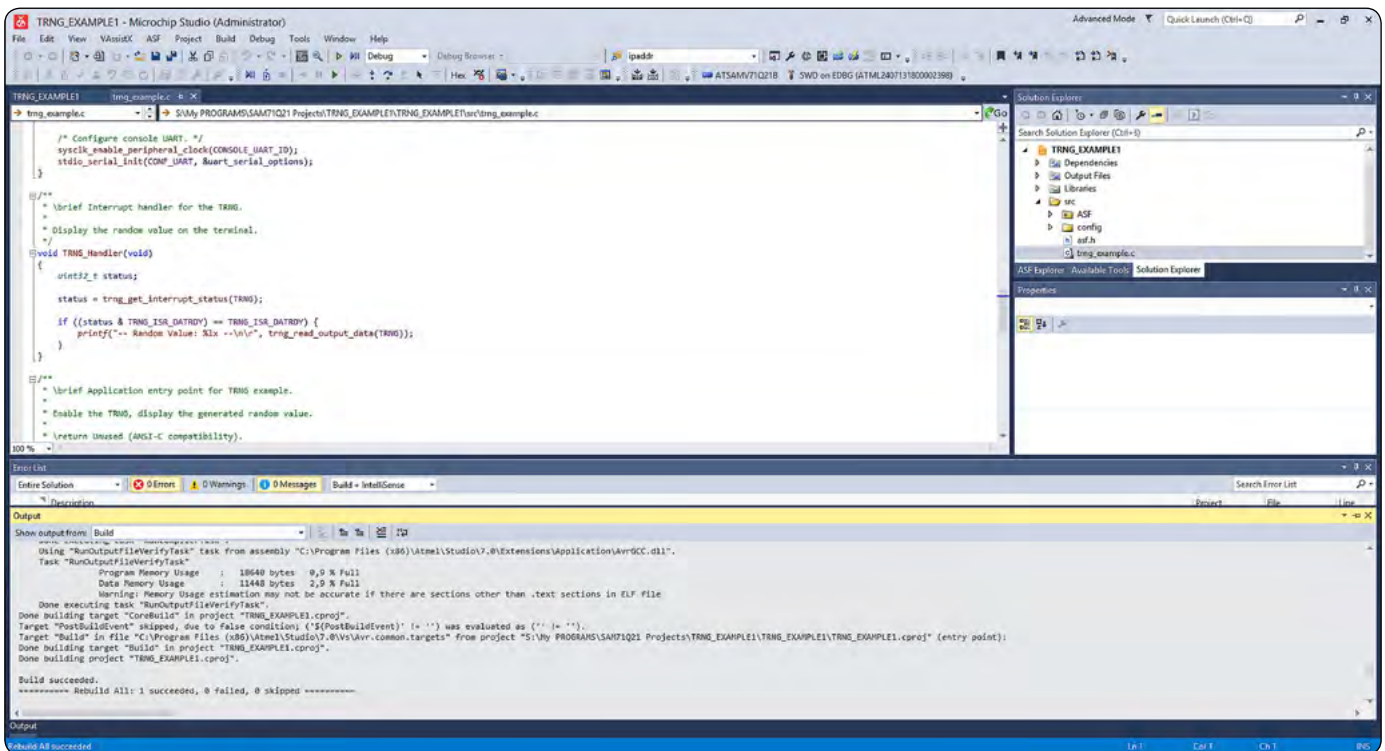
enot, ki ga lahko s pridom uporabimo pri krmilnih aplikacijah, denimo tistih za pogon brezkrtačnih elektromotorjev. PIC32MM primerjavi s PIC32MX porabi manj energije in omogoča daljši čas baterijskega napajanja, obenem pa ima boljše električne lastnosti, predvsem boljše zaščito pred poškodbami zaradi nepravilne napetosti. Tako ob električnem napajanju z več kot 2 V vsi vhodno-izhodni priključki zdržijo med -0,3 V in +6 V napetosti, brez napajalne napetosti pa med -0,3 V in +4 V. Nekoliko razširjen je tudi obseg napajalnih napetosti, ki omogoča normalno delovanje, saj je slednje mogoče že pri napetosti 2 V, medtem ko je najvišja napajalna napetost 3,6 V.

## Priključek za digitalno kamero in dodaten pomnilnik

Zajemanje in sprotno procesiranje digitaliziranega videa visoke ločljivosti postaja z uveljavljanjem umetno-inteligenčnih (AI) informacijskih rešitev vse pomembnejše. Ker mikrokontrolerji po definiciji nimajo možnosti dodajanja perifernih enot na hitro



