

SE  
297

REVIJA ZA ELEKTRONIKO, AVTOMATIKO, RAČUNALNIŠTVO IN TELEKOMUNIKACIJE

# svet ELEKTRONIKE

ISSN 1318-4679

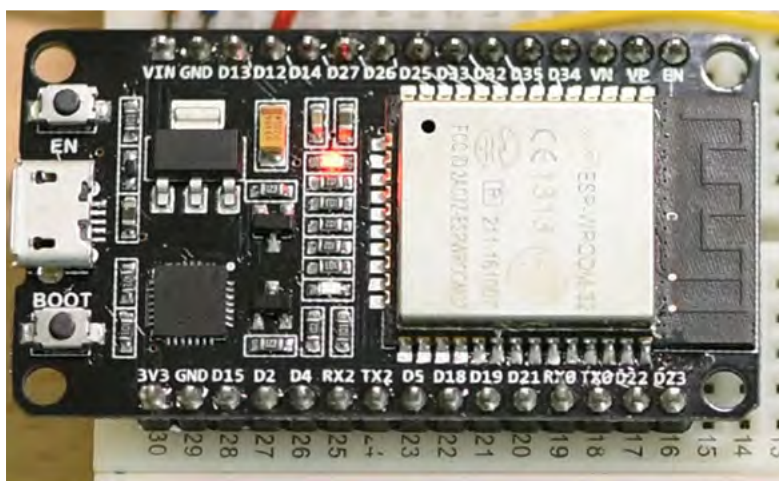


9771318467014



letnik XXVIII  
junij 2021  
številka 297  
cena:

4,50 €



## ESP32 DEEP SLEEP



**Energetsko najučinkovitejši  
hitri ADC čip**



**Nadzor patogenov z  
UV-C LED-icami**



**Tuljave za visoke tokove za  
avtomobilsko elektroniko**

**Požar v Renesasu bo poglobil  
svetovne težave z dobavo čipov**

**AVR, ESP, PIC in drugi Arduino projekti,  
ko gre za res!**

**Vodič za večjezični IoT**

**Globoko spanje ESP32**

**Panasonic ukinja svinčene akumulatorje  
-kaj pa zdaj?**

# Poiščite tukaj



**BREZPLAČNA DOSTAVA**  
PRI NAROCILIH NAD  
50 € ALI 60 \$



**(+386)-1-888 9071**  
**DIGIKEY.SI**



\*Pri vseh naročilih pod 50,00 € bodo zaračunani stroški pošiljanja v vrednosti 20,00 €. Pri vseh naročilih pod 60,00 USD bodo zaračunani stroški pošiljanja v vrednosti 30,00 USD. Vsa naročila so poslana prek UPS, Federal Express ali DHL in dostavljena v roku 2 do 4 dni (odvisno od končnega cilja). Brez stroškov obdelave. Vse cene so v evrih ali ameriških dolarjih. Digi-Key je pooblaščen distributer za vse partnerske dobavitelje. Dnevno dodajamo nove izdelke. © 2021 Digi-Key Electronics, 701 Brooks Ave. South, Thief River Falls, MN 56701, ZDA



Jurij Mikeln

## Ta nesrečni Covid-19

Ja, drage bralke in dragi bralci – res je »nesrečen« ta virus, ki ga imenujemo Covid-19. Ne samo to, da pušča resne posledice nekaterim prebolevnikom, nekateri – tudi mlajši, umirajo zaradi tega virusa.

Seveda se je nejevernost glede Covid-19 že dolgo nazaj umaknila trezni presoji in zdaj že velika večina nas ve, da virus ni »šala« in da se je treba obnašati samozaščitno, če se ne želimo okužiti. In kljub temu, da v uredništvu revije že od marca lani delamo od doma, sem se jaz nalezil Covid-a. K sreči sem imel blago obliko in sem tako rekoč že »naravno cepljen«. Kljub temu sem se pred kratkim tudi cepil proti Covid-19 in si tako zagotovil mirnejše druženje z ljudmi okoli mene.

Čemu pišem ta dolg uvod, ki z elektroniko nima zveze? No, na nek način jo ima, saj smo prav zaradi Covid-19 situacije morali IKTEM 2021 »preseliti« iz Rogle v virtualni svet. Žal smo morali to odločitev sprejeti po velikem številu telefonskih pogovorov z marsikom – tudi morda z vami, ki berete ta uvodnik. Čeprav smo se veselili prijetnega druženja na Rogli, smo po drugi strani tudi zadovoljni, da bo IKTEM 2021 virtualen, saj to pomeni bistveno nižje stroške udeležbe tudi za vas – udeležence konference, saj vam ne bo potrebno plačati kotizacije in prenočišča, dovolj bo samo prijava na konferenco.

Kljub temu, da bo IKTEM 2021 virtualen, pa bo prinesel zanimiva predavanja iz vseh treh področij konference: IKT, elektronike in mehatronike. Zato vabljeni, da si na spletni strani konference ogledate program in se udeležite IKTEM 2021 konference 17. junija.

Vabljeni pa tudi, da v roke vzamete tokratno številko revije Svet elektronike, ki prinaša obilico zanimivih člankov. Tako boste lahko prebrali, kako se virusov in bakterij lotevajo elektroniki: z ustreznimi LED-icami seveda.

Ker se vedno bolj gibljemo v smeri interneta stvari (angl. Internet of Things: IoT), boste tudi v tokratni reviji lahko našli obilico člankov na to temo. Tako boste lahko prebrali, kako ESP32 postaviti v rešim globokega spanja in na ta način poskrbeti, da bo napajalna baterija trajala precej dalj časa.

Kot običajno je zanimivih člankov še več, zato si zagotovite svoj izvod revije Svet elektronike.

*Jure*

Lep pozdrav!  
Jure

### REVIJA ZA ELEKTRONIKO, AVTOMATIKO, RACUNALNIŠTVO IN TELEKOMUNIKACIJE

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

Glavni in odgovorni urednik:  
JURIJ MIKELN, dipl.inž.  
Tel.: 01 528 56 88  
E-pošta: stik@svet-el.si

Tehnični urednik:  
Samo Gregorčič  
E-pošta: dtp@svet-el.si

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

Marketing:  
Tel: 01 549 14 00  
GSM: 031 872 580  
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:  
EVROGRAFIS d.o.o.  
Naklada do: 1.500 izvodov  
ISSN 1318 4679

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

Cena za posamezni izvod je 4,50 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.



## Električni pastir

**Pašni aparat majhne in srednje moči. Za domače živali (psi, mačke) ali za večje živali (ovce, koze, konje) Možen dokup tudi različnih dodatkov**






<https://svet-el.si>

**Kode: 5ELU0056, 5ELU0059,...**

## KAZALO

## UVODNIK

- 3 Ta nesrečni Covid-19

## NOVICE

- 5 Raziskovanje vloge kobalta v polnilnih baterijah za razvoj učinkovitejših katod brez kobalta  
<https://techxplore.com>
- 7 Medijski dan 2021 z domačimi in mednarodnimi medijskimi trendi  
<https://www.feri.um.si>
- 9 Novi nanotranzistorji ostajajo hladni pri visokih napetostih  
<https://techxplore.com>
- 10 Kartice s prstnimi odtisi za biometrična plačila naslednje generacije  
<https://www.electronicsspecifier.com>
- 12 Novi stikalni napajalniki podjetja Morsun  
<https://www.morsun-power.com>
- 13 Požar v Renesasu bo poglobil svetovne težave z dobavo čipov  
<https://techxplore.com>
- 15 Panasonic ukinja svinčene akumulatorje – kaj pa zdaj?  
<https://www.schukat.com>
- 17 Raziskovalci so ustvarili energetsko najučinkovitejši hitri ADC čip  
<https://techxplore.com>

## PREDSTAVLJAMO

- 19 Nadzor patogenov z UV-C LED-icami  
Avtor: Rolf Horn  
[www.digikey.com](http://www.digikey.com)
- 23 Visokozmogljiv nosljiv termoelektrični generator  
<https://advances.sciencemag.org>
- 32 Zmanjšanje velikosti, šuma in napak na terenu APU-jev namenjenih prevozu  
Avtorja: Kevin Speer, Nitesh Satheesh in Marc Rommerswinkel  
[www.microchip.com](http://www.microchip.com)
- 37 Tuljave za visoke tokove za avtomobilsko elektroniko  
Avtor: Ralf Hickl  
[www.rutronik.com](http://www.rutronik.com)

## PROGRAMIRANJE

- 38 Arduino barvni OLED  
<https://hackster.io>
- 40 Krmiljenje RGB LED-ic (10)  
Avtorja: Vladimir Mitrović in Robert Sedak  
<https://svet-el.si>
- 44 AVR, ESP, PIC in drugi Arduino projekti, ko gre za res!  
Avtor: dr. Simon Vavpotič  
<https://svet-el.si>
- 51 PYTHON 5  
Avtor: Boštjan Šuhel  
<https://svet-el.si>
- 54 Spoznajte se z režimom globokega spanja ESP32  
<https://hackster.io>

## STIK

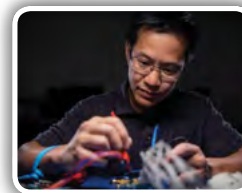
- 58 Info in naročanje  
<https://svet-el.si>

DIGI-KEY	02	VENTIL	24
MICROCHIP	35	TZS	31
STROMBOLI D.O.O.	06		

## OGLAŠEVALCI

## Raziskovalci so ustvarili energetsko najučinkovitejši hitri ADC čip

Da bi zadostili naraščajočemu povpraševanju po bliskovito hitri mobilni tehnologiji, vsako leto tehnološki velikani ustvarijo hitrejše in zmogljivejše naprave, ki lahko delujejo dalj časa z baterijskim napajanjem...



Stran: 17

## Nadzor patogenov z UV-C LED-icami

Inženirji so bili spodbujeni, da razmislijo o uporabi ultravijolične (UV) svetlobe za izdelke za razkuževanje in sterilizacijo, ki »deaktivirajo« SARS-CoV-2 (virus, ki povzroča COVID-19). Običajni izdelki za razkuževanje in sterilizacijo uporabljajo nizkotlačne svetilke z živosrebrno paro, ki oddajajo UV-A spekter, potreben za odstranjevanje patogenov.



Stran: 19

## Tuljave za visoke tokove za avtomobilsko elektroniko

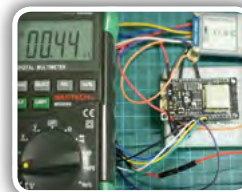
Majhne in močne. Novi stikalni tranzistorji, na primer na osnovi galijevega nitrida (GaN), povečujejo delovne frekvence stikalnih napajalnikov. To omogoča uporabo manjših kondenzatorjev in tuljav. Tuljave z visokotehnološkimi materiali v jedrih dodatno prispevajo k visokemu skupnemu izkoristku vezja.



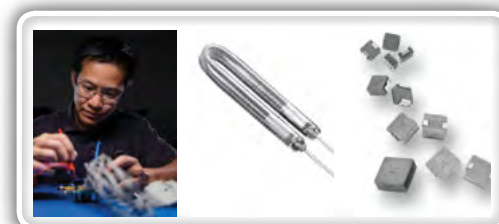
Stran: 37

## Spoznajte se z režimom globokega spanja ESP32

Si predstavljate, da bi vaš projekt na običajnih baterijah AA deloval skoraj 5 let? To je mogoče s čipom ESP32. Dragi prijatelji, dobrodošli v branju tega članka! Tokrat se bomo naučili, kako preklopiti čip ESP32 v način globo...



Stran: 54



Naslovnica:

[www.techxplore.com](http://www.techxplore.com), [www.digikey.com](http://www.digikey.com), [www.rutronik.com](http://www.rutronik.com)

# Raziskovanje vloge kobalta v polnilnih baterijah za razvoj učinkovitejših katod brez kobalta

Science X

Avtorica: Ingrid Fadelli, Tech Xplore

*Številna avtomobilska podjetja po vsem svetu trenutno vlagajo v razvoj električnih vozil, kar bi lahko pomagalo zmanjšati emisije toplogrednih plinov. Električna vozila potrebujejo velike polnilne baterije, ki so zmogljive, vzdržljive in energetsko učinkovite.*

Co-rich cathode	Katode z veliko vsebnostjo Co
Morphological damage	Strukturne poškodbe
Intragranular microcracks	Intragranularne mikrorazpoke
Intergranular microcracks	Intergranularne mikrorazpoke
Co suppressing	Dušenje Co
Li/Ni disorder	Motnja Li/Ni
Perfect layered structure	Popolna večplastna struktura
Structural damage	Strukturne poškodbe
TM migration	Migracija TM
O redox & O <sub>2</sub> release	Redoks O in sprostitvev O <sub>2</sub>
Spiral-like phase	Faza v obliki spirale
Bulk	Termoelektrični Peltierjev modul
Surface	Površina
Electrolyte	Elektrolit
Interface reaction	Reakcija vmesnika
Rock-salt phase	Faza s kameno soljo
Co-free cathode	Katoda z veliko vsebnostjo Co
Morphological stabilization	Strukturna stabilizacija
No microcracks	Brez mikrorazpok
Mn enriching	Bogatenje Mn
Li/Ni disorder	Motnja Li/Ni
Structure with Li/Ni disorder	Struktura z motnjo Li/Ni
Structural evolution	Strukturni razvoj
Mn stabling	Stabilizacija Mn
O & structure	O in struktura
Maintaining layered structure	Ohranjanje večplastne strukture
Electrolyte	Elektrolit
Interface reaction	Reakcija vmesnika
Rock-salt phase	Faza s kameno soljo

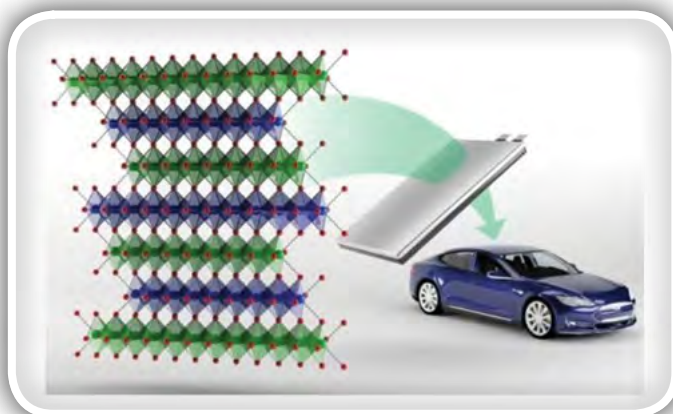
V zadnjih letih so razvoj električnih vozil ovirali in upočasnili naraščajoči stroški polnilnih baterij. Glavni razlog za visoke stroške je dejstvo, da je kobalt (Co), ki je glavna sestavina večine katod v polnilnih baterijah, postal težje dosegljiv, povpraševanje pa je vedno večje.