**Slika 7:** PIC IoT modul na osnovi PIC24 mikrokontrolerja in WIN1510 Wi-Fi modula

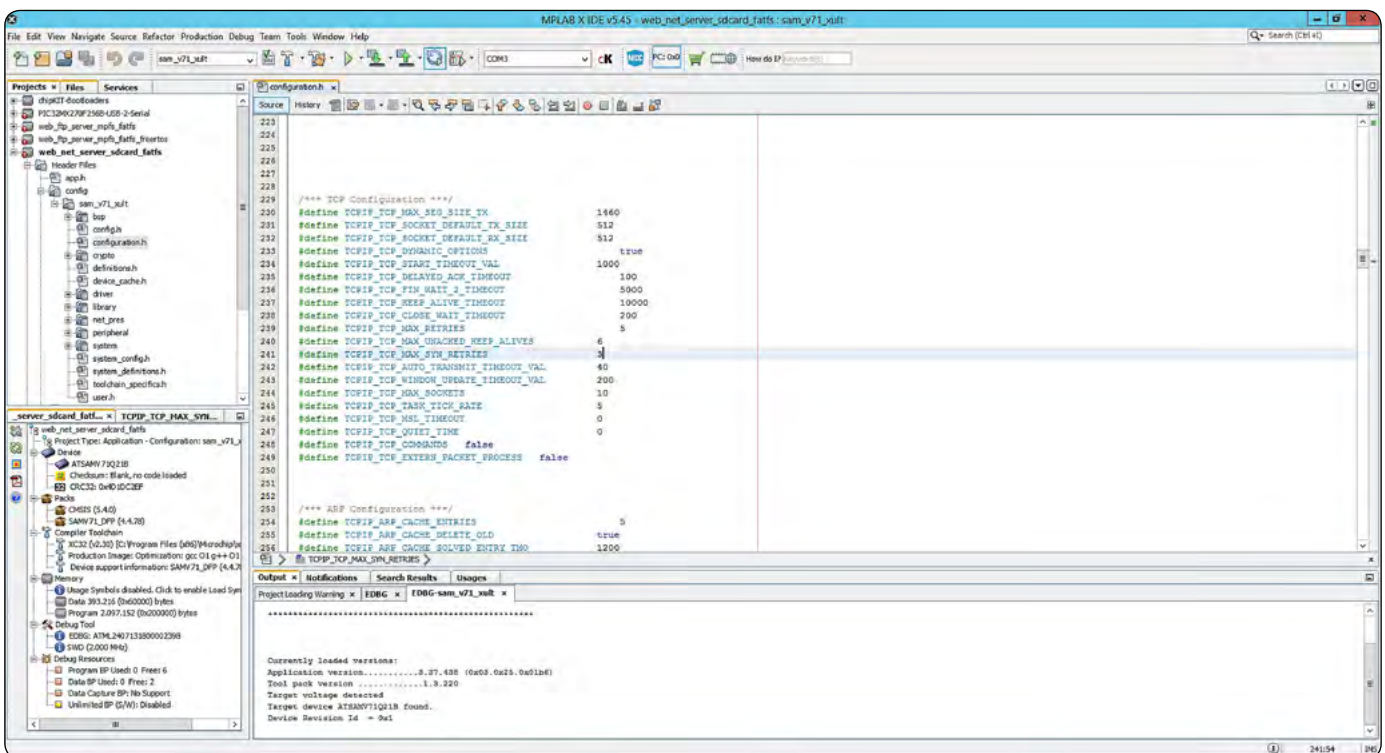


Slika 8: Microchip Studio za AVR in SAM mikrokontrolerje

notranje procesorsko vodilo, sta neposredni zajem in obdelava podatkov z digitalne kamere skoraj edini možnosti. Digitalne kamere navadno povezujemo z mikrokontrolerji prek namenskih vzporednih vodil z velik pretočnostjo podatkov, katerih slabost je velika poraba priključkov na mikrokontrolerskem čipu, obenem pa tudi močna obremenitev njegovih procesnih zmogljivosti pri shranjevanju in obdelavi podatkov. Slednji se

lahko izognemo z vgradnjo funkcijske enote za zajem (in predobdelavo) podatkov iz digitalne CMOS kamere, oz. druge podobne naprave.

SAM mikrokontrolerji SAM4E/S/L, SAM D5x, SAM S7x in SAM V7x imajo vgrajen paralelni capture controller (PCC), ki omogoča poenostavitev in pohitritev zajemanja podatkov z digital-



Slika 9: Enakovreden razvoj ugnjezdene programske opreme v MPLAB X 5.45 in Harmony 3.0 za AVR, PIC in SAM mikrokontrolerje



nih kamer, medtem lahko pri PIC32MZ EC in EF za ta namen izkoristimo enega od paralelnih vmesnikov EBI (external bus interface) ali PMP (parallel master port).

Vmesnika lahko uporabimo tudi za priklop dodatnega pomnilnika velikosti do 16 MB, kar ni ravno impresivno, še posebej če vemo, da ni krmilnika poceni DDR2 RAM, kakršnega lahko povežemo s PIC32MZ DA mikrokontrolerjem.

## Ethernet

V zadnjem času vse večji pomen dobivajo tudi funkcijske enote za podporo delovanju ethernetnih in Wi-Fi povezav, ki navadno so bistveno hitrejše od vseh ostalih vmesnikov, tudi USB. Slaba lastnost Ethernetnih vmesnikov je, da je v mikrokontrolerju implementirana zgolj upravljalna funkcijska enota, zato moramo dodati še vmesniki s krmilnim čipom (npr. LAN8740) in ostalimi potrebnimi komponentami, med katerimi je seveda tudi ethernetna vtičnica.

Ethernet prek vodil MII in RMII podpirajo PIC in SAM mikrokontrolerju z vgrajenimi krmilniki za hitrosti 10 Mb/s in 100 Mb/s. Višje hitrosti (1 Gb/s) zmorejo le PolarFire SoCi.

## IoT in Wi-Fi

Čeprav IoT naprave lahko delujejo tudi prek Etherneta in drugih ožičenih omrežij, so brezžične povezave še vedno ključ od večine uporabnih in kompaktnih IoT rešitev, ki jih lahko povezujemo tudi v velike računalniške storitvene oblake, kot so Amazonov AWS, Googlov Google Services in Microsoftov Azure.

Microchip že dolgo nudi k IoT usmerjene Wi-Fi rešitve, vendar so vse še donedavna vključevala ločena mikrokontroler in prek različnih vodil povezan komunikacijski modul z lastnim mikrokontrolerskim krmilnikom. Pred dobrim letom smo dobili tudi prve kompaktne module s PIC32 in SAM mikrokontrolerji, ki podobno kot Espressif Systemsovi ESP32 moduli, v enem čipu združujejo mikrokontroler in Wi-Fi komunikacijski vmesnik, kar ob dobri Wi-Fi povezavi omogoča nekajkrat hitrejši pretok podatkov.

Starejši moduli ATWILC1000 in ATWILC3000 se z mikrokontrolerjem lahko povežejo prek vodil SPI, SDIO(+) in UART, medtem ko novejši, ATWINC3400 in ATWINC15x0, uporabljajo zgolj hitrejšo SPI vodilo. Še hitrejši so WFI32E01PC-I in ATSAMW25H18 moduli, ki temeljijo na PIC32MZ1025W104 in SAM21D mikrokontrolerjih z vgrajenimi Wi-Fi vmesniki, ki so povezani na hitro notranje vodilo mikrokontrolerja.

Vsi moduli podpirajo Wi-Fi komunikacije po standardih IEEE 802.11 b/g/n, Bluetooth 5 povezave pa omogočajo le ATWINC3400 in ATWILC3000 moduli. Moduli podpirajo protokola WPA in WPA2, medtem ko WPA3 podpira le WFI32E01PC-I. Vsi moduli podpirajo enostavnejši način PSK način izmenjave kriptirnih ključev, medtem ko varnejši Enterprise način (EPA) ne omogoča zgolj WFI32E01PC-I modul.

WFI32E01PC-I, ATSAMW25H18, ATWINC15x0 in ATWINC3400

moduli imajo TCP/IP protokolni sklad vgrajen, vendar ATWINC15x0 in ATWINC3400 moduli omogočajo tudi implementacijo sklada v gostiteljskem mikrokontrolerju.

Slednje je edina možnost za ostale module. Implementacija TCP/IP sklada v modulu pohitri prenos podatkov in zmanjša obremenitev gostiteljskega mikrokontrolerja.

Je pa pri implementaciji TCP/IP protokola v modulu, razen v WFI32E01PC-I, omejeno največje število TCP/UDP vtičnikov (socketov) na 4 UDP in 6 TCP (7 TCP pri ARWINC3400). Povejmo še, da za varnostno kodiranje podatkov vsi moduli uporabljajo TLS protokol.

## Matematični soprocesor in varnost

Najzmogljivejši PIC in SAM mikrokontrolerji imajo vgrajen matematični soprocesor, s katerim lahko pohitimo zahtevne izračune, denimo Furierovo ali Laplaceovo transformacijo. Uporaba soprocesorja v C/C++ programih je samodejna, oziroma je odvisna od pravilne izbire mikrokontrolerja pred prevajanjem programske kode v neposredno izvedljivo strojno kodo, ki s programatorjem naložimo v mikrokontroler.

Med računske enote uvrščamo tudi posebne funkcijske enote, ki izračunavajo CRC in ECC kode, kriptografske stroje za podporo AES, SHA in RSA/DSA algoritmom ter generatorje pravih naključnih števil. Slednji navadno delujejo na osnovi vzorčenja izmerjenih vrednosti belega šuma kot posledice nekega fizikalnega pojava, ki poteka v mikrokontrolerju. PIC in SAM mikrokontrolerji uporabljajo tudi različne tehnologije, ki preprečujejo spreminjanje zagonskega nalagalnika programske kode.

## Programerji lahko izbiramo med Microchip MPLAB X in Microchip Studio razvojnim okoljem

Pri Microchipu so dali velik poudarek integraciji podpore razvoja programke kode za SAM mikrokontrolerje iz nekdanjega Atmelovega razvojnega okolja Atmel Studio (danes Microchip Studio) v MPLAB X, v katerem lahko danes razvijamo programsko kodo za celoten nabor Microchipovih mikrokontrolerjev.

Še vedno razvijajo tudi Microchip Studio, ki pa ga lahko uporabljamo samo za programiranje AVR in SAM mikrokontrolerjev. Microchip Studio temelji na odprtokodni Microsoft Visual Studio školjki za gradnjo razvojnih okolij, ki jo uporabljajo vsi Microsoftovi programski jeziki jeziki, kot so: Visual Basic, Visual C/C++ in Visual C#.

Nasprotno, MPLAB X temelji na IBM-ovem NetBans razvojnem okolju, ki so ga bolj vajeni programerji PIC mikrokontrolerjev. Kljub temu prevajanje kode za SAM mikrokontrolerje v MPLAB X poteka brezhibno, le da se EDBG programator/razhroščevalnik predstavi kot COM vrata in deluje prek protokola USB CDC



kot navidezna RS232 povezava; prej smo lahko uporabljali le programatorje z ICSP in JTAG za PIC mikrokontrolerje.

Vendar MPLAB X potrebuje tudi programske knjižnice in podporne NetBeans vtične module, ki z dodatnimi funkcionalnostmi omogočajo tudi grafično načrtovanje konfiguracije mikrokontrolerjev in poenostavljajo integracijo programskih knjižnic ter razvoj uporabniških vmesnikov, kar je združeno v MPLAB Harmony embedded software development frameworku z MPLAB Harmony Configuratorji (MHC) in Microchip MPLAB Harmony Graphics Suitom (MHGS).

MPLAB Harmony Configuratorji MHC so grafična načrtovalska orodja, ki poenostavljajo nastavitve mikrokontrolerjev, izbiro in konfiguracijo potrebnih programskih knjižnic ter razvoj aplikacij. Na voljo je v dveh različicah, kot vtični modul za MPLAB X ali kot samostojno orodje za druga razvojna okolja. Povejmo še to, da je na voljo več različic konfiguratorjev. Pri razvoju vredno uporabljamo različico ali različice, ki so združljive z našim mikrokontrolerjem in različico MPLAB X razvojnega okolja.

Microchip MPLAB Harmony Graphics Suite (MHGS), ki je del MPLAB Harmony embedded software development framework, uporabljamo pri razvijanju uporabniških grafičnih vmesnikov (GUI).

Namenjen je predvsem za mikrokontrolerje z vgrajenimi krmilniki prikazovalnikov) za 32-bitne mikrokontrolerje (MCU) in mikroprocesorje (MPU). Vsebuje programsko opremo in razvojna orodja za hitro implementacijo GUI z veliko slikami in animacijami.

## Med MPU in MCU

Microchip poleg mikrokontrolerjev razvija tudi mikroprocesorske enote (MPU), ki nimajo vgrajenega glavnega pomnilnika, temveč zajeten del priključkov namenjajo zunanjim procesorskim vodilom, prek katerih lahko povežemo druge naprave, pa tudi DDRx RAM, ki ga osvežuje ugnezdjeni krmilnik pomnilnika. Vseeno pa imajo tudi MPU-ji ugnezdene funkcijske enote, ki jih srečamo tudi v mikrokontrolerjih (MCU).

Najzmogljivejši MPU je trenutno SAM9X60 s 600 MHz procesorskim jedrom ARM926 z ločenima 32 kB predpomnilnikoma za ukaze in podate, 64 kB vgrajenega SRAM-a in z do 512 MB zunanjega DD2-SDRAM-a, kar je primerljivo z manj zmogljivimi Raspberry Piji, a k temu dodaja še bogat nabor funkcionalnih enot, kot ga imajo MCU-ji. Kaj so prednosti in slabosti MPU v primerjavi z MCU? MCU je SoC (sistem v enem čipu), medtem ki MPU za delovanje potrebuje vsaj še zunanja RAM in EEPROM, a slednja sta lahko veliko večja kot pri MCU-jih in zato omogočata poganjanje klasičnih operacijskih sistemov z grafičnimi uporabniškimi vmesniki. Zbirko Microchipovih razvojnih plošč z MPU jih, ki niso prav nič večje od tistih z MCU-ji, najdete na spletni strani [www.at91.com](http://www.at91.com).