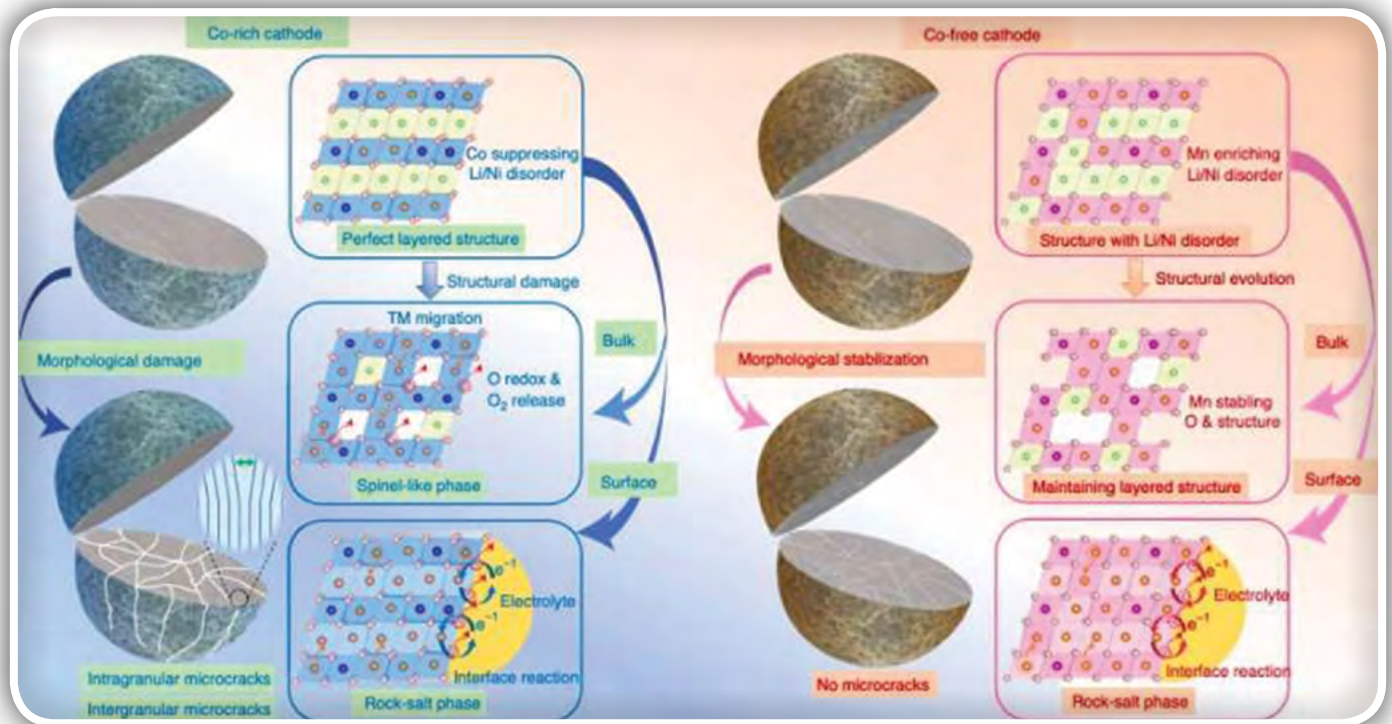
Da bi se izognili tej težavi in zagotovili dovolj polnilnih baterij za pogon novih električnih vozil in drugih tehnologij, inženirji in kemiki poskušajo najti druge materiale, ki bi nadomestili Co v



običajnih katodah v polnilnih baterijah. Da bi ti materiali učinkovito nadomestili Co, morajo imeti podobno zmogljivost ter biti cenovno dostopnejši ali bolj razpoložljivi.

Raziskovalci Nacionalnega laboratorija Argonne in Fakultete za podiplomski študij Shenzhen Univerze v Pekingu na Kitajskem so pred kratkim izvedli raziskavo, namenjeno boljšemu razumevanju vloge, ki jo ima Co v polnilnih baterijah, da bi razvili nove katode brez Co. Njihov članek, objavljen v reviji Nature Energy, opredeljuje nekatere postopke in lastnosti, ki predstavljajo prednost kobalta pri visokozmogljivih polnilnih baterijah. »Raziskujemo vlogo Co v namensko zasnovanih sistemih, ki zajemajo tako katode z veliko vsebnostjo Co kot katode brez Co, v katerih Co nadomešča Mn,« so raziskovalci zapisali v svojem prispevku.





Slika, ki povzema mehanizme strukturnega razvoja katod z veliko vsebnostjo Co in brez njega. Avtor slike: Liu et al.

Številne do zdaj predlagane katode brez Co vsebujejo veliko litija (Li) ali magnezija (Mg). Čeprav se je izkazalo, da so nekatere od teh katod dokaj obetavna zamenjava katod na osnovi Co, pa so njihove zmogljivosti in stabilnost delovanja pogosto neustrezne za obsežno komercialno uporabo. Posledično se je večina raziskav s področja alternativ brez Co osredotočila na večplastne oksidne katode, kot so večplastne oksidne katode z veliko vsebnostjo niklja (Ni).

Večplastne oksidne katode z veliko vsebnostjo Ni so običajno zelo zmogljive in imajo veliko energetske gostoto. Kljub temu so nekateri raziskovalci ugotovili, da neposredna zamenjava Co z Ni ni mogoča, ker lahko povzroči občutno zmanjšanje zmogljivosti in toplotne stabilnosti baterije.

V članku so Tongchao Liu in sodelavci iz Nacionalnega laboratorija Argonne in Univerze v Pekingu poskušali bolje razumeti razloge, zaradi katerih ima Co tako pomembno vlogo pri katodah v polnilnih baterijah. Upali so, da jim bo to pomagalo odkriti alternativne sestave z veliko vsebnostjo Ni in s podobno

zmogljivostjo ter oblikovati boljše katode brez Co za polnilne baterije.

Raziskovalci so z najsodobnejšimi metodami določili notranje lastnosti Co in primerjali njihove postopke s tistimi, ki potekajo v katodah z veliko vsebnostjo Ni in Co. Pretekle študije so pokazale, da lahko velika količina Ni v katodi pospeši upadanje zmogljivosti baterije. Liu in sodelavci pa so ugotovili, da je Co pri visokih potencialih pravzaprav bolj destruktiven kot Ni.

»Naši rezultati so potrdili, da Co nedvomno igra vlogo pri hitrem upadanju zmogljivosti in/ali strukturni degradaciji, in pokazali, da je Co pri visokih potencialih bolj destruktiven kot Ni, kar ponuja nepričakovane, a spodbudne vidike za zmanjšanje Co,« so v članku pojasnili raziskovalci. »Poleg tega zamenjava z Mn učinkovito blaži destruktivne učinke Co in omogoča delovanje, ki veliko obeta.«

Rezultati, ki jih je zbrala skupina raziskovalcev, ponujajo dragocene informacije, ki bi lahko prispevale k zasnovi in proizvodnji bolj učinkovitih, stabilnih in stroškovno učinkovitejših katod za polnilne baterije. Skupina je na splošno opredelila vrsto morfoloških in strukturnih mehanizmov degradacije, ki bi lahko razložili, zakaj se zmogljivost katod z veliko vsebnostjo Co hitro zmanjšuje.

Na podlagi teh ugotovitev so Liu in sodelavci že začeli izdelovati vrsto katod brez Co, ki so dosegle obetavne zmogljivosti. V prihodnosti bodo te katode morda vgrajene v polnilne baterije in nato komercializirane ter postale široko dostopne.

#### Povzeto po:

- <https://techxplore.com/news/2021-03-role-cobalt-rechargeable-batteries-effective.html>

<https://techxplore.com>

**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

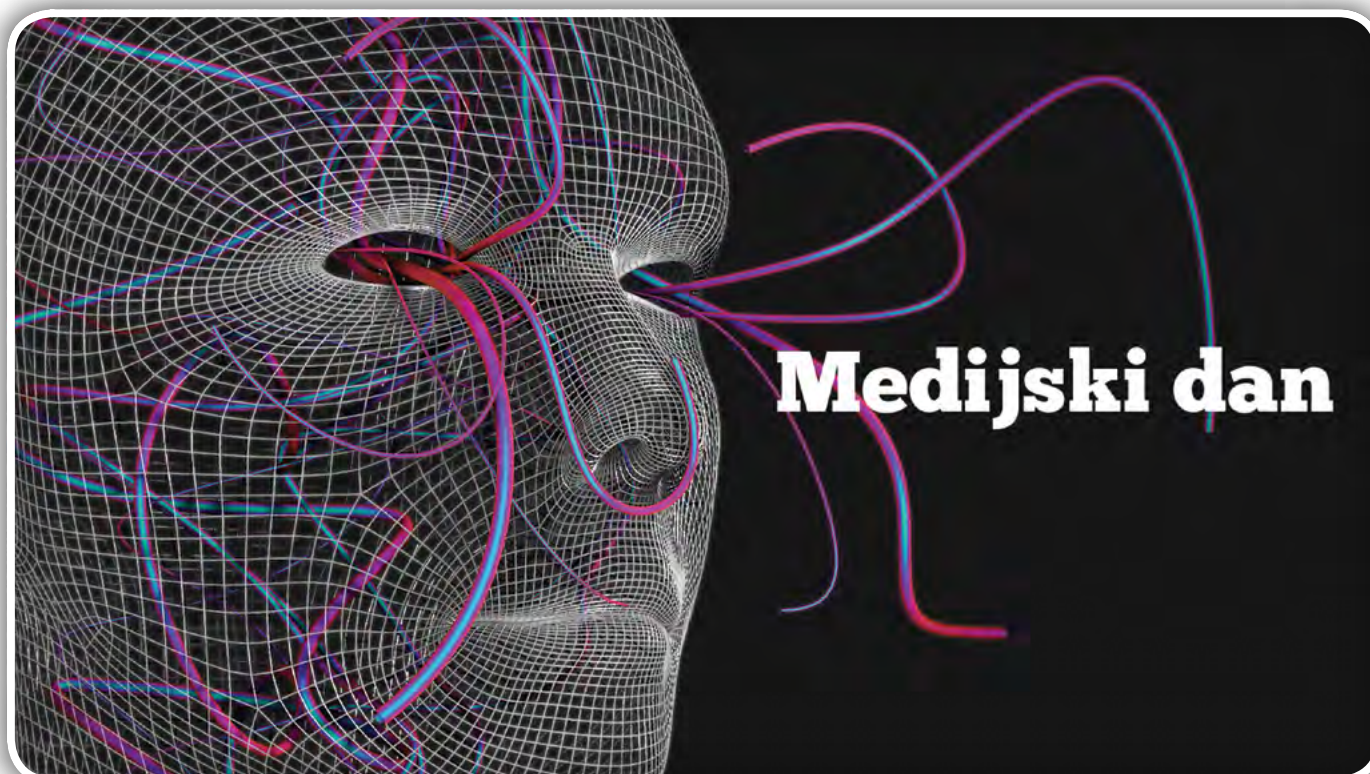
# Medijski dan 2021 z domačimi in mednarodnimi medijskimi trendi

UM FERI

Avtor: Pia Prebevšek, dipl. inž. med. kom. (UN)

E-pošta: pia.prebevsek@um.si

Mednarodni in domači gosti so spregovorili o izzivih in trendih digitalne prihodnosti v medijih in razvoju vizualnih komunikacij.



Maribor, 20. maj – Letošnji Medijski dan 2021 je na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v spletnem okolju združil domače in tuje strokovnjake. Pod temo Mediji in komuniciranje: izzivi in trendi digitalne prihodnosti so svoje poglede, analize in refleksije predstavili programski direktor POP TV Branko Čakarmiš, ugledni profesor in avtor mnogih strokovnih knjig Daya Thussu, grafični oblikovalec in vizualni umetnik Slavimir Stojanović Futro ter kreativni direktor Trampolin studia Tine Lugarič.

Inštitut za medijske komunikacije FERI UM je po enoletnem premoru letos na daljavo povezal ugledne mednarodne in domače strokovnjake, njihove študente in druge obiskovalce, ki jih zanimajo aktualni medijski trendi. »Razmere so nam narekovale organizacijo Medijskega dne na daljavo, ki pa smo ga mednarodno



obarvali z aktualnimi vsebinami in vrhunskimi govorniki, ki prepoznajo medijske trende na globalni ravni. Z dogodkom smo želeli pokazati, da je medijska industrija zahtevna, a navdihujoča, s seboj nosi odgovornost in moč, a obenem tudi mladim daje možnosti, da izrazijo mnoge talente« je povedala predstojnica Inštituta za medijske komunikacije izr. prof. dr. Suzana Žilič Fišer.

Kot prvi je sedanjosti in prihodnosti televizije programski direktor POP TV Branko Čakarmiš, ki je izpostavil, da so odprti do mnogih idej, obenem pa jih poskušajo izpiliti do popolnosti, ko lansirajo oddajo: »Resničnostne oddaje so sedanjost in prihodnost, iščemo pa izvirne ideje,« je še poudaril Čakarmiš. Ugledni profesor na Hong Kong Baptist University in avtor mnogih knjig s področja medijev Daya K. Thussu je v analizi globalnih medijskih trendov posebej opozoril na problem cenzure spletnih medijskih kanalov v Aziji, razvoj in dostop do svetovnega spleta v največjih državah sveta ter spregovoril o zaskrbljujoči dominanci tehnoloških gigantov.

V drugem delu Medijskega dne 2021 je v ospredje stopila vizualna govorica. Grafični oblikovalec in vizualni umetnik Slavimir Stojanović Futro je kot izhodišče svojega predavanja navedel podatke, da je 85 % komunikacije vizualne, da vsak dan sprejmemo 10000 vizualnih komunikacij in da nam ostane 8 sekund za komunikacijo. Kreativni direktor Trampolin studia Tine Lugarič je s svojo prezentacijo študentom dal pogum za vstop na lastno kreativno pot, ki pa zahteva izjemno dodano vrednost, presežek kreativnosti in predanost delu, kar je ponazoril z besedno zvezo: »Jump higher and have fun.«



V popoldanskem delu Medijskega dne 2021 so udeleženci lahko obiskali dve delavnici. Prvo, z naslovom Vizualna poezija, je vodila finska grafična oblikovalka in vizualna umetnica Marion Robinson. Delavnico Učinkovita komunikacija na družbenih medijih pa je vodila direktorica za digitalni marketing in podjetniška mentorica Monika Horvat.

Na fotografijah vas čaka grafična podoba letošnjega medijskega dne in študentki Janja Zdravec in Atena Bošnjak, ki sta sodelovali pri organizaciji in sovodili dogodek.

**Univerza v Mariboru | University of Maribor**  
**Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko**  
**Faculty of Electrical Engineering and Computer Science**  
**Koroška ulica 46, 2000 Maribor, Slovenija**  
**+386 2 220 7110**

<https://www.ferl.um.si>



Arduino UNO R3



Arduino Nano V3.0



PROGRAMIRAJMO Z LAHKOTO



<https://svet-el.si>



# Novi nanotranzistorji ostajajo hladni pri visokih napetostih

Science X

Avtor: Ecole Polytechnique Federale de Lausanne

*Tranzistor, ki so ga razvili raziskovalci EPFL, lahko močno zmanjša upornost in sevanje toplote v močnostnih sistemih.*

Pretvorniki električne energije so malo znani sistemi, zaradi katerih je elekrika tako čarobna. Omogočajo nam, da računalnike, svetilke in televizorje povežemo in jih v trenutku vklopimo. Pretvorniki pretvarjajo izmenično napetost (AC), ki prihaja iz stenskih vtičnic, v natančno vrednost enosmerne napetosti (DC), ki jo potrebuje naša elektronika, vendar pa pri pretvorbi v povprečju izgubijo do 20 % energije.

Pretvorniki električne energije za pretvarjanje uporabljajo močnostne tranzistorje – majcene polprevodniške komponente, zasnovane za vklapljanje in izklapljanje, ki prenesajo visoke napetosti. Cilj ekipe inženirjev EPFL je zasnova novih močnostnih tranzistorjev za izboljšanje učinkovitosti pretvornikov. S povsem novo zasnovano tranzistorja, ki temelji na paradoksalni uporabi nanostruktur za visokonapetostne uporabe, se med pretvorbo izgubi precej manj toplote, zato so tranzistorji še posebej primerni za močnostne sisteme, kot so električna vozila in sončni paneli. Njihove ugotovitve so bile pred kratkim objavljene v reviji Nature Electronics.

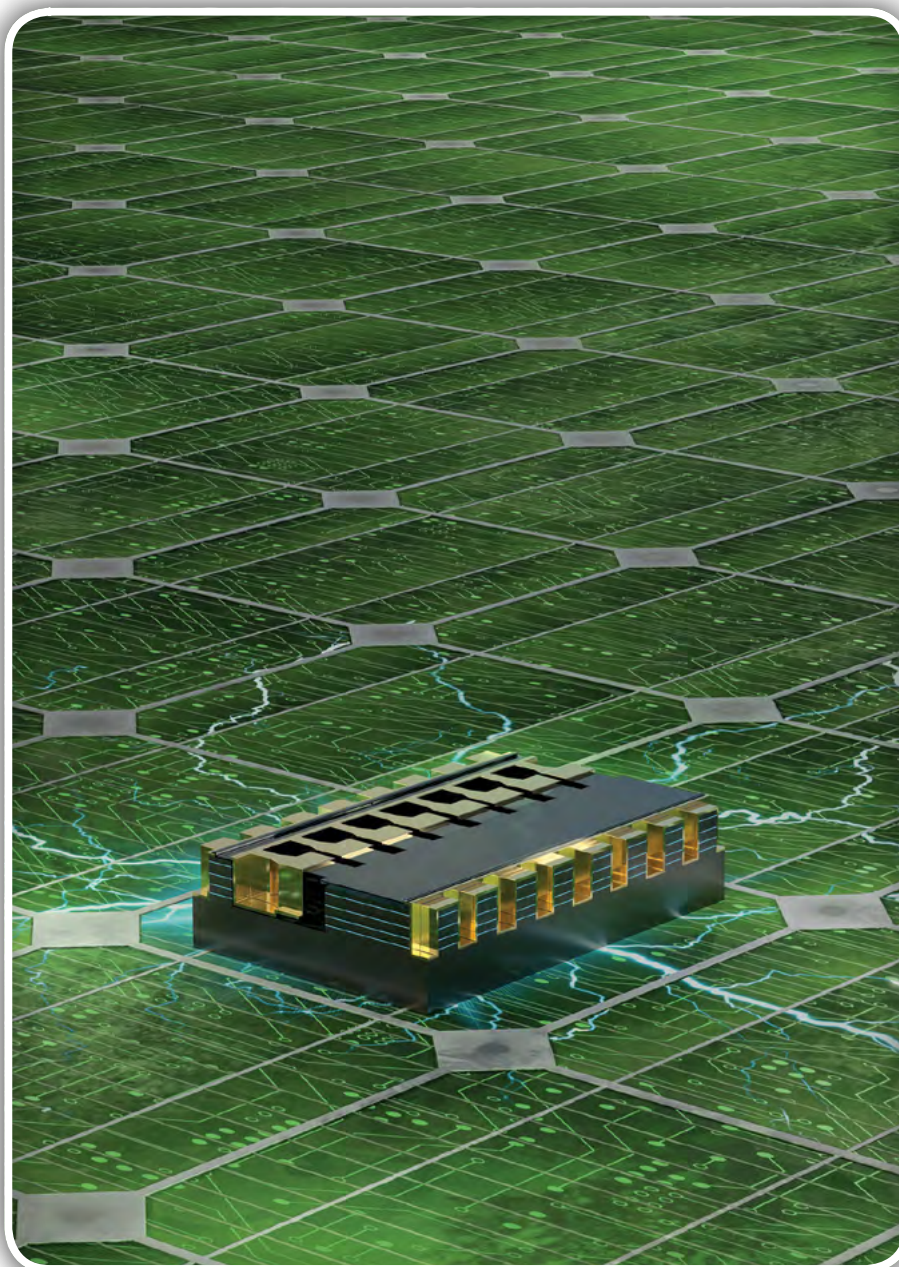
Oddajanje toplote v pretvornikih med drugim povzroča visoka električna upornost, kar je največji izziv pri močnostnih elektronskih napravah. »Primeri izgube električne energije so vse okoli nas, npr. segrevanje polnilnika prenosnega računalnika,« pravi Elison Matioli, soavtor raziskave in vodja laboratorija EPFL POWERlab.

To postane še večja težava pri močnostnih sistemih. »Čim višja je nazivna napetost polprevodniških komponent, tem večja je upornost,« dodaja. Izgube moči na primer zmanjšajo doseg električnih vozil in učinkovitost sistemov obnovljivih virov energije.

Matioli, njegov doktorski študent Luca Nela in njuna ekipa so razvili tranzistor, ki bistveno zmanjša upornost in oddajanje to-

plote v močnostnih sistemih. Povedano natančneje: v primerjavi z običajnimi tranzistorji je upornost več kot prepolovljena, hkrati pa zdrži napetosti nad 1000 V. Tehnologija EPFL ima dve ključni novosti.

Prva je vgradnja več prevodnih kanalov v komponento za porazdelitev pretoka toka – kot npr. ko pri avtocesti dogradimo

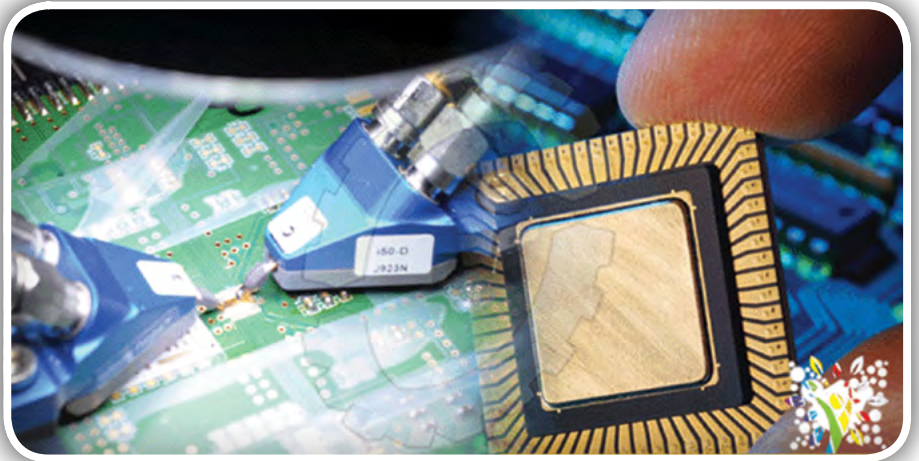


dodatne pasove, ki omogočajo bolj tekoč promet in preprečujejo zastoje. »Naša večkanalna zasnova razdeli pretok toka ter zmanjšuje upornost in pregrevanje,« pravi Nela.

Druga novost je uporaba nanožic iz galijevega nitrida, polprevodniškega materiala, ki je idealen za močnostne sisteme. Nanožice se že uporabljajo v čipih z nizko porabo energije, na primer v pametnih telefonih in prenosnikih, ne pa v visokonapetostnih sistemih. POWERlab je predstavil nanožice s premerom 15 nm in edinstveno lijakasto strukturo, ki omogoča, da brez poškodb zdržijo močna električna polja in napetosti nad 1000 V.

Kombinacija teh dveh novosti – večkanalna zasnova, ki omogoča pretok več elektronov, in lijakasta struktura, ki poveča odpornost nanožic – tranzistorjem omogoča učinkovitejše pretvorbe v močnostnih sistemih. »Prototip s poševnimi nanožicami se obnese dvakrat bolje kot najboljše močnostne naprave GaN v literaturi,« pravi Matioli.

Čeprav je tehnologija, ki so jo razvili inženirji, še v preskusni fazi, ne bi smelo biti večjih ovir za masovno proizvodnjo. »Dodajanje kanalov je skoraj zanemarljiva sprememba in premer naših nanožic je dvakrat večji kot pri majhnih tranzistorjih, ki



jih izdeluje Intel,« pravi Matioli. Skupina je v povezavi z izumom prijavila več patentov.

Povpraševanje po čipih, ki so učinkoviti pri visokih napetostih, se bo močno povečalo hkrati z razširjenostjo električnih vozil, saj učinkovitejši čipi pomenijo večje dosege. Več velikih proizvajalcev je že izrazilo zanimanje za sodelovanje z Matiolijem pri nadaljnjem razvoju tehnologije.

#### Povzeto po:

- <https://techxplore.com/news/2021-03-nanotransistors-cool-high-voltages.html>

<https://techxplore.com>

electronic  
specifier

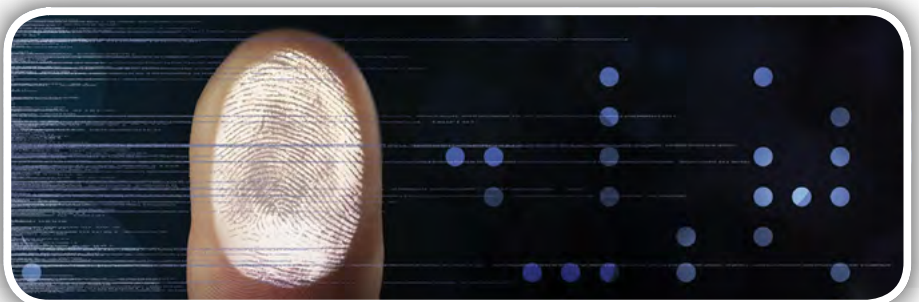
## Kartice s prstnimi odtisi za biometrična plačila naslednje generacije

Electronic Specifier Ltd.

**Kot drugi korak v svojem napovedanem partnerstvu je podjetje Fingerprint Cards AB (Fingerprints) sklenilo komercialni sporazum (MoU) s podjetjem STMicroelectronics za predstavitev skupne platforme na trgu.**

Platforma izboljšuje učinkovitost ključnih lastnosti biometričnega sistema na kartici, kar kaže na enostaven vpis uporabnikov pri pomembnih bančnih transakcijah.

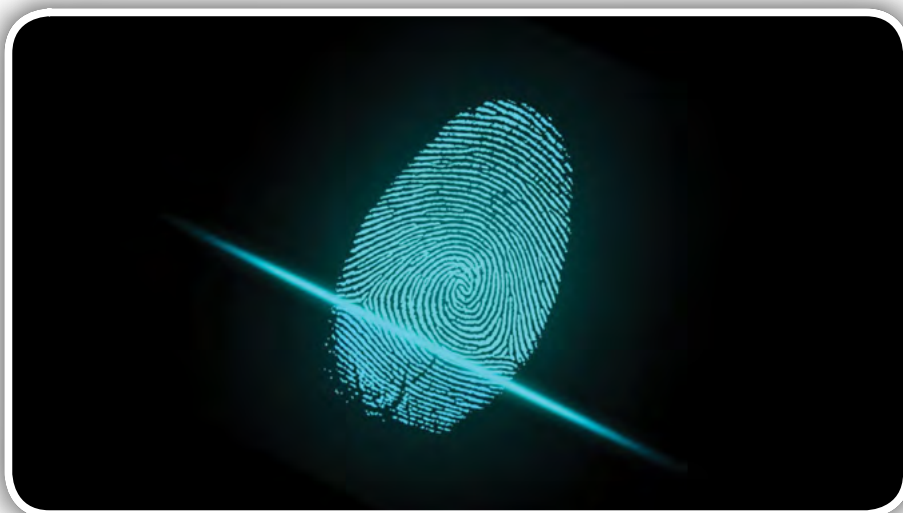
STPayBio vključuje ST-jeve tehnologije za zaščito plačil, ST31 Secure Element (SE) in STM32 mikrokontroler (MCU), s senzorskim modulom T-Shape 2 (T2)



Fingerprints in programsko platformo za plačila, ki jo je nedavno odobrilo podjetje Mastercard. Obe podjetji tesno sodelujeta pri optimizaciji vseh delov platforme v eni rešitvi. Platforma olajša vključevanje biometrije v obstoječe postopke izdelave kartic, omogoča globalno uvajanje in zmanjšuje skupne stroške izdelka.

"Z doseganjem tega drugega koraka sodelovanja med STMicroelectronics in Fingerprints z zagotavljanjem preizkušene integrirane BSoC rešitve potrjujemo trdno partnerstvo s Fingerprints in imamo vse ključne sestavine za zagotavljanje komercialne rešitve, ki prinaša večjo raven varnosti in udobja za izdajatelje in imetnike kartic," je dejal Laurent Degauque, direktor trženja varnih mikrokontrolerjev pri podjetju STMicroelectronics.

"Biometrične plačilne kartice lahko ponudijo vrednost za potro-



šnike po vsem svetu, povpraševanje pa hitro narašča zdaj, ko v Evropi vidimo komercialne predstavitve," je dodal Michel Roig, SVP Business Line Payments & Access pri podjetju Fingerprints. »Ponosni smo, da nadaljujemo s tem sodelovanjem, da zmanjšamo stroške in odstranimo zapletenost procesa integracije.

To odpravlja glavne ovire za manjše proizvajalce kartic druge stopnje, da v svoj portfelj dodajo biometrične kartice, nato pa še več potrošnikom prinesejo hitra, brezkontaktna in higienska plačila v trgovinah."

Podjetja bodo začela skupno trženje platforme, rešitev pa bo na voljo za vzorčne količine v tretjem četrtletju 2021.

#### Povzeto po:

- <https://www.electronicsspecifier.com/industries/security/fingerprint-cards-for-next-generation-biometric-payments>

<https://www.electronicsspecifier.com>



## **VARNOŠTNI** MODUL ZA DVOROČNO PROŽENJE

DVT 100 je univerzalni varnostni modul za dvoročni vklop. Namenjen je vgradnji v krmilne omarice na napravah s premočrtnim gibanjem orodja. DVT 100 povečuje varnost delavca za orodjem.

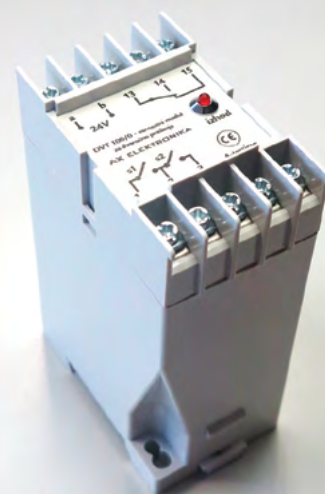
#### Tehnični podatki modula DVT 100:

- napajanje: 24V AC/DC
- poraba: 4,5W
- izhodni kontakt: 6A/250V AC
- max. časovni razmik pritiska na tipki: 0,5s
- ohišje: plastično, za montažo na letev
- izhodni rele je aktiviran dokler sta tipki sklenjeni

**ZVD**

Atestiran pri zavodu  
za varstvo pri delu!

<https://svet-el.si>

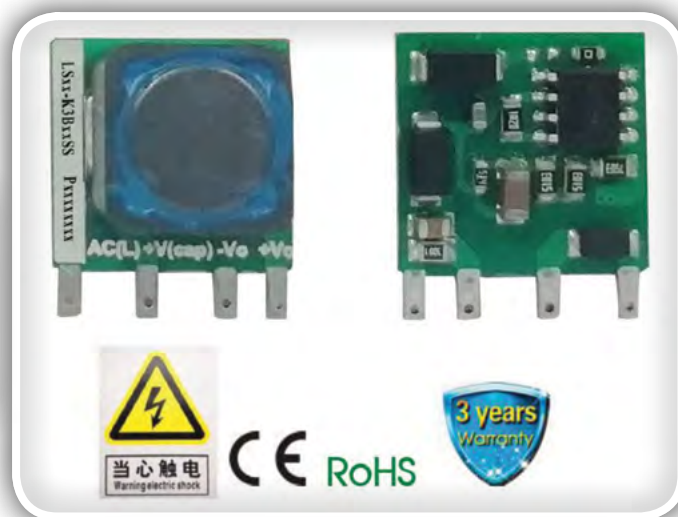
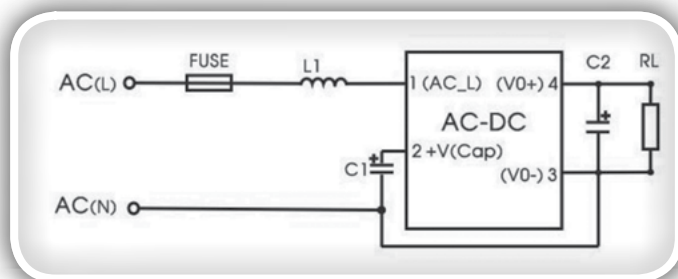


# Novi stikalni napajalniki podjetja Morsun

Morsun

*Serija LSxx-K3BxxSS je ena izmed Morsunovih zelo učinkovitih močnostnih AC-DC pretvornikov. Te izdelke odlikuje široko območje vhodne napetosti tako enosmerna kot izmenična vhodna napetost, visoka učinkovitost in nizka poraba energije.*

Izdelki se pogosto uporabljajo v industrijskem nadzoru, instrumentaciji, aplikacijah za električno energijo in pametne hiše. Za izredno ostro EMC okolje priporočamo uporabo sheme v podatkovnem listu.