## PolarFire za najzahtevnejše

PIC in SAM 8-, 16- in 32-bitne mikrokontrolerje s strojnimi arhitekturami Microchip (PIC16, PIC18 in AVR), ARM (SAM

in PIC32MC), MIPS32 (vsi PIC32 razen PIC32MC) danes srečamo v večini aplikacij, medtem ko izjemno hitri Microchip PolarFire čipi v enem ohišju združujejo 64-bitno RISC-V arhitekturo Mi-V RV64GC s petimi procesorskimi jedri in programirljivo FPGA logično vezje.

S programskim prilagajanjem FPGA dizajnov za potrebe različnih aplikacij lahko dosežemo izredno visoke zmogljivosti. Zato ne preseneča, da so nekdanje Microsemijeve (zdaj Microchipove) rešitve za vesoljske aplikacije uporabili tudi pri gradnji Nasinih roverjev Spirit in Opportunity, ki sta raziskovala površje Marsa.

PolarFire čipi majo od 25.000 do 460.000 logičnih elementov, obenem pa tudi 12,7 GHz transiverje, ki omogočajo hitro izmenjavo podatkov s periferijo. Ob bistveno manjši porabi energije dosegajo podobne zmogljivosti kot mikrokontrolerji z ARM-ovimi procesorskimi jedri Cortex-A9 in Cortex-A53, oziroma tistim v Raspberry Pi 3 in Raspberry Pi 4. A prednost jim daje predvsem ugnezdene vezje FPGA, ki po konfiguraciji računske in logične operacije izvaja v strojni opremi, kar je bistveno hitreje, kot če bi jih izvajali programsko.

Denimo, če z FPGA izvajamo vektorske operacije, lahko posamezno operacijo hipno izvedemo nad veliko podatki, ne da bi za to morali čakati na izvedbo dolge programske zanke, kar pomeni zmanjšanje časovne kompleksnosti za eno stopnjo.

## Zakaj ne raje nekaj podobnega z Raspberry Pi?

Medtem, ko se najzmogljivejši mikrokontrolerji po zmogljivostih počasi spogledujejo z mikro PC-ji in zanje že pripravljajo popolne različice Linuxa in ne samo oskubljenih Linuxovih jelder, kakršno je FreeRTOS, si lahko resno zastavimo vprašanje, ali ne bo že v nekaj letih v mikrokontrolerski čip zapakiran mikro PC prevzel opravljati enake in podobne naloge kot jih ima danes Raspberry Pi in v katerih že vrsto let tiktaka ARM-ov procesor.

Čeprav se zdi, da želita, po drugi strani različici Raspberry Pi Zero in Pico, vstopiti v svet mikrokontrolerjev, za kaj takega nimata dovolj specializiranih funkcijskih enot, kot je tista za generiranje PWM signalov, ki ji lahko uporabimo za krmiljenje elektromotorjev robota.

Prihajajoči rodovi Microchipovih mikrokontrolerjev bodo zagotovo podprli kakovostnejše uporabniške vmesnike, obenem pa bodo imeli tudi standardno periferijo, ki jo pri Raspberry Pi pogrešamo.

Pričakujemo lahko tudi podporo večjim zunanjim pomnilnikom velikost nekaj GB, ki bodo omogočili hitrejše procesiranje signalov pa tudi grafiko visoke ločljivosti.

### Spletna stran:

- <https://sites.google.com/site/pcusbprojects>

<https://svet-el.si>



# Enostavna elektronska vezja (1)

## - Lahko tudi brez tranzistorja!

Avtor: mag. Vladimir Mitrović  
E-pošta: vmitrovic12@gmail.com

*Naprave, katere vsakodnevno uporabljamo, kot so mobilni telefoni, pametne ure, tablični in osebni računalniki, televizija ali mikrovalovne pečice, imajo v sebi elektronska vezja s stotimi, tisočimi in tudi milijoni tranzistorjev. Lahko sploh še naredimo funkcionalno električno vezje z enim ali dvema tranzistorjema?*

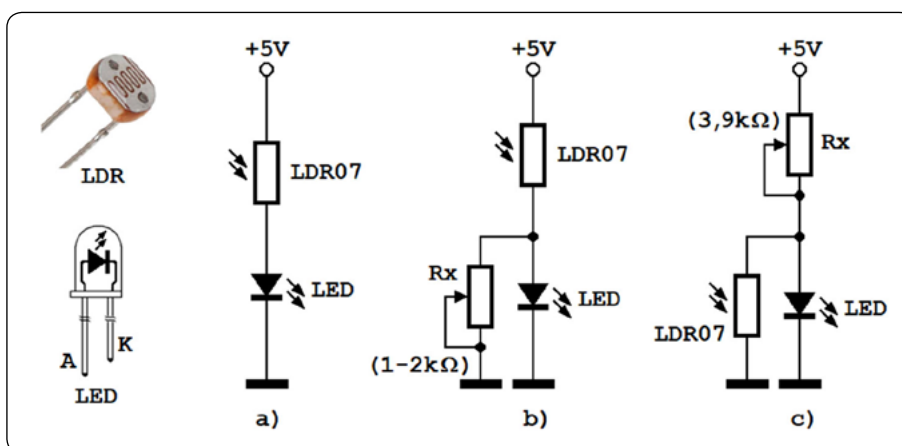
Seveda lahko! Slika 1 kaže, da to lahko dosežemo tudi brez enega samega tranzistorja!