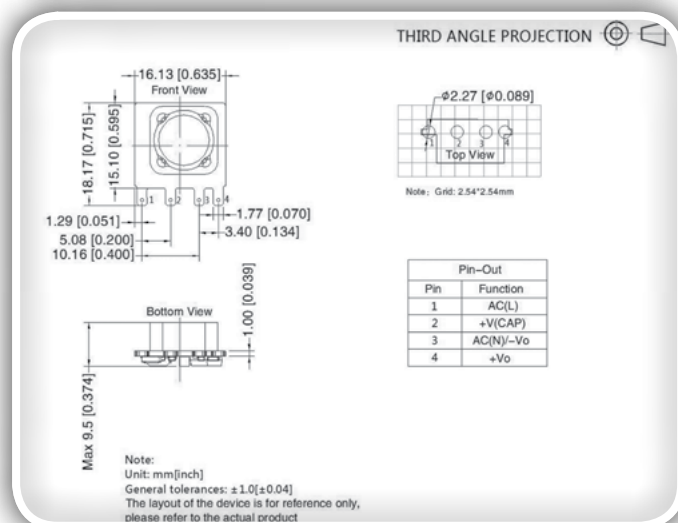
## Lastnosti:

- Zelo široko območje vhodne napetosti 85 - 305VAC in 70 - 430VDC
- Območje delovne temperature okolice -40 °C do + 85 °C
- Kompaktna velikost, odprto ohišje
- Visoka zanesljivost, zelena moč
- Industrijsko oblikovani
- Prilagodljiva izbira EMC dodatnih vezij, poenostavitev TIV za kupca
- Zaščita pred kratkim stikom in prekomernim tokom na izhodu
- EN62368 varnostna odobritev

Opozorilo! Modul ni galvansko ločen od omrežne napetosti!

Morsun napajalni moduli so na voljo pri podjetju Digi-Key.

<https://www.morsun-power.com>



Izbor					
Certifikat	Oznaka	Izhodna moč	Nominalna izh. napetost in tok	Učinkovitost v % @230V AC	Kapacitivno breme maks. (µF)
CE	LS01-K3B05SS	1W	5V/200 mA	57	500
	LS03-K3B12SS	3W	12V/250 mA	73	330

Vhodne specifikacije					
Parameter	Delovni pogoji	Min.	Tip.	Maks.	Enota
Obseg vh. napetosti	AC	85		305	V AC
	DC	70		430	V DC
Vhodna frekvenca		47	-	63	Hz
Obseg vh. toka	115 V AC			0,12	A
	277 V AC			0,06	
Inrush tok	115 V AC		25		
	277 V AC		40		
Priporočljiva varovalka		1A/300V počasna			

# Požar v Renesasu bo poglobil svetovne težave z dobavo čipov

Science X

*Japonska vlada in proizvajalci vozil ponujajo pomoč ključnemu proizvajalcu čipov po požaru v tovarni, ki bi lahko še poslabšal svetovno pomanjkanje polprevodnikov, ki pesti avtomobilska podjetja.*



*Delavci japonskega proizvajalca mikroprocesorjev Renesas v tovarni podjetja v Hitachinaki v prefekturi Ibaraki.*

Požar v eni od tovarn podjetja Renesas se je zgodil v najslabšem možnem času za avtomobilski sektor, ki se že spopada s težavami z oskrbo, ki je delno posledica povečanega povpraševanja po čipih proizvajalcev prenosnih računalnikov, tabličnih računalnikov in igralnih naprav.

»Poleg globalnih težav zaradi pomanjkanja polprevodnikov bi lahko prišlo še do močnega vpliva na ponudbo,« sta v poročilu po požaru zapisala analitika podjetja UBS Securities Japan Kenji Yasui in Sean Park.

Renesas ima približno 35-odstotni delež na trgu avtomobilskih polprevodnikov, direktor podjetja Hidetoshi Shibata pa je ta konec tedna opozoril na »zelo velik« vpliv na globalno ponudbo čipov.

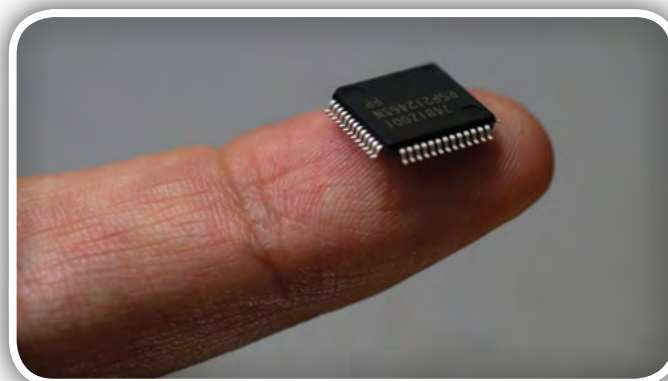
Zdaj japonska vlada in nekatere stranke podjetja Renesas, vključno z najbolj prodajano Toyota, ponujajo pomoč zaradi globoke zaskrbljenosti, ki jo je v okviru težav z oskrbo povzročil požar.

»Pomembno je podpreti prizadevanja podjetja, da si opomore od požara, saj bi to lahko imelo gospodarske in družbene

učinke na Japonskem,« je dejal Kazumi Nishikawa, predstavnik Ministrstva za gospodarstvo, trgovino in industrijo Japonske.

Vladna podpora verjetno ne bo v obliki finančne pomoči, lahko pa bi zajela usklajevanje pomoči zasebnega sektorja ali pomoč Renesasu pri nabavi nadomestne opreme.

»Trenutno je najbolj pomembno pripraviti okolje, v katerem bo japonska industrija kot celota pomagala pri hitrem okrevanju,« je dejal v sredo za AFP.





***Renesas ima približno 35-odstotni delež na trgu avtomobilskih polprevodnikov.***

Toyota je potrdila, da je v tovarno na severovzhodu prefekture Ibaraki poslala več zaposlenih, da »preverijo razmere«, podrobnejših informacij pa ni navedla.

V požaru 19. marca je zagorelo 600 kvadratnih metrov v enoti za proizvodnjo 300-milimetrskih rezin, pri Renesasu pa upajo, da bo proizvodnja znova stekla v enem mesecu.

Satoru Takada, analitik za področje avtomobilskega sektorja pri raziskovalno-svetovalnem podjetju TIW v Tokiju, pa je dejal, da se proizvodnja verjetno ne bo hitro normalizirala.

»Pri Renesasu pravijo, da si bodo opomogli v enem mesecu, vendar proizvodnja morda ne bo takoj dosegla polne zmogljivosti. Vpliv požara bi se lahko zavlekel,« je dejal za AFP.

Nekatera poročila pravijo, da bi obnovitev proizvodnje lahko trajala približno tri mesece, Takada pa je dejal, da morajo proizvajalci vozil »razmisliti o načinih za zmanjšanje tveganj zaradi pomanjkanja ponudbe, ki vpliva na njihovo celotno proizvodnjo«.

## »Obvladljivo in enkratno«

Odzivi proizvajalcev vozil na Japonskem in v tujini so previdni.

Podjetja, med katerimi so francoski Renault, nemški Volkswagen in južnokorejski Hyundai, so za AFP dejala, da bodo po potrebi ukrepala in se spopadla z morebitnim dodatnim pomanjkanjem, podrobnosti pa niso želela razkriti.

Na Japonskem so pri Hondi, Nissanu in Toyoti dejali, da še vedno preučujejo vpliv požara.

Analitiki so dejali, da se nadaljnjemu pomanjkanju čipov ni mogoče izogniti, še zlasti v luči prejšnjih težav, vključno z ustavitvijo proizvodnje v Teksasu zaradi nedavnega hladnega vremena.

Strokovnjaki pri agenciji Moody's so že začetek leta opozarjali na »ozko grlo«, ki bo trajalo »dve do tri četrtletja, dokler se oskrba s polprevodniki in zaloge ne normalizirajo.«

»Incident bo še poslabšal že obstoječe motnje v dobavni verigi, s katerimi se je spopadala avtomobilska industrija v zadnjih mesecih,« je v poročilu po požaru v Renesasu sporočila Mariko Semetko, podpredsednica pri Moody's Japan.

Vseeno obstaja upanje, da bi lahko omejili dolgoročni vpliv s prizadevanji proizvajalcev vozil, da bi razširili število dobaviteljev, in proizvajalci čipov, da bi povečali proizvodnjo polprevodnikov.

»Čprav se požar res ne bi mogel zgoditi v slabšem trenutku, bi posledice morale biti obvladljive in enkratne,« je dejal Amir Anvarzadeh, strateg pri podjetju Asymmetric Advisors.

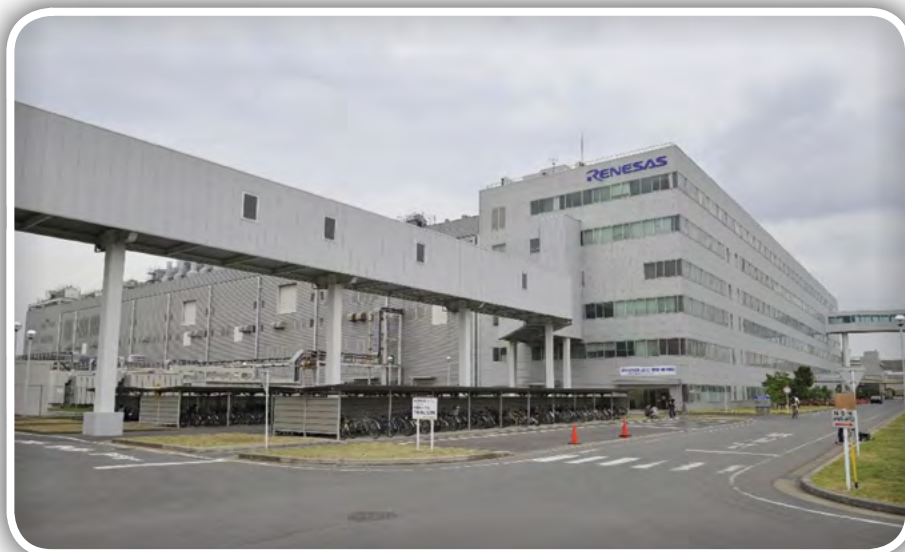
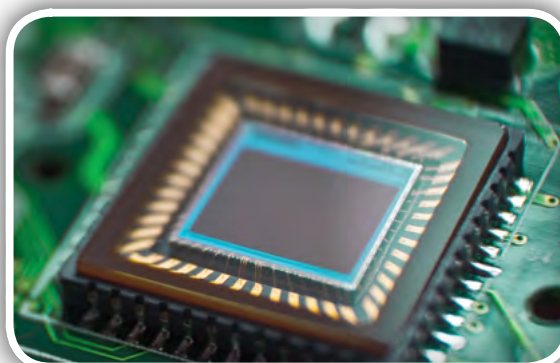
Dejal je tudi, da je dolgoročno Renesas v dobrem položaju, da se hitro postavi na noge.

»Ko vam lastne stranke pošiljajo pomoč za sanacijo škode na objektu in čim hitrejšo vzpostavitev proizvodnje, veste, da dobro poslušate.«

### Povzeto po:

- <https://techxplore.com/news/2021-03-renesas-threatens-deepen-global-chip.html>

<https://techxplore.com>



***V požaru 19. marca je zagorelo 600 kvadratnih metrov v enoti za proizvodnjo 300-milimetrskih rezin.***

# Panasonic ukinja svinčene akumulatorje – kaj pa zdaj?

Schukat electronic

*Panasonic je ukinil proizvodnjo mnogih svinčenih akumulatorjev in se umika iz tega sektorja. Pa so na voljo novejši modeli? In na kaj morate biti pozorni pri nadomestnih akumulatorjih?*

## Ozadje

Zaradi Panasonicove odločitve, da zapusti sektor svinčenih akumulatorjev, opažamo povečano število poizvedb in negotovost glede nadomestnih akumulatorjev. Ker se proizvajalec popolnoma umika s tega področja, novejših modelov ne bo več na voljo.

## Alternative drugih proizvajalcev

Za vsak svinčeni akumulator podjetja Panasonic je mogoče najti ustrezno alternativo drugega proizvajalca, tudi če ujemanje akumulatorja ni vedno popolno.

Kateri akumulator je najboljša alternativa za določeno področje uporabe, je treba določiti za vsak posamezen primer, saj na to vplivajo različni dejavniki:

- Kakšna mora biti zmogljivost akumulatorja?
- Za kaj se bo uporabljal?
- Kakšno življenjsko dobo lahko pričakujete pri določeni uporabi?
- Kakšne so tehnične zahteve?

Proizvajalec akumulatorjev GS YUASA nam je povedal, kaj je treba upoštevati pri izbiri akumulatorja.

## Nasveti za izbiro svinčenega akumulatorja

- Obremenitev akumulatorja in čas delovanja

Svinčeni akumulatorji so vseh oblik in velikosti. Da bi našli pravi akumulator za predvideno uporabo, potrebujete dva glavna podatka: obremenitev in načrtovani čas delovanja/avtonomija. Kaj pa, če ne poznate električnega toka v amperih, ki ga potrebuje električna naprava ali motor? V tem primeru lahko moč v vatih pretvorimo v ampere tako, da jo delimo z uporabljenim sistemsko napetostjo.

**SCHUKAT**  
electronic

Vergleichsliste / Cross Reference List

**Abkündigung von Panasonic Blei-Akkus /**  
Discontinuation of Panasonic lead acid batteries

Damit Sie die technischen Angaben schnell und einfach miteinander vergleichen und prüfen können, haben wir das Material für Sie verlinkt.  
By clicking on the material number you will be directly forwarded to the corresponding product group.

Abgekündigtes Material / Alternative Material / Discontinued Material / Replacement	Hersteller Manufacturer	WG PG	Einsatz Application	Hersteller-Bezeichnung Manufacturer part no.	Terminal
LCR1.3-6	Panasonic	S2711	Standby	LC-R061R3P	Faston 187
NP1.2-6	Yuasa	S2713	Standby	NP1.2-6	Faston 187
WP1.2-6	KungLong	S2715		WP1.2-6	Faston 187
LCR3.4-6	Panasonic	S2711	Standby	LC-R063R4P	Faston 187
NP3-6	Yuasa	S2713	Standby	NP3-6	Faston 187
XCEXP3.26	XCell	S2717		XCEXP3.26	Faston 187
LCR4.5-6	Panasonic	S2711	Standby	LC-R064R5P	Faston 187
NP4-6	Yuasa	S2713	Standby	NP4-6	Faston 187
WP4.5-6	KungLong	S2715		WP4.5-6	Faston 187
XCEXP56	XCell	S2717		XCEXP56	Faston 187
LCR7.2-6	Panasonic	S2711	Standby	LC-R067R2P	Faston 187
NP7-6	Yuasa	S2713	Standby	NP7-6	Faston 187
WP7-6	KungLong	S2715		WP7-6	Faston 187
XCEXP76	XCell	S2717		XCEXP76	Faston 187

Tabela 3: izrez iz tabele



Primer: Električno orodje ima podatke 12 V/120 W. Za izračun obremenitve akumulatorja:  $120 : 12 = 10$  A. Izbrani akumulator mora zdržati to obremenitev za predviden čas delovanja.

- *Nasvet: Izbira akumulatorja s pomočjo konfiguratorja*

Na podlagi številnih informacij lahko s pomočjo spletnega konfiguratorja[1] GS YUASA preprosto določite pravi industrijski akumulator. Konfigurator omogoča neposreden izračun za iskanje ustreznega akumulatorja za določeno delo in posreden izračun za ugotavljanje avtonomije določenega akumulatorja glede na njegovo obremenitev. Obremenitev je mogoče določiti tudi za posebne uporabe, če se obremenitev in avtonomija spreminjata in prihaja do kratkotrajnih visokih bremen.

- *Življenjska doba in namen uporabe*  
Življenjska doba svinčenega akumulatorja je odvisna od njegove uporabe v stanju pripravljenosti in cikličnega delovanja.



V stanju pripravljenosti življenjsko dobo narekuje razvrstitev akumulatorja v razrede Eurobat, npr. razred Eurobat 3–5 let, 6–9 let ali 10–12 let. Življenjska doba je krajša, če je akumulator na primer izpostavljen višjim temperaturam, kot je določeno, ali če je napačno polnjen. Običajno doseže svojo življenjsko dobo pri 80-odstotni nazivni zmogljivosti.

Pri cikličnem delovanju proizvajalec določi, koliko ciklov je mogoče doseči pri določeni globini praznjenja. Večja kot je globina praznjenja, manjše je število polnilnih ciklov do konca življenjske dobe akumulatorja. Globina praznjenja je podana kot odstotek zahtevane zmogljivosti na delovni cikel. Z drugimi besedami: ko akumulator doseže določeno število ciklov, je njegove življenjske dobe konec. Pri intenzivni uporabi se to lahko zgodi že po nekaj mesecih. Pogoja sta pravilno shranjevanje in uporaba.

## Pri podjetju Schukat

Alternativa, ki jo Schukat electronic ponuja strankam na-

mesto ukinjenih izdelkov podjetja Panasonic, so odlični izdelki podjetja GS YUASA[2], enega največjih svetovnih proizvajalcev svinčenih akumulatorjev in litij-ionskih baterij. Naša ponudba zajema industrijske akumulatorje za vse vrste uporabe, od preprostih do zelo občutljivih naprav, ki zajemajo običajne komercialne akumulatorje (3–5 let), akumulatorje za splošno uporabo (6–9 let), akumulatorje z dolgo življenjsko dobo (10–12 let) in akumulatorje, posebej zasnovane za ciklično uporabo. GS YUASA nadzira vse občutljive komponente, ki se uporabljajo v proizvodnji, in z visoko vertikalno integracijo zagotavlja standardizirano visoko kakovost vsakega proizvedenega akumulatorja.

V tej tabeli[3] smo pripravili pregled možnih nadomestnih akumulatorjev:

- [https://www.schukat.com/schukat/pdf.nsf/4C4BC333D-B4C0CC9C12586960030A229/\\$file/Panasonic\\_Abkuendigungsliste\\_03-2021.pdf](https://www.schukat.com/schukat/pdf.nsf/4C4BC333D-B4C0CC9C12586960030A229/$file/Panasonic_Abkuendigungsliste_03-2021.pdf)

### Viri:

- 1: <https://www.yuasa.de/informationen/industrial-applications/grosenbatter/>
- 2: [https://www.schukat.com/schukat/schukat\\_cms\\_en.nsf/index/CMS86B31FA4428E0E5D-C1257362002D2804?OpenDocument](https://www.schukat.com/schukat/schukat_cms_en.nsf/index/CMS86B31FA4428E0E5D-C1257362002D2804?OpenDocument)
- 3: [https://www.schukat.com/schukat/pdf.nsf/4C4BC333D-B4C0CC9C12586960030A229/\\$file/Panasonic\\_Abkuendigungsliste\\_03-2021.pdf](https://www.schukat.com/schukat/pdf.nsf/4C4BC333D-B4C0CC9C12586960030A229/$file/Panasonic_Abkuendigungsliste_03-2021.pdf)



### Povzeto po:

- [https://www.schukat.com/schukat/schukat\\_cms\\_en.nsf/index/CMSD574B86F250FE024C125868000461A2F?OpenDocument&pk\\_campaign=nl-se-2021-03-19&pk\\_kwd=Case%20Study](https://www.schukat.com/schukat/schukat_cms_en.nsf/index/CMSD574B86F250FE024C125868000461A2F?OpenDocument&pk_campaign=nl-se-2021-03-19&pk_kwd=Case%20Study)

<https://www.schukat.com>

## DISPLAY NOKIA LCD 84 x 48

## OLED 1.3" IIC I2C SERIJSKI 128 x 64

**WWW.SVET-EL.SI**

**KODE: 1ELD0032, 1ELD0212**

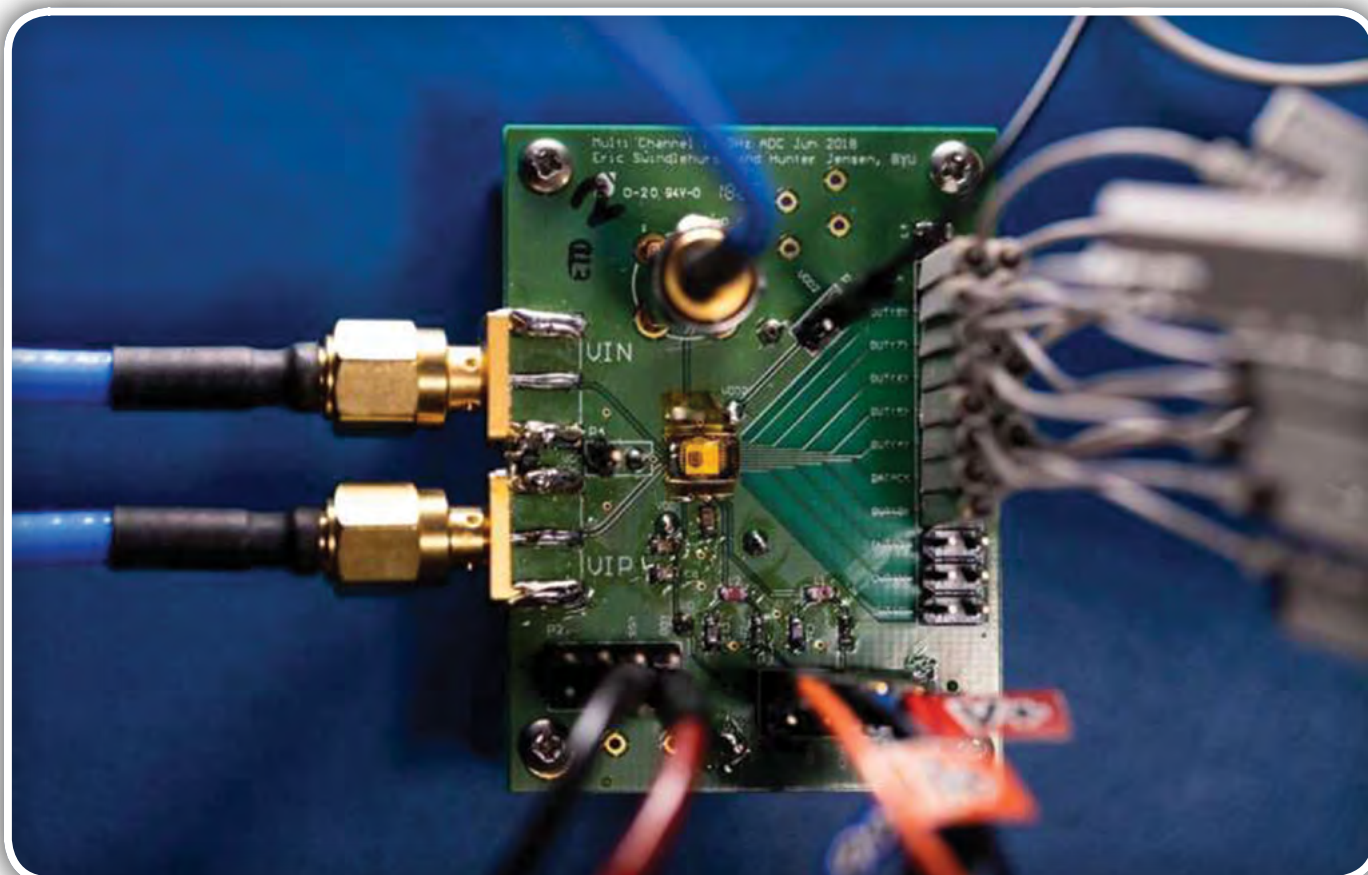


# Raziskovalci so ustvarili energetsko najučinkovitejši hitri ADC čip

Science X

Avtor: Brigham Young University

*Da bi zadostili naraščajočemu povpraševanju po bliskovito hitri mobilni tehnologiji, vsako leto tehnološki velikani ustvarijo hitrejšje in zmogljivejše naprave, ki lahko delujejo dalj časa z baterijskim napajanjem, kot prejšnji modeli.*



**Analogno-digitalni pretvornik. Avtor fotografije: BYU**

Glavni razlog, da lahko podjetja, kot sta Apple in Samsung, to iz leta v leto čudežno izvedejo je ta, da inženirji in raziskovalci po vsem svetu načrtujejo vedno bolj energetsko učinkovite čipe, ki še vedno zagotavljajo visoke hitrosti.

V ta namen so raziskovalci, ki jih je vodila skupina z univerze Brigham Young, zgradili najboljši energetsko učinkovit hitri analogno-digitalni pretvornik (ADC) na svetu. ADC je majhen del tehnologije, ki je prisoten v skoraj vseh elektronskih delih opreme, ki analogne signale (kot je to npr. radijski val) pretvori v digitalni signal.

ADC, ki ga je ustvaril profesor na BYU, dr. Wood Chiang,

doktorski študent Eric Swindlehurst in njihovi kolegi, porabi le 21 milivatov moči pri 10 GHz za ultraširokopasovne brezžične komunikacije; sedanji ADC-ji porabijo na stotine milivatov ali celo vatov moči pri primerljivih hitrostih. ADC, ki ga je izdelal BYU, ima trenutno najboljšo energetsko učinkovitost in to s precejšnjo prednostjo pred do sedaj najučinkovitejšimi čipi.

"Številne raziskovalne skupine po vsem svetu se osredotočajo na ADC-je; to je kot tekmovanje, kdo lahko izdela najhitrejši in najučinkovitejši avtomobil na svetu," je dejal Chiang. "Zelo težko je premagati vse ostale po svetu, vendar nam je uspelo prav to."

Osrednji izziv, s katerim se srečujejo raziskovalci, kot je Chiang je, da vedno večje pasovne širine znotraj naprav komunikacijskega sistema pomenijo vezja, ki porabijo več energije. Chiang, Swindlehurst in njihova ekipa so se lotili reševanja problema tako, da so se osredotočili na ključni del ADC vezja, imenovan DAC, ki je osrednji del in ki pomeni natančno nasprotje ADC: DAC pomeni digitalno-analogni pretvornik.

### Za tehnološko podkovanu publiko je spodaj široka razlaga tega, kar je storila raziskovalna skupina

Ekipaje naredila hitrejši in učinkovitejši pretvornik z zmanjšanjem obremenitve iz DAC-ja tako, da so skalirali tako paralelno ploščo kondenzatorja kot tudi razmik med ploščama kondenzatorja. Enotne kondenzatorje so tudi združili drugače kot na običajni način, združevali so enotne kondenzatorje, ki so del istega bita v DAC, namesto da bi jih vmes prepletali. S tem smo trikrat zmanjšali parazitivno kapacitivnost spodnje plošče, kar je znatno zmanjšalo porabo energije in hkrati povečalo hitrost.

Nazadnje so uporabili zagonsko stikalo, vendar so ga izboljšali tako, da je postavil dvojno pot, kjer je mogoče vsako pot neodvisno optimizirati. Ta metoda poveča hitrost, vendar ne zahteva dodatne strojne opreme, ker vključuje razdelitev obstoječih naprav in spreminjanje poti v vezju.

Projekt, ki ga je sponzoriralo tajvansko ministrstvo za znanost in konzorcij tehnoloških podjetij, je trajal štiri leta - tri leta so načrtovali čip, eno leto so ga preizkušali. Skupina, v katero so bili vključeni sodelavci z univerze National Yang Ming Chiao Tung na Tajvanu in Univerze v Kaliforniji v Los Angelesu, je v začetku letošnjega leta objavila podrobnosti o projektu v IEEE Journal of Solid-State Circuits, glavni avtor pa je bil Swindlehurst [1].

"Pri BYU smo dokazali tehnologijo čipa in ni dvoma o učinkovitosti te tehnike," je dejal Chiang. "To delo resnično potisne ovojnico tega, kar je mogoče, in bo potrošnikom prineslo veliko udobja. Vaš Wi-Fi bo zaradi te tehnologije še boljši, hitreje boste prenašali datoteke in si lahko ogledali 4K ali celo 8K z malo ali nič zaostanka, hkrati pa ohranili življenjsko dobo baterije."

Chiang je dejal, da druge verjetne aplikacije za ADC vključujejo avtonomna vozila (ki uporabljajo veliko brezžične pasovne širine), pametne nosljive naprave, kot so očala ali pametne kontaktne leče, in celo naprave, kot so implantanti.

Naprava je zahtevala izpopolnjeno zasnovo in preverjanje, da bi zagotovila pravilno delovanje vseh tisoč povezav v pretvorniku. Popravek ene same napake pri oblikovanju bi trajal vsaj še eno leto, zato je bila ekipa navdušena, da ni naredila napak.



*Dr. Shih-hua Wood Chiang, profesor elektrotehnike in računalništva na univerzi Brigham Young. Avtor fotografije: BYU*

"To je kot gradnja majhnega mesta. Pri tem projektu gre za veliko podrobnosti," je dejal Chiang. "Študentska ekipa je čudovito opravila svoje delo - vsi deli so se popolnoma ujemali, da so uresničili ta inženirski podvig. Imam srečo, da sem sodeloval s tako nadarjenimi študenti na BYU."

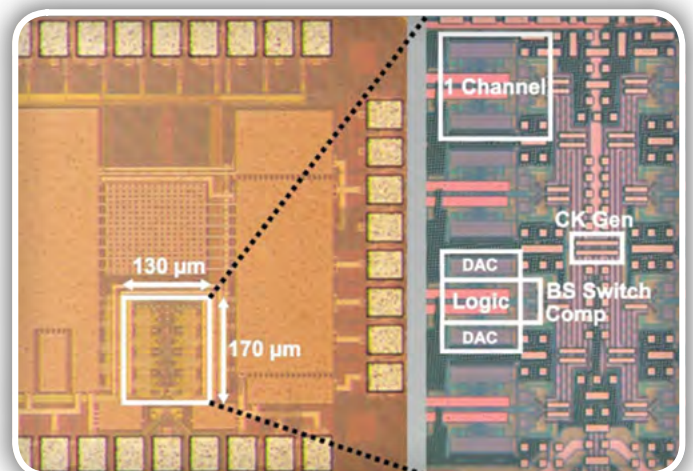
#### Vir:

- 1: Eric Swindlehurst et al, An 8-bit 10-GHz 21-mW Time-Interleaved SAR ADC With Grouped DAC Capacitors and Dual-Path Bootstrapped Switch, IEEE Journal of Solid-State Circuits (2021). DOI: 10.1109/JSSC.2021.3057372

#### Povzeto po:

- <https://techxplore.com/news/2021-05-world-power-efficient-high-speed-adc-microchip.html>

<https://techxplore.com>

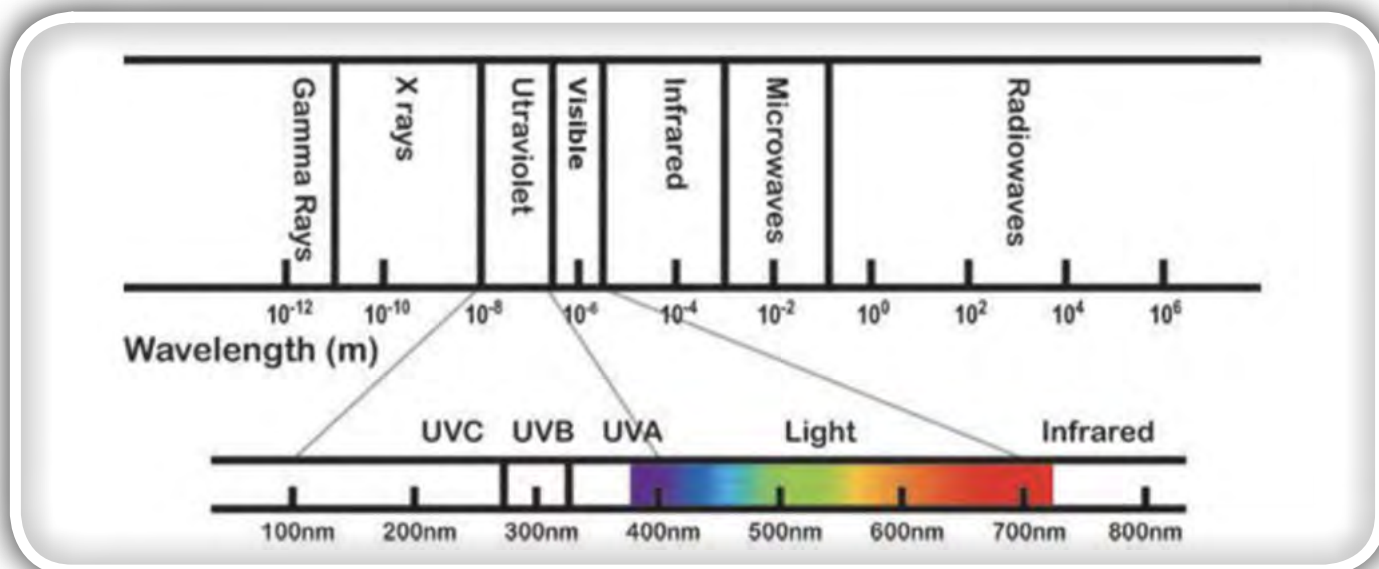


*Mikroskopska slika čipa analogno-digitalnega pretvornika, ki so ga ustvarili raziskovalci z univerze Brigham Young. Avtor fotografije: Shih-hua Wood Chiang*

# Nadzor patogenov z UV-C LED-icami

Avtor: Rolf Horn  
Digi-Key Electronics

*Inženirji so bili spodbujeni, da razmislijo o uporabi ultravijolične (UV) svetlobe za izdelke za razkuževanje in sterilizacijo, ki »deaktivirajo« SARS-CoV-2 (virus, ki povzroča COVID-19). Običajni izdelki za razkuževanje in sterilizacijo uporabljajo nizekotlačne svetilke z živosrebrno paro, ki oddajajo UV-A spekter, potreben za odstranjevanje patogenov.*



*Slika 1: Na elektromagnetnem spektru sevanje UV spada ravno pod vidno svetlobo pri valovni dolžini med 100 in 400 nm in je razdeljeno na tri vrste, A, B in C. (Vir slike: Vlada Kanade)*

Vendar pa LED-ice ponujajo številne prednosti, vključno z večjo učinkovitostjo, večjo oddano svetlobo, daljšo življenjsko dobo in nižjimi stroški, ki nastanejo med življenjsko dobo.