Izkoristili smo samo dve elektronski komponenti: fotoobčutljiv upor (LDR) in svetlečo diodo (LED). Upornost fotoobčutljivega upora je odvisna od tipa upora in intenzivnosti svetlobe s katero je osvetljen. Tako na LDR uporu oznake LDR07 merimo naslednje vrednosti upornosti: v temi  $> 1 \text{ M}\Omega$ , pri normalni sobni osvetlitvi  $1\text{-}2 \text{ k}\Omega$ . Če pa ga osvetlimo s svetilko mobilnega telefona iz neposredne bližine, bo upornost manjša od  $400 \Omega$ . Dobljen razpon upornosti je večji od  $2000:1$  zato se bo, če napravimo vezje po sliki 1a, v istem razponu spreminjal tudi tok skozi LED-ico:

- v normalno osvetljenem prostoru, bo čez LED-ico tekla tok velikosti nekaj mA (LED-ica jasno sveti),
- če osvetlimo LDR od blizu z močno svetlobo, bo tok skozi LED-ico narastel nad  $10 \text{ mA}$  (LED-ica zelo močno sveti),
- če s prstom prekrijemo površino LDR-a, bo čez LED-ico tekla tok okoli  $0,2 \text{ mA}$  (LED-ica slabo sveti).

Tako bomo glede na intenziteto svetlosti LED-ice lahko ocenili intenziteto osvetlitve, ki pada na aktivno površino LDR-ja. No, s prstom ne moremo v popolnosti ugasniti LED-ice, ker nekaj svetlobe prihaja tudi "s strani"! Da bi to preprečili je potrebno zaviti LDR v temno neprozorno tkanino ali pa ga postaviti v popolnoma zaprto škatlico: šele takrat bo LDR dosegel maksimalno upornost, tok skozi LED-ico se bo zmanjšal pod nekaj  $10 \mu\text{A}$  in njena svetlost bo komaj opazna.

Problem lahko rešimo tudi na popolnoma drugačen način! Če želimo doseči, da s približevanjem prsta LDR uporu popolnoma ugasnemo LED-ico, bomo vezje modificirali glede na shemo na sliki 1b. Tukaj smo paralelno LED-ici dodali upor Rx, skozi katerega bo "šel mimo" del toka, ki teče skozi LDR. Optimalna vrednost upora Rx je odvisna od nivoja osvetljenosti prostora in občutljivosti samega LDR-a (namesto LDR07, lahko uporabite tudi fotoobčutljive upore drugih oznak!). V mojem primeru je bila optimalna vrednost med  $1$  in  $2 \text{ k}\Omega$ , najlažje jo lahko določimo, če kot Rx uporabimo spremenljivi upor upornosti  $4,7$  ali  $10 \text{ k}\Omega$ . Rx nastavljamo toliko časa, dokler se pri z prstom pokritem LDR-u, LED-ica ne ugasne. Tako nastavljeno vezje je posebej občutljivo, tudi spremembe intenzitete svetlosti LED-ice



**Slika 1:** Funkcionalno elektronsko vezje lahko napravimo tudi brez enega samega tranzistorja.

ce so najboljše vidne ravno ko prst premikamo na oddaljenosti nekaj centimetrov od površine LDR-ja.

Vezje, katerega shema je prikazana na sliki 1c, deluje na nasproten način od prej opisanega: dokler je površina LDR-ja osvetljena, je njegova upornost majhna in deluje kot "kratak stik": ves tok, ki teče skozi Rx, bo "šel mimo" in bo tekla čez LDR, zato LED-ica ne bo svetila. Če postopoma zapiramo površino LDR-ja, se bo njegova upornost povečevala in v nekem trenutku bo LED-ica zasvetila. Intenziteta svetlosti LED-ice bo toliko večja, kolikor bolj zakrijemo površino LDR-ja. Občutljivost vezja tudi tukaj nastavljam s spremembo vrednosti spremenljivega upora Rx. V mojem primeru je optimalna vrednost znašala okoli  $3,9 \text{ k}\Omega$ : takrat je s približevanjem in oddaljevanjem prsta od površine LDR-ja možno lepo krmiliti intenziteto svetlosti LED-ice, od jasno osvetljene do popolnoma ugasnjene.

Pazite: v vezju na sliki 1c ne smemo zmanjšati vrednosti upora Rx pod  $100 \Omega$ , ker bi takrat skozi LED-ico stekel prevelik tok, ki bi jo lahko trajno uničil!

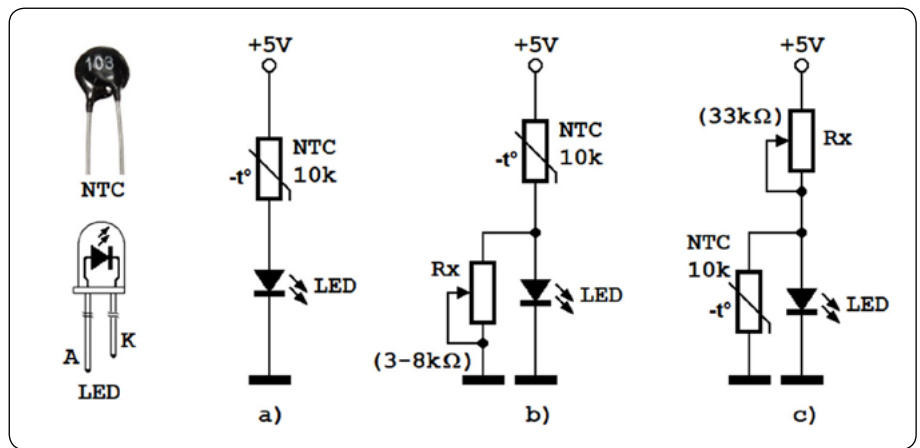
Pokušajmo sedaj namesto fotoobčutljivega upora uporabiti termistor (slika 2). Termistorji so elementi, pri katerih je upornost odvisna od temperature na kateri se nahajajo. Razlikujemo pa jih po tem, kako sprememba temperature vpliva na spremembo upornosti: pri NTC termistorjih se z rastjo temperature upornost zmanjšuje, medtem ko se PTC termistorjema z rastjo temperature upornost povečuje. Torej, če uporabimo namesto fotoobčutljivega upora NTC termistor, pričakujemo da se bo z rastjo temperature vezja s slike 2 obnašala identično vezjem

s slike 1, ko smo jih močnejše osvetlili. Preverimo, ali je res tako!

Oznaka na termistorju kaže, kolikšna je njegova upornost pri 25°C in je tako, npr., upornost NTC termistorja s slike 2 na sobni temperaturi znaša 10 kΩ. Takšni majhni termistorji se uporabljajo za merjenje temperature v širokem temperaturnem obsegu od -55°C do 125°C, pri čemer se bo upornost menjala tipično v razmerju 870:1 (po tovarniških podatkih termistorja NTCM-10K-B3380).