UV-A LED-ice je mogoče izdelati relativno enostavno – s prilagoditvijo LED-ic z modro svetlobo na razpon spektra, ki je blizu vidnega, – in so na voljo že več kot desetletje za uporabo na področju industrijskega sušenja. Vendar pa deaktivacija SARS-CoV-2 zahteva bolj energičen UV-C spekter.

V zadnjih nekaj letih so postale na voljo komercialne UV-C LED-ice. Vendar jih ni mogoče preprosto zamenjati z običajnimi svetilkami z živosrebrno paro, saj uvajajo številne nove izzive glede načrtovanja. Izdelki za razkuževanje in higienizacijo na primer zahtevajo visok in strogo nadzorovan sevalni tok, da je mogoče zagotoviti pravilno delovanje. Poleg tega UV-C LED-ice niso nevarne samo za bakterije in viruse, ampak so nevarne tudi za ljudi, zato je ustrezna zaščita pomemben del postopka načrtovanja.

Ta članek na kratko opiše vrste UV sevanja in njegovo vlogo pri higienizaciji in nadzoru patogenov. Nato pa opiše prednosti uporabe LED-ic kot vir sevanja ter tudi s tem povezane izzive pri načrtovanju. Članek nato predstavi rešitve za te izzive na

primeru UV LED-ic podjetij Luminus Devices, Vishay Semiconductor Opto Division in SETi/Seoul Viosys.

## Zakaj za nadzor patogenov uporabiti UV svetlobo?

UV sevanje spada v elektromagnetni spekter med vidno svetlobo in rentgenskimi žarki ter obsega fotone kratke valovne dolžine (400 do 100 nanometrov (nm)) z ustreznimi visokimi energijami. Valovna dolžina sevanja je obratno sorazmerna s frekvenco: krajša ko je valovna dolžina, višja je frekvenca (slika 1).

Na osnovi interakcije UV svetlobe z biološkimi materiali so bile določene tri vrste UV svetlobe: UV-A (400 do 315 nm); UV-B (314 do 280 nm); in UV-C (279 do 100 nm). Sonce ustvarja vse tri oblike, vendar je izpostavljenost ljudi v glavnem omejena na UV-A, ker se skozi ozonski plašč Zemlje prebije zelo malo UV-B in nič UV-C svetlobe. Vendar pa obstaja več načinov umetnega ustvarjanja vseh treh vrst UV svetlobe, na primer svetilke z živosrebrno paro in pred nedavnim UV LED-ice.

UV-C sevanje je bila priznana tehnologija za izkoreninjanje



**Slika 2:** Pred prihodom UV-C LED-ic so bile najbolj praktičen vir UV svetlobe nizkotlačne svetilke z živosrebrno paro. (Vir slike: JKL Components)

patogenov že pred trenutno pandemijo. Običajni izdelki kot vir UV svetlobe uporabljajo svetilke z živim srebrom. Nedavne raziskave učinkovitosti UV-C svetlobe za SARS-CoV-2 so pokazale, da UV svetlobo z valovno dolžino približno 250 do 280 nm selektivno absorbira RNA virus, skupni odmerek 17 džulov na kvadratni meter (J/m<sup>2</sup>) pa deaktivira 99,9 odstotkov patogenov. Vedite, da ta stopnja sevanja ne ubije virusa popolnoma, vendar pa ovira RNA dovolj, da prepreči, da bi se razmnoževal, zaradi česar postane neškodljiv, ob tem pa omeji tudi izpostavljenost ljudi UV svetlobi.

## Viri UV svetlobe

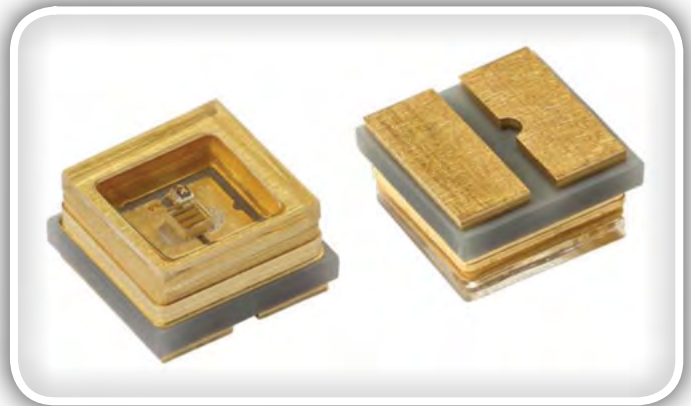
Tradicionalni vir UV svetlobe so svetilke z živosrebrno paro. Gre za plinsko pripravo, pri kateri svetlobo oddaja plazma uplinjene kovine, ko jo vzbudi razelektritev. Nekateri izdelki uporabljajo oblačno cevko iz taljenega kremenca, ki omogoča največjo raven oddajanja pri valovni dolžini UV-C 185 nm (poleg od-

dajanja UV-A in UV-B) za namene razkuževanja in sterilizacije (slika 2).

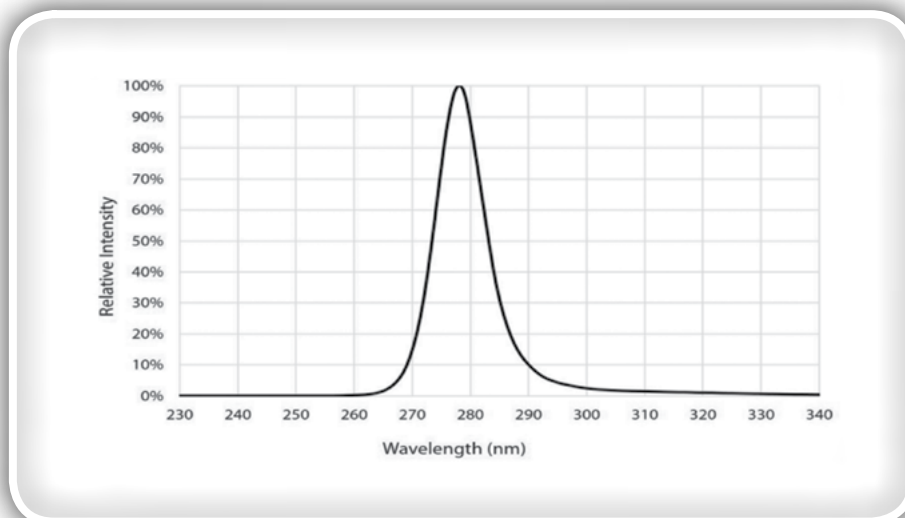
Svetilke z živosrebrno paro so relativno učinkovite in dolgotrajne v primerjavi z običajnimi viri z žarilno nitko, vendar pa je njihova glavna slabost sproščanje strupenega živega srebra v okolje, če se žarnica zdrobi med običajno uporabo ali pri odstranjevanju.

UV-C LED-ice pa na področju razkuževanja in sterilizacije omogočajo enake ključne prednosti kot LED-ice pri običajnem razsvetljevanju, vključno z učinkovitostjo, višjo oddano svetlobo, daljšo življenjsko dobo in nižjimi stroški, ki nastanejo med življenjsko dobo. Čeprav je še vedno treba paziti pri odstranjevanju LED-ic, ne predstavljajo enake nevarnosti za okolje kot svetlobni viri na osnovi živega srebra.

UV-C LED-ice temeljijo na tehnologiji modih LED-ic. Te uporabljajo substrate aluminijevega galijevega nitrida (AlGaIn) kot platformo za oddajnike s širšim zapornim pasom (kraj-



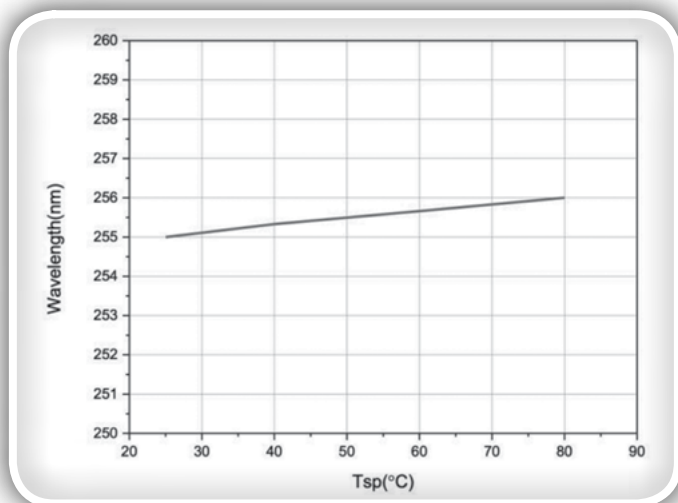
**Slika 4:** UV-C LED z 277 nm podjetja Vishay je v keramičnem ohišju in ima okno iz kremenčevega stekla za daljšo življenjsko dobo. Lučka LED meri 3,45 x 3,45 x 1,78 mm. (Vir slike: Vishay)



**Slika 3:** LED-ice UV-C ponujajo oddajanje, katerih največje ravni so v razponu od 100 do 280 nm. Za deaktivacijo SARS-CoV-2 je idealna največja valovna dolžina med 250 do 280 nm. Luminus Devices XBT-3535-UV-A130-CC275-01 UV-C LED, ki je prikazana tukaj, ima največjo raven pri 277 nm. (Vir slike: Luminus Devices)

šo valovno dolžino) kot rdeče LED-ice. Vendar so UV-C LED-ice manj učinkovite in dražje kot modre LED-ice, predvsem, ker galijev nitrid ni prosojen za UV-C sevanje. Posledično relativno malo oddanih fotonov UV-C dejansko uide iz čipa.

Nedavni dosežki, vključno z odbojno metalizacijo P-spoja, vzorčasti substrati, teksturirane površine, učinki mikrodolbin in volumetrično oblikovanje, se sedaj uporabljajo za povečanje učinkovitosti UV LED-ic, komercialni izdelki pa zdaj omogočajo ustrezno delovanje. Vendar bi se inženirji morali zavedati, da naprave zagotavljajo nižje stopnje učinkovitosti kot LED-ice na osnovi vidne svetlobe, dodatna zapletenost ekstrakcije fotonov pa povzroča



**Slika 5: CUD5GF1B UV-C LED podjetja SETi/Seoul Viosys ima odklon samo 1 nm pri 255 nm in pri temperaturnem razponu čipa 50 °C. (Vir slike: SETi/Seoul Viosys)**

višje stroške. Podatkovni listi proizvajalcev običajno ne vsebujejo številskih podatkov o učinkovitosti in se namesto tega osredotočajo na tok (v milivatih (mW) določenega gonilnega toka in napetosti.

## Primer rešitve UV-C LED-ic

Na trgu je več UV-C LED-ic, ki so zasnovane posebej za oddajanje sevanja na optimalni valovni dolžini za deaktivacijo patogenov. Na primer podjetje Luminus Devices ponuja XBT-3535-UV-A130-CC275-01, ki je UV-C LED-ica, ki oddaja pri 277 nm. LED-ica zagotavlja med 30 in 55 mW moči (odvisno od izbire razvrstitve po parametrih (»bin«) pri 350 miliamperih (mA)/ in pri 5 do 7,5V napetosti (slika 3).

Alternativa XBT-3535-UV-A130-CC275-01 LED-ici podjetja Luminus Devices je VLMU35CB20-275-120, UV-C LED-ica z 277 nm, ki jo ponuja podjetje Vishay Semiconductor. Ta UV-C LED-ica je osnovana na keramiki z oknom iz kremenčevega stekla, ki pomaga podaljšati njeno življenjsko dobo. Moč sevanja LED-ice je 14 mW pri 150 mA/6,5-voltnim gonilnim tokom/napetostjo (slika 4).

Podjetje SETi/Seoul Viosys pa ponuja CUD5GF1B. LED-ica sveti z 255 nm in se nahaja v keramičnem ohišju za površinsko namestitvev ter ima nizko toplotno upornost. Moč sevanja lučke je 7 mW pri 200 mA/7,5-voltnim gonilnim tokom/napetostjo. LED-ica ima minimalen odklon sevanja valovne dolžine z vedno večjo temperaturo: odklon je samo 1 nm pri 255 nm in pri temperaturnem razponu čipa 50 °C. To je pomemben dejavnik pri LED-ici, ki zahteva strogo nadzorovano sevanje, da je mogoče zagotoviti dobro deaktivacijo virusov (slika 5).

## Načrtovanje UV-C LED-ic

Načrtovanje LED-ic ima svoj nabor izzivov, zato poskus prilagoditve izdelka, ki je bil zasnovan na podlagi svetlobnega vira z živosrebrno paro, ne bi bil praktičen za UV-C LED-ice. Zato pri zamenjavi svetilk z živosrebrno paro z UV-C LED-icami na področju razkuževanja ali sterilizacije ni mogoče preprosto nadomestiti enega svetlobnega vira z drugim.

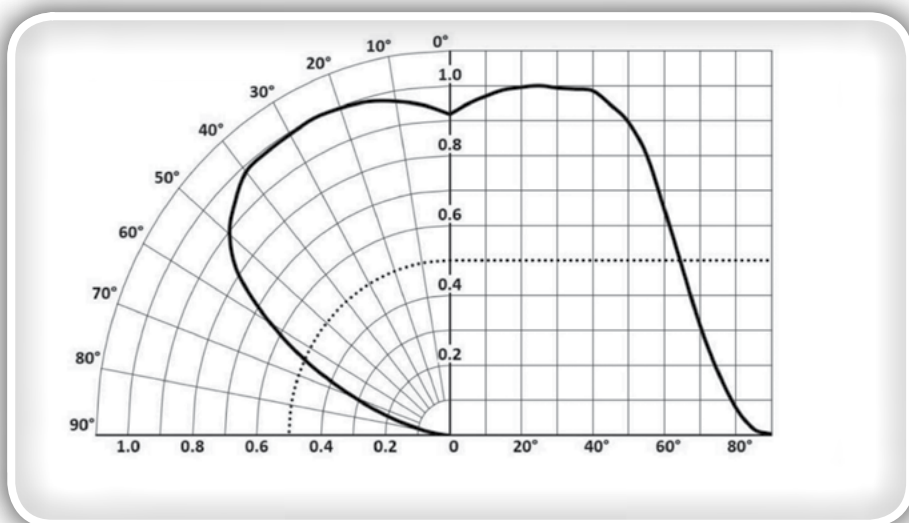
Ko izbirate UV-C LED-ice za razkuževanje ali sterilizacijo, je treba proces zasnove začeti tako, da se določi območje, na katerem bo uporabljena UV-C svetloba, ter sevalni tok (»obsevanje«) v vatih na kvadratni meter (vati/m<sup>2</sup>), ki je potreben za deaktivacijo ciljnih patogenov na obsevanem območju.

Na primer pri razkuževanju zraka iz prezračevalnega jaška. Na podlagi zgoraj predstavljene zahteve 17 J/m<sup>2</sup> bi za deaktivacijo vseh virusov v toku zraka v približno petih sekundah na površini 0,25 m<sup>2</sup> bil potreben sistem, ki omogoča obsevanje približno 4 vate/m<sup>2</sup> (za skupno moč 1 vata).

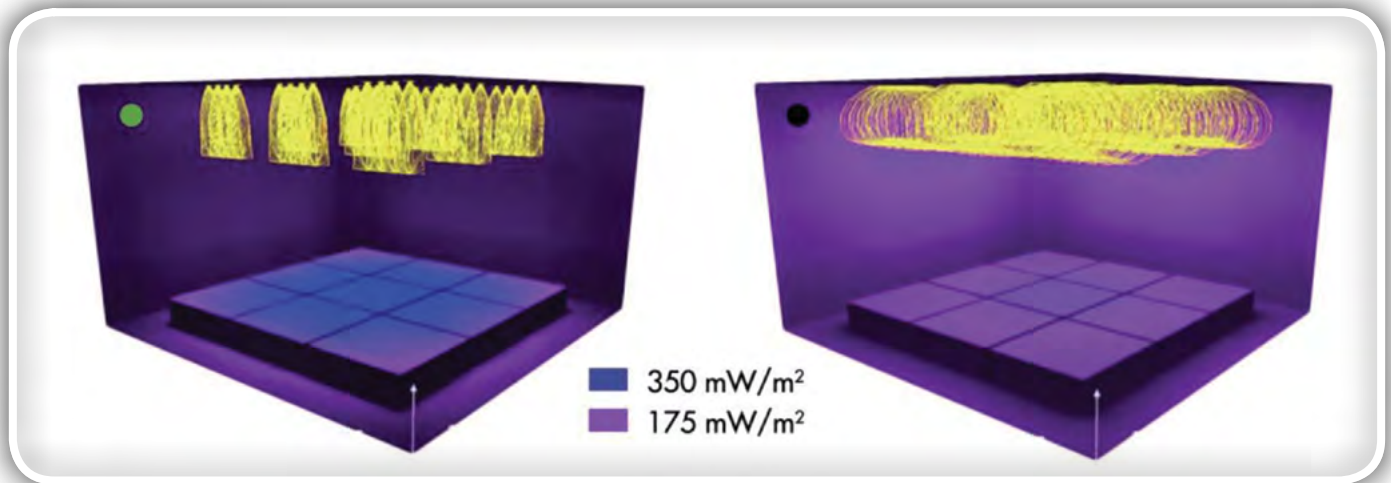
Po izračunu zelenega obsevanja lahko inženir načrtuje, kako bo to zagotovljeno. Splošno gledano je treba upoštevati sevalni tok vsake LED-ice in s to številko deliti skupno obsevanje. Rezultat tega je število lučk LED, ki so potrebne za vsak izdelek na ožjem seznamu sestavnih delov.

Pri tem grobem izračunu gre za poenostavitev, saj ne upošteva, kako je ta tok porazdeljen. To, kako sevalni tok vpliva na ciljno površino, določata dva dejavnika. Prvi je razdalja od LED-ice do predmeta, drugi pa »kot svetlobnega snopa« LED-ice.

Če se lučka LED smatra kot točkovni vir, se njeno obsevanje zmanjšuje v skladu z obratnim kvadratnim zakonom. Če je na primer pri 1 cm razdalje od točke oddajanja obsevanje 10 mW na kvadratni centimeter (mW/cm<sup>2</sup>), potem 10 cm stran obsevanje pade na 0,1 mW/cm<sup>2</sup>. Vendar ta izračun predvideva, da LED-ica sveti enakomerno v vse smeri, kar pa ni res. Namesto tega imajo LED-ice primarno optiko, ki usmerja sevalni tok v



**Slika 6: Pri vzorcu obsevanja LED-ice UV-C XBT-3535-UV-A130-CC275-01 podjetja Luminus Devices črtkana črta označuje, kje obsevanje na najvišji ravni dosega 50 odstotkov: to določa kot svetlobnega snopa (65 + 65 stopinj). (Vir slike: Luminus Devices)**



**Slika 7: Kolimacija oddajanja UV-C s sekundarno optiko (levo) poveča obsevanje ciljnega območja v primerjavi s sistemom z istim sevanjem LED-ice, ki pa uporablja primarno optiko (brez kolimirane svetlobe). (Vir slike: LEDIL)**

določeno smer. Proizvajalci običajno navedejo kot svetlobnega snopa LED-ice na podatkovnem listu, definiran pa je kot kot, pri katerem je na katerikoli strani izvora doseženih 50 odstotkov obsevanja na najvišji ravni.

Zgoraj opisane UV-C LED-ice podjetij Luminus Devices, Vishay in SETi/Seoul Viosys imajo kote svetlobnega snopa 130, 120 oziroma 125 stopinj. Slika 6 prikazuje vzorec obsevanja LED-ice podjetja Luminus Devices XBT-3535-UV-A130-CC275-01. Na shemi črtkana črta označuje, kje obsevanje na najvišji ravni dosega 50 odstotkov. To določa kot svetlobnega snopa (65 + 65 stopinj).

Ključna značilnost, ki določa kot svetlobnega snopa je razmerje med LED čipom in velikostjo primarne optike. Zato izdelava ožjega snopa zahteva manjši oddajnik ali zmogljivejši optiko (ali ustrezno ravnotežje med obema). Kompromis pri načrtovanju je, da manjši čip ustvarja nižje emisije, medtem ko je zmogljivejšo optiko težje izdelati, zaradi česar so cene višje, nadzor kota svetlobnega snopa pa je omejen.

Komercialnim LED-icam je običajno priložena tovarniško nameščena primarna optika, zato odločitev glede razmerja med čipom in optiko ni v rokah inženirja načrtovalca. Zato je pomembno pregledati kot svetlobnega snopa izdelkov na ožjem seznamu, ker imata lahko identični izhodni napravi različnih dobaviteljev zelo različne vzorce oddajanja.

Medtem ko sta razdalja LED-ice od obsevanega predmeta in kot svetlobnega snopa dobro začetno vodilo za vzorec obsevanja, obstajajo viri razlikovanja. Na primer svetlobni vzorci LED-ic istega proizvajalca s teoretično identičnim sevanjem in koti svetlobnih snopov se lahko odvisno od zasnove primarne optike bistveno razlikujejo glede na intenzivnost in kakovost. Edini način, da se prepričate glede dejanskega vzorca obsevanja je, da preizkusite sevanje izdelkov na ožjem seznamu.

Na podlagi sevanja LED-ice, razdalje med LED-ico in površino, na kateri bodo artikli, ki jih je treba razkužiti, kota svetlobnega snopa in dejanskih podatkov o oddajanju svetlobe lahko inženir izračuna, koliko LED-ic bo potrebnih in kako jih je treba

namestiti, da je mogoče ustvariti želeno obsevanje aktivnega območja.

Zadnja izbira pri LED-icah je zeleni kompromis med stroškom, učinkovitostjo in zapletenostjo. UV-C LED-ice so drage, zato je en od pristopov lahko uporaba manjšega števila visoko zmogljivih LED-ic namesto večjega števila manj zmogljivih LED-ic. Prednost tega scenarija je, da so lahko stroški sestavnih delov LED-ic nižji, zapletenost gonilnikov pa je manjša. Slabost pa je, da bodo zaradi njihove nizke učinkovitosti bolj zmogljive LED-ice zahtevale boljše toplotno upravljanje, da je mogoče ohraniti dolgo življenjsko dobo (visoke temperature dramatično znižajo življenjsko dobo LED-ic). Zaradi tega so potrebna hladilna telesa, ki nekoliko ublažijo pričakovane prihranke.

## Načrtovanje sekundarne optike

Alternativa dodajanju LED-ic in/ali povečevanju zmogljivosti LED-ic je uporaba sekundarne optike. Te naprave ustvarjajo kolimirano svetlobo (proizvajajo vzporedne svetlobne snope enake intenzivnosti) sevanja UV-C iz LED-ice, ki učinkovito odstrani vse učinke kota svetlobnega snopa. V teoriji bi pri uporabi kolimacije obsevanje na ciljni površini moralo biti poenoteno (neodvisno od razporeditve LED-ic), dano stopnjo obsevanja pa bi lahko dosegli z manjšim številom LED-ic, ker bi bilo manj neželenega sevanja. Namesto tega je višje obsevanje mogoče doseči z istim številom LED-ic kot z zasnovo brez sekundarne optike (350 mW/m<sup>2</sup> v primerjavi s 175 mW/m<sup>2</sup>) (slika 7).

V praksi obsevanje s sekundarno optiko ni enakomerno, ker je kolimacija tudi najboljših izdelkov nepopolna zaradi difrakcije (čeprav velja, da manjša kot je LED-ica, boljša je kolimacija). Prav tako so pogosto potrebni dolgotrajni poskusi pri pozicioniranju LED-ic in sekundarne optike, da je mogoče zagotoviti zahtevano obsevanje z manjšim številom LED-ic v primerjavi s podobno zasnovo brez sekundarne optike.

Upoštevajte, da je sekundarna optika za UV-C LED-ice izdelana iz materialov, ki se razlikujejo od tistih, ki jih uporabljajo LED-ice z vidno svetlobo. Pogoste rešitve so brizgano vlti silikon-

ski deli, ki dušijo valovne dolžine UV-C svetlobe in omogočajo izdelavo zapletenih zasnov leč. Za kolimacijo UV-C je mogoče uporabiti tudi odbojnik iz aluminija. Kompromis pri uporabi sekundarne optike je med prihranki zaradi uporabe manjšega števila LED-ic in večjo zapletenostjo načrtovanja kolimatorja.

## Varnostni ukrepi

Medtem ko se UV sevanje ne more prebiti daleč skozi človeško kožo, se vendarle absorbira in lahko povzroči kratkotrajne poškodbe, kot so opekline in dolgotrajne poškodbe, kot so gube in prezgodnje staranje kože. V izrednih primerih lahko izpostavljenost UV svetlobi povzroči kožnega raka. UV svetloba je še posebej nevarna za oči, saj lahko poškoduje tako retino kot roženico. Pri interakciji z zrakom lahko UV sevanje proizvede tudi ozon, ki se pri velikih koncentracijah smatra kot tveganje za zdravje.

Zaradi teh nevarnosti je dobra praksa, da se izdelke načrtuje tako, da omejujejo izpostavljenost UV-C svetlobi in da uporabnikom preprečujejo, da bi lahko gledali neposredno v LED-ico. Ker je UV-C svetloba nevidna, je prav tako dobra praksa, da izbere te LED-ice, ki namenoma vključujejo nekoliko vidnega modrega spektra. Tako postane očitno, kdaj so UV-C LED-ice vklopljene.

Še posebej za SARS-CoV-2 vključevanje sterilizacijskih enot v enote za ogrevanje, hlajenje in prezračevanje (HVAC) omogoča hitro deaktivacijo zračno prenosljivega virusa, istočasno pa UV-C svetloba ne ovira ljudi. Potekajo tudi raziskave LED-ic, ki jih je

mogoče namestiti na svetilna telesa za obsevanje površin z zelo nizkimi stopnjami UV-C sevanja, ki so neškodljive za ljudi, vendar skozi daljša obdobja zagotavljajo zadostno obsevanje, ki deaktivira vse viruse na površinah, kot so mize, stoli, tla in kljuge.

## Zaključek

V izdelkih za razkuževanje in sterilizacijo je UV-C sevanje mogoče uporabiti za deaktivacijo patogenov, kot je SARS-CoV-2. Vendar je pogost umetni vir UV-C sevanja svetilka z živosrebrno paro, kar predstavlja izzive pri odstranjevanju, saj vsebuje težko kovino. UV-C LED-ice ponujajo bolj učinkovito alternativo z daljšo življenjsko dobo, ki olajša težave z odstranjevanjem, komercialno razpoložljivih pa je postalo več UV-C LED-ic, ki zagotavljajo oddajanje na najvišji ravni pri valovnih dolžinah, ki so idealne za deaktivacijo patogenov.

Vendar te LED-ice ne morejo kar preprosto zamenjati drugih rešitev in zahtevajo skrbno načrtovanje, da je mogoče maksimizirati njihove prednosti. Kot je opisano, mora načrtovalec začeti z zeleno stopnjo obsevanja aktivne površine in šele nato izračunati število in razporeditev UV-C LED-ic, potrebnih, da je mogoče doseči to obsevanje. Načrtovalec se mora tudi odločiti, ali naj se zanaša na primarno optiko LED-ic za proizvodnjo enakomernega obsevanja ali pa na uporabo sekundarne optike za kolimacijo UV-C sevanja za optimalni vzorec, ob tem pa mora upoštevati tudi strošek večje zapletenosti.

[www.digikey.com](http://www.digikey.com)

ScienceAdvances

# Visokozmogljiv nosljiv termoelektrični generator

Science and AAAS

*Ima zmogljivostjo samoceljenja, recikliranja in strukturnega preoblikovanja.*

Termoelektrični generatorji (TEG) so odlični kandidati za napajanje nosljive elektronike in »interneta stvari«, ker lahko neposredno pretvarjajo toploto v električno energijo. Predstavili bomo visokozmogljiv nosljiv TEG z izjemno raztegljivostjo, zmogljivostjo samoceljenja, recikliranja in strukturnega preoblikovanja z združitvijo modularnih termoelektričnih čipov, dinamičnega kovalentnega polimerna in ožičenja iz tekočih kovin v mehanski arhitekturni zasnovi »mehkih vtičnih modulov s togo matično ploščo«.

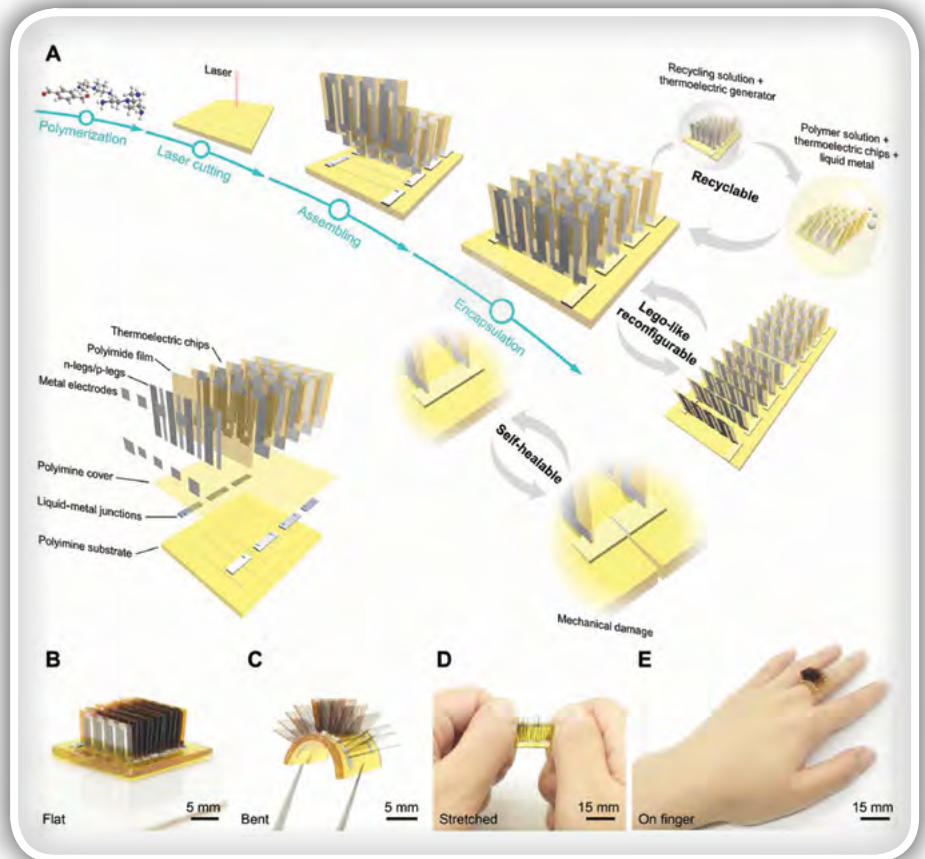
Na področju prožnih TEG-ov smo dosegli rekordno visoko napetost v odprtem tokokrogu  $1 \text{ V/cm}^2$  pri temperaturni razliki  $95 \text{ }^\circ\text{K}$ . Poleg tega ima ta TEG integriran film iz valovno-dolžinsko

selektivnega metamateriala na hladni strani, kar vodi do močnejše in boljše zmogljivosti naprave pri sončnem obsevanju, ki je ključnega pomena za pridobivanje energije za nosljive naprave med aktivnostmi na prostem. Opisane optimalne lastnosti in oblikovni koncepti TEG-ov lahko utrejo pot naslednji generaciji visokozmogljivih, prilagodljivih, nastavljivih, trajnih, ekonomičnih in okolju prijaznih naprav za pridobivanje energije ter nudijo raznolike možnosti uporabe.