To je velika sprememba, ki jo je lahko opaziti s spremembo intenzitete svetlosti LED-ice. Vendar pa smo med eksperimentiranjem v hišnih pogojih, omejeni na veliko manjši temperaturni razpon: termistor lahko hladimo s kocko ledu ali segrevamo s toplim zrakom iz sušilnika za lase. Po tovarniških podatkih za isti termistor bo njegova upornost pri 0 °C znašala 27,5 kΩ, pri 50 °C pa 4,17 kΩ. V vezju na sliki 2a bo to povzročilo spremembo toka skozi LED-ico od 0,14 mA do 0,9 mA. Sprememba intenzitete svetilnosti bo bolj opazna, če uporabimo občutljivo (low current) LED-ico, vendar LED-ica ne bo polno svetila niti je ne bomo mogli popolnoma ugasniti.

V vezju na sliki 2b s trimerjem Rx upornosti 10 kΩ lahko nastavimo pri kateri temperaturi se bo LED-ica popolnoma ugasnila. Vrednosti s slike 3-8 kΩ, približno ustrezajo temperaturam



Slika 2: Vezje z NTC uporom in LED-ico.

med 25°C in 0°C: z rastjo temperature nad nastavljeno vrednostjo bo LED-ica začela slabo in vse bolj svetiti.

Vezje s slike 2c ima obrnjeno delovanje: LED-ica bo svetila slabo in vse bolj svetila, ko se temperatura niža pod nastavljeno vrednost. Mejno temperaturo nastavljamo s trimerjem Rx, navedena vrednost 33 kΩ približno ustreza mejni temperaturi 25°C.

Po pričakovanju se vezja s termistorjem obnašajo identično vezjem s fotoobčutljivim uporom, vendar so spremembe intenzitete svetilnosti LED-ice slabše opazne. Da bi neko spremembo lahko lažje opazili, ali da bi lahko detektirali slabše signale nekega drugega izvora, bomo potrebovali ustrezeni ojačevalnik - tranzistor.

## žuljenjeintechnika

Več informacij ali naročila na [info@tzs.si](mailto:info@tzs.si) ali po telefonu 01 479 0 211.

- ✓ 80 STRANI
- ✓ 11 ŠTEVILK (+ TEMATSKA PRILOGA)
- ✓ AKTUALNA TEMATIKA



## Spremljajte novice s področja znanosti in tehnike!

Z vami že več kot 70 let!

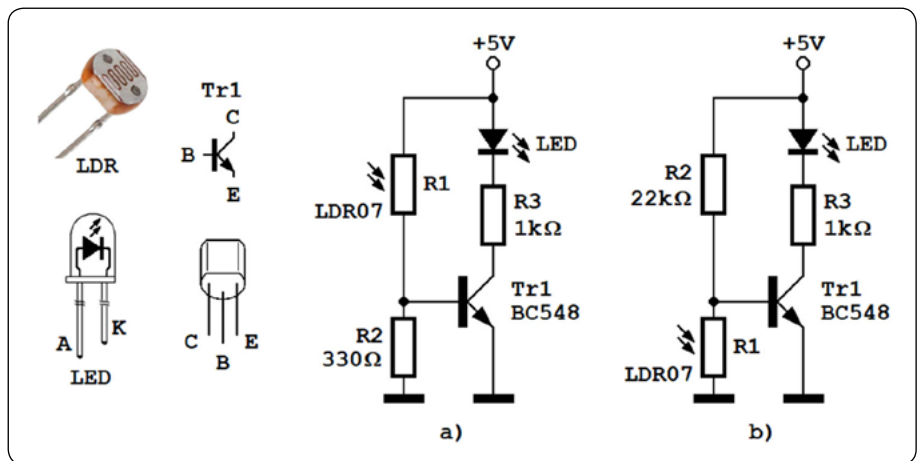
**NAROČITE SE NA REVILJO!**

- Naročniki revijo prejmete po ugodnejši ceni.
- Vsak mesec jo brezplačno pošljemo na vaš naslov.
- Knjige *Tehniške založbe Slovenije* kupujete z 20 % popustom.
- Letna naročnina 50 €, za upokoјence in študente samo 42 €.
- Naročite lahko tudi starejše številke.
- Naročnina na revijo je idealno darilo.





Na sliki 3 vidimo dve shemi s fotoobčutljivim uporom, tranzistorjem in LED-ico. Uporabili smo mali tranzistor za univerzalno uporabo NPN tipa (kot so BC548, BC107, BC238, ...). Takšni tranzistorji pričnejo prevajati, ko jim napetost med bazo in emitorjem naraste preko 0,6 V, tokovno ojačenje (razmerje kolektorskega in baznega toka) imajo 200-800. Na shemah je predvidena napetost napajanja 5 V, vendar bodo vezja enako dobro delala, če uporabimo kot izvor napetosti napajanja "ploščato" baterijo napetosti 4,5 V, ohišje baterij s tremi ali štirimi AA ali AAA vrstami baterij (4,5 oziroma 6 V) ali omrežni adapter z izhodno napetostjo 5-6 V.



Slika 3: Vezje s fotoobčutljivim uporom, tranzistorjem in LED-ico.

### Vezje prikazano na sliki 3a funkcionalno ustreza vezju s slike 1b:

- V slabo osvetljenem prostoru, ali kadar aktivno površino LDR upora pokrijemo s prstom ali ga na nek drug način pokrijemo od izvora svetlobe, mu bo upornost narasla in bo skozi njega in upor R2 tekla nek majhen tok. Padec napetosti na uporu R2 bo premajhen in tranzistor T1 ne bo prevajal toka: zato LED-ica ne bo svetila.
- Če bolj osvetlimo površino LDR-a, se mu bo upornost zmanjšala, tok skozi njega in R2 pa bo pričel rasti. V trenutku, ko padec napetosti na uporu R2 doseže okoli 0,6 V, bo tranzistor začel prevajati in LED-ica bo zasvetila. Intenziteta svetilnosti LED-ice bo toliko večja, kolikor bolj bo LDR osvetljen.
- Zaradi velikega tokovnega ojačenja tranzistorja bi kolektorski tok tranzistorja hitro lahko dosegel vrednosti, ki bi lahko uničile tranzistor in LED-ico. Zato smo dodali upor R3, ki omejuje kolektorski tok na okoli 2 mA: to je dovolj, da bi občutljiva LED-ica lahko zasvetila s polno svetilnostjo. Ko enkrat R3 prične omejevati jakost toka v kolektorskem krogu, nadaljnje povečanje intenzitete osvetljevanja ne bo povečalo intenzitete svetilnosti LED-ice.