Termoelektrični generatorji (TEG) neposredno pretvorijo toploto nizke temperature v električno energijo, zato so zelo obetaven vir energije za nosljivo elektroniko in »internet stvari« (1). Vendar pa so običajni TEG-i togi in krhki (2–6),

zato jih ni mogoče prilagoditi zapletenim geometrijskim lastnostim človeškega telesa ter združljivim materialom. V zadnjem času je razvoj prožnih TEG-ov pritegnil veliko pozornosti, vključno z uporabo termoelektričnih (TE) filmov (7, 8), termoelektričnih Peltierjevih modulov (9, 10), termoelektričnih črnih za tiskanje (11–15), termoelektričnih vlaken (16, 17) in organskih termoelektričnih materialov (18, 19). Kljub temu pa zelo malo raziskav poroča o TEG-ih z dobro raztegljivostjo (7, 17), ki je ključna za zagotovitev ustreznega stika s kompleksnimi geometrijami človeškega telesa za optimalno termoelektrično delovanje (20–28). Elektronika z možnostjo samoceljenja, ki navdih črpa v samocekljenju človeške kože, veliko obeta tudi na področju nosljive elektronike z vidika boljše zanesljivosti in vzdržljivosti (29–34), čeprav tega še ni bilo mogoče prikazati v sistemi TEG.

V tem članku poročamo o prvem TEG sistemu z možnostjo samoceljenja in recikliranja ter izjemno raztegljivostjo in termoelektrično zmogljivostjo. Na področju prožnih TEG-ov smo dosegli rekordno visoko napetost v odprtem tokokrogu 1 V/cm<sup>2</sup> pri temperaturni razliki 95 °K. Poleg tega ta TEG sistem ponuja možnost izjemne strukturne prilagodljivosti, kar uporabnikom omogoča prilagajanje naprave za pridobivanje energije v skladu s termičnimi in mehanskimi pogoji. Te lastnosti so mogoče z integracijo visokozmogljivih modularnih termoelektričnih čipov, dinamičnega kovalentnega duromernega polimina kot substrata in inkapsulacije ter ožičenja iz tekočih kovin z novo mehansko arhitekturno zasnovo »mehkih vtičnih modulov s togo matično ploščo« (SOM-RIP). Na koncu je hladna stran obdelana z valovno-dolžinsko selektivnim metamaterialom, kar izboljša termoelektrično učinkovitost pri sončnem obsevanju, ki je ključnega pomena za pridobivanje energije za nosljive naprave med aktivnostmi na prostem.



Slika 1: Zasnova in izdelava TEG-a.

## Zasnova in izdelava naprave

TEG sestavljajo modularni termoelektrični čipi, ožičenje iz tekočih kovin ter dinamični kovalentni duromerni polimim kot substrat in inkapsulacija za ožičenja iz tekočih kovin (slika 1A). Polimim je mogoče sintetizirati z navzkrižnim povezovanjem treh komercialno dostopnih spojin, tereftalaldehida, 3,3'-diamino-N-metildipropilamina in tris(2-aminoetil)amina (slika S1) (29, 35, 36). Za izdelavo termoelektričnih čipov smo na kapton folijo s pomočjo termalnega izparevanja nanесли tankoslojne halkogenide Bi in Sb, ki so služili kot priključki tipa N in tipa P (slika S2). Velikosti priključkov tipa N in P so bile določene s postopkom optimizacije učinkovitosti pretvorbe moči (opomba S1 in tabela S1). Za izboljšanje kristaliničnosti in zmogljivosti smo termoelektrične filme izpostavili atmosferi Argona za



# REVILJA ZA FLUIDNO TEHNIKO, AVTOMATIZACIJO IN MEHATRONIKO

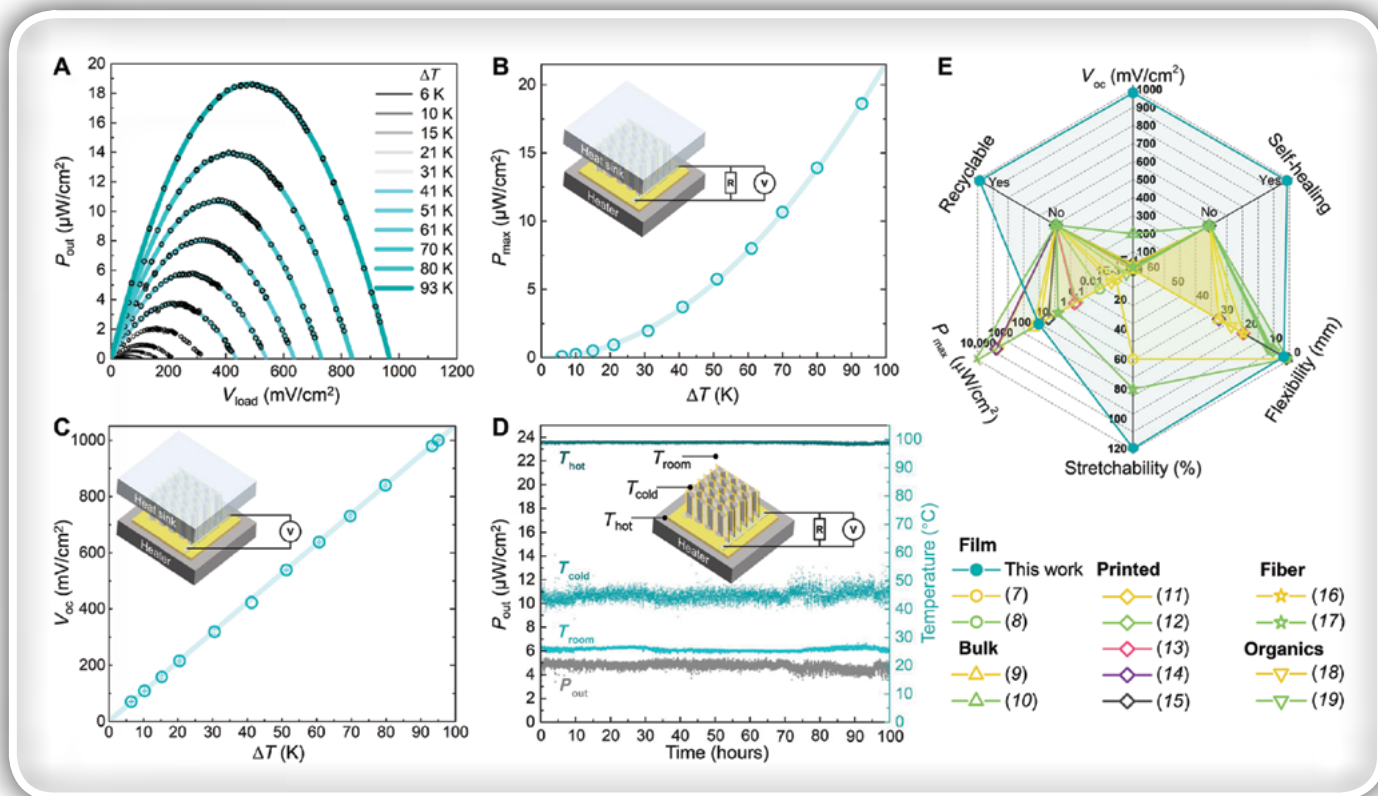
# VENTIL

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  
 Internet: www.revija-ventil.si





Slika 2: Izhod in vzdržljivost TEG-ov.

26 minut pri 320 °C. Nato je sledilo nanašanje elektrod Au-Ge s termalnim izparevanjem za oblikovanje povezave med priključki tipa N in P, s čimer je bila zaključena izdelava termoelektričnih čipov (sliki S2 in S3A). Postopek sestavljanja modularnih termoelektričnih čipov v TEG je shematsko prikazan na sliki 1A. Najprej smo z laserskim rezanjem ustvarili reže v poliiminskem substratu (slika S3B), čemur je sledil sitotisk vzorčastih električnih napeljav iz tekoče kovine (sliki S3C in S4). Nato smo v reže v poliiminskem substratu vstavili modularne termoelektrične čipe in nanесли majhno količino raztopine poliimina [te-

reftalaldehyd + 3,3'-diamino-N-metildipropilamin + tris(2-aminoetil)amin v metanolu], da smo povezali termoelektrične čipe s substratom in inkapsulirali ožičenje iz tekoče kovine. Slika 1A prikazuje razčlenjen pogled zasnove naprave, slika 1B pa optično sliko sestavljene naprave TEG. Več informacij o postopkih izdelave je na voljo v dodatnem gradivu (opomba S2 in sliki S2 in S5).

(A) Shematski prikaz zasnove, postopka izdelave in ključnih lastnosti, vključno s samoceljenjem, možnostjo recikliranja in strukturnega preoblikovanja. Optične slike TEG-a v ravnem (B), upognjenem (C) in raztegnjenem stanju (D) ter pri nošenju na prstu (E). Fotografija: Yan Sun, Univerza v Koloradu Boulder.

Zaradi reakcij izmenjave vezi v dinamičnem kovalentnem duromernem poliiminskem omrežju in pretočnosti ožičenja iz tekočih kovin (29, 36) ima ta TEG možnost samoceljenja, recikliranja ter strukturnega preoblikovanja, kot je shematsko prikazano na sliki 1A. Poleg tega ima odlične mehanske lastnosti. Med delovanjem ga je mogoče upogibati (slika 1C), raztegniti (slika 1D) in nositi na prstu (slika 1E).

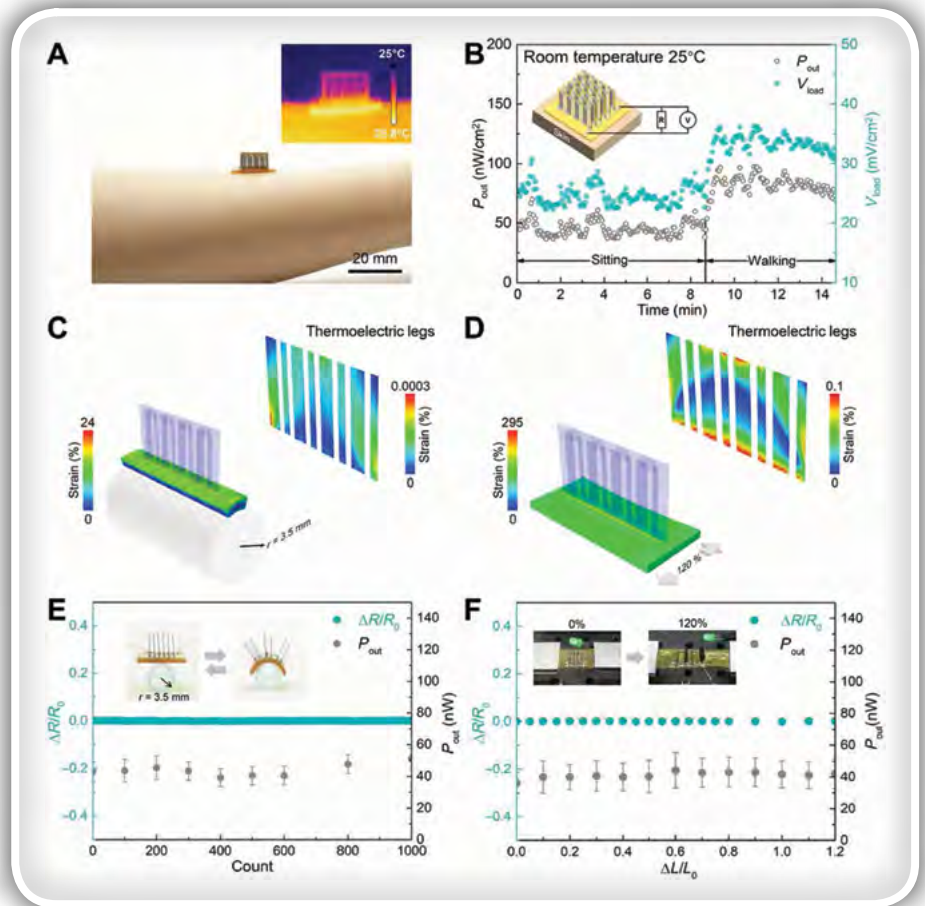
## Izhodna moč in termoelektrična vzdržljivost

V laboratoriju smo preskusili moč in izhodno napetost TEG-a s 112 termoelektričnimi priključki pri različnih temperaturnih razlikah (slika S6). Slika 2 (A–C) prikazuje proizvodnjo električne energije ( $P_{out}$ ) in napetost odprtega tokokroga ( $V_{oc}$ ) na enoto površine pri temperaturnih razlikah ( $\Delta T$ ) 6–95 K, ko je temperatura hladne strani konstantna pri 20 °C. Razmerje med

UK	SLO
Laser	Laser
Polymerization	Polimerizacija
Laser cutting	Lasersko rezanje
Assembling	Sestavljanje
Encapsulation	Inkapsulacija
Recycling solution + thermoelectric generator	Raztopina za recikliranje + termoelektrični generator
Polymer solution + thermoelectric chips + liquid metal	Polimerna raztopina + termoelektrični čipi + tekoča kovina
Recyclable	Možnost recikliranja
Lego-like reconfigurable	Zmožnost strukturnega preoblikovanja
Self-healable	Samozaceljivost
Thermoelectric chips	Termoelektrični čipi
Polyimide film	Kapton folija
n-legs/p-legs	nožice n/nožice p
Metal electrodes	Kovinske elektrode
Polyimine cover	Poliiminska prevleka
Liquid-metal junctions	Spoji iz tekoče kovine
Polyimine substrate	Poliiminski substrat
Mechanical damage	Mehanske poškodbe
Flat	Ravno
Bent	Ukrivljeno
Stretched	Raztegnjeno
On finger	Na prstu

proizvodnjo električne energije ( $P_{out}$ ) in izhodno napetostjo ( $V_{load}$ ) pri različnih temperaturnih razlikah je prikazano na sliki 2A. Slika 2B kaže, da se maksimalna proizvodnja električne energije  $P_{max}$  povečuje s temperaturno razliko  $\Delta T$  in doseže  $19 \mu W/cm^2$  pri  $\Delta T = 93 K$ . Napetost odprtega tokokroga na enoto površine  $V_{oc}$ , kot je prikazano na sliki 2C, narašča linearno s temperaturno razliko in doseže  $1 V/cm^2$  pri  $\Delta T = 95 K$ , kar je občutno višje kot pri drugih prožnih TEG-ih, ki so predstavljeni v literaturi (7–19). Slika 2D predstavlja rezultate preskusa vzdržljivosti TEG-a. Proizvodnja električne energije TEG-a je ostala stabilna 100 ur, ko je bila vroča stran ogreta na stalno temperaturo  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ , hladna stran pa podvržena naravni konvekciji v zaprtih prostorih. Rezultati kažejo odlično toplotno in električno vzdržljivost TEG-a. Slika 2E prikazuje primerjavo s prožnimi TEG-i, predstavljenimi v literaturi, z vidika šestih indeksov zmogljivosti, vključno z največjo gostoto moči, najvišjo napetostjo odprtega tokokroga, prožnostjo (merjeno s polmerom upogibanja), raztegljivostjo, možnostjo samoceljenja in recikliranja (za podrobnosti glejte tabelo S2 in sliko S7) (7–19). Tu opisani TEG-i kažejo prožnost in največjo gostoto moči, primerljivo z drugimi prožnimi TEG-i, toda s precej boljšo raztegljivostjo in najvišjo napetostjo odprtega tokokroga. Poleg tega imajo naši TEG-i možnost samoceljenja, recikliranja in strukturnega preoblikovanja (predstavljeno v nadaljevanju