### Vezje s slike 3b je funkcionalno enako vezju s slike 1c:

- Kadar je LDR osvetljen z močno svetlobo, bo upornost LDR-ja majhna in zato bo padec napetosti na njemu manjši od 0,6 V; tranzistor ne bo prevajal in LED-ica ne bo svetila.
- Z zmanjšanjem intenzitete svetlosti, ki pada na aktivno po-

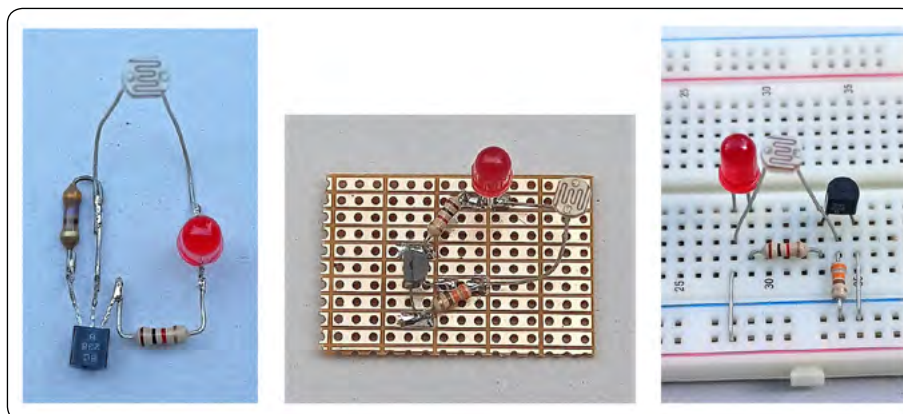
vršino LDR-ja, bo njegova upornost rasla in padec napetosti na njemu bo postajal vse večji: čim doseže 0,6 V, bo tranzistor pričel prevajati in LED-ica bo pričela svetiti.

- Z nadaljnjim zmanjševanjem intenzitete svetlosti se bo padec napetosti na LDR-ju še povečal, pa tudi bazni tok tranzistorja in zato bo tudi LED-ica svetila vse bolj. Tudi tukaj upor R3 omejuje maksimalni tok skozi tranzistor in LED-ico na okoli 2 mA.

Opazimo da imata obe vezji tri stanja: stanje, v katerem LED-ica ne sveti, stanje v katerem LED-ica sveti s polnim sijajem in relativno ozko področje, v katerem s spremembo intenzitete osvetlitve lahko menjamo intenziteto svetlosti LED-ice. S spremembo vrednosti upora R2 lahko menjamo občutljivost vezja oziroma prag, pri katerem bo LED-ica začela ali prenehala svetiti. Včasih nam bo zanimivo spremljati spremembo intenzitete svetlosti LED-ice, zato nam bo ustrezalo, da bi bilo prehodno področje čim širše; drugič nam bo ustrezalo, da bi bilo čim ožje, tako da ima LED-ica same dve stanji: sveti ali ne sveti. Kako doseči eno ali drugo, bomo analizirali v prihodnjem članku.

Slika 4 prikazuje kako lahko v praksi realiziramo vezja, ki jih bomo preučevali. Konkretno, na vseh treh fotografijah se nahaja vezje s slike 3a. Na levi fotografiji so komponente medsebojno pospajkane "v zraku"; takšen način vezave je pogost v filmih, ki krožijo po internetu in v katerih avtorji poleg poznavanja elektronike demonstrirajo tudi svoje veščine spajkanja. Predlagamo da vseeno rajši uporabite kos univerzalnega tiskanega vezja z "otočki" (pri tako enostavnih vezjih je večkrat bolj primerno spajkati komponente s strani vezic, fotografija v sredini) ali pa da uporabite univerzalno eksperimentalno ploščico in tako se popolnoma izognete spajkanju (desna fotografija).

Vezje s slike 3a ima še eno zanimivo lastnost, o kateri bomo tudi govorili v naslednjem nadaljevanju. Do branja!



Slika 4: Trije načini kako lahko realiziramo vezje s sheme 3a.

<https://svet-el.si>



## KAKO, KJE in KAJ potrebujem za naročilo?

- Naročilo je možno poslati po pošti (AX ELEKTRONIKA d.o.o., Depala vas 39, 1230 Domžale), po telefonu (**01 549 14 00**) ali e-pošti (prodaja04@svet-el.si). Naročeni material pošiljamo preko Pošte Slovenije.
- Garancija za gotove izdelke velja 12 mesecev (datum na računu), KIT kompleti nimajo garancije.
- Plačevanje je možno po povzetju (plačilo ob prevzemu), na obroke (2 obroka), po predračunu, kreditnimi karticami ali po vnaprej dogovorjenem plačilnem roku!
- Naročene izdelke pošljemo najkasneje v roku 48 urah od prejema naročila oziroma vam sporočimo predvideni rok dobave. Vračilo izdelkov je možno v osmih dneh po prevzemu. Kontaktna oseba za naročila in vprašanja je Nataša Stružnik.
- Katerikoli **brezplačni PDF letnik revije Svet elektronike** si lahko izbere vsak novi naročnik ali obstoječi naročnik, ki podaljša naročnino.
- Popust na vse stare letnike revije Svet elektronike** v PDF in v pisni obliki imajo vsi trenutni naročniki na revijo Svet elektronike.
- Pri obeh naročninah (pisni + internet) dobite **internet naročnino za 50% ceneje**.
- Konec leta vsak naročnik **prejme stenski planer**.

## Naročnine na revijo Svet elektronike

- PRAVNE OSEBE (1 leto)**. Naročnina na revijo Svet elektronike, za pravne osebe. Naročnina velja eno leto (11 števil, julij/avgust dvojna). Cena naročnine z vštetim popustom je **49,50 EUR**. Plačilo po predračunu, katerega pošljemo po pošti.
- FIZIČNE OSEBE (1 leto)**. Naročnina na revijo Svet elektronike, za fizične osebe. Naročnina velja eno leto (11 števil, julij/avgust dvojna). Cena naročnine z vštetim popustom je **44,00 EUR**. Plačilo po položnici, ki jo pošljemo po pošti.
- ŠOLAJOČE SE OSEBE (1 leto, potrdilo o šolanju)**. Naročnina na revijo Svet elektronike, za šolaajoče se osebe. Naročnina velja eno leto (11 števil, julij / avgust dvojna). Cena naročnine z vštetim popustom je **41,25 EUR**. Plačilo po položnici, ki jo pošljemo po pošti. Brez potrdila o šolanju se naročniku avtomatično pošlje naročnino z 20% popustom.
- INTERNET NAROČNIKI (1 leto, fizične ali pravne osebe)**. Naročnina na internet revijo Svet elektronike. Naročnina velja eno leto (vpogled revije v PDF datoteki na [www.svet-el.si](http://www.svet-el.si)). Cena naročnine znaša **21,99 EUR**. Nujna je prijava na spletni strani, kjer si lahko ogledate tudi svojo vse informacije glede naročnine.
- VSI NAROČNIKI (-50% popusta pri internetni naročnini 1 leto)**. Pri naročilu na pisno revijo Svet elektronike in internet naročnino vam za internetno naročnino priznamo **50% popust**. Izberite si zeleno pisno naročnino in jo obkrožite skupaj z internet naročnino. Vsi pogoji ostanejo enaki, lahko si jih ogledate v zgornjih naročninah. Za vse ostale informacije smo vam na voljo na tel.: 01 549 14 00 ali e-naslov: prodaja04@svet-el.si.
- AVTORJI** člankov imajo brezplačno pisno naročnino (svojo naročnino lahko tudi podarijo komur koli)

*Vse cene naročnin in izdelkov »od podjetja AX, d.o.o. in revije Svet elektronike« vsebujejo DDV.*

**Več naročnin vam prihrani denar.** Pravnim osebam, ki naročijo več izvodov revije Svet elektronike, nudimo **za 2. naročen izvod 50% popust, za 3. izvod in vse naslednje pa 70% popust do preklica**. Velja tudi za podaljšanje naročnine. Vsi izvodi revije morajo imeti istega plačnika.

### Naročilnica za revijo Svet elektronike

- podjetje / fizična oseba (ime in priimek)
- ulica / hišna številka / pošta / kraj
- davčna številka / zavezanec (da ali ne)
- telefon e-pošta
- podpis / žig

## Podarite naročnino ali darilni BON

- Obdarovanje svojih najbližjih je vsako leto težje. Imamo že toliko stvari, da ne vemo več kaj potrebujemo in kaj si v življenju res želimo, zato je obdarovanje včasih težko, ker ne vemo natančno kaj podariti. V uredništvu revije Svet elektronike smo za take primere pripravili nekaj novosti. Lahko podarite naročnino na revijo Svet elektronike ali vrednostni BON. Oboje vam olajša odločitev kaj podariti.



## Brezplačni PDF letnik za naročnika

- Svet elektronike nagradi vsakega naročnika z brezplačnim letnikom preteklih revij v PDF obliki od leta 2004 po svoji izbiri. Vsak naročnik se ob podaljšanju naročnine odloči, kateri letnik bi želel prejeti. Svojo odločitev nam lahko sporočite po elektronski pošti, telefonu ali preko virtualne trgovine.



## Brezplačno vsi letniki do 2006

Vsi letniki do 2006 so sedaj brezplačno na naši spletni strani!

[Download Now](#)

## Vsi naročniki

- 50% popusta pri internetni naročnini 1 leto. Pri naročilu na pisno revijo Svet elektronike in internet naročnino, vam za internetno naročnino priznamo **50% popust**. Izberite si zeleno pisno naročnino, ter jo obkrožite skupaj z internet naročnino.



## Brezplačni ogledni izvod

- Verjamemo, da se želite prepričati, zakaj je Svet elektronike najboljša revija za prave elektrone. Ker smo ponosni na to, kar delamo, vam bomo z veseljem poslali brezplačni ogledni izvod na vaš naslov - seveda brez zaračunanih stroškov poštnine!

# EZZ-2 KNJIGA ZBRANIH ČLANKOV

WWW.SVET-EL.SI/LITERATURA

## Elektronika za začetnike

osnove

TISKANO VEZJE



PROGRAM



VAJA

PREDSTAVLJAMO VAM KNJIGO, KI IMA NA 180-IH BARVNIH STRANEH TEMATSKO UREJENE ČLANKE IZ REVJE SVET ELEKTRONIKE. ČLANKOM SMO DODALI SAMOGRADNJE, PLOŠČICE TISKANIH VEZIJ IN VAJE.

### V KNJIGI SO 4 GLAVNE TEME:

#### NAČRTOVANJE TISKANIH VEZIJ:

PODROBNO OPISUJEMO OSNOVE NAČRTOVANJA ELEKTRONSKIH VEZIJ TER TISKANIN IN RISANJA SHEM.

#### ELEKTRONSKI ELEMENTI:

OPISANI SO RAZLIČNI ELEMENTI, NJIHOVA UPORABA IN DELOVANJE. TEORIJA JE PODKREPLJENA S PRIMERI, RAZLAGO IN VAJAMI.

#### OJAČENJE IN OBDELAVA ZVOKA:

DOBER ZAČETEK ZA TISTE, KI JIH ZANIMAJO PREDOJAČEVALNIKI, OJAČEVALNIKI ALI IZDELAVA LASTNEGA AVDIO EFEKTA.

#### NAPAJANJE:

VSE O NAPAJANJU ELEKTRONSKIH VEZIJ, AKUMULATORJIH, TRANSFORMATORJIH, LINEARNIH IN STIKALNIH REGULATORJIH S PRAKTIČNIMI PRIMERI.

CENA KNJIGE:  
29 EUR z DDV







programming has never been easier

# Smo uradni zastopnik za ELNEC v Sloveniji!

## BeeProg3



70-0074



## BeeProg2

## BeeProg2C



## BeeProg204P

70-0036



AX, d.o.o. • Depala vas 39 • 1230 Domžale • 01 528 56 88 • <https://trgovina.svet-el.si> • [stik@svet-el.si](mailto:stik@svet-el.si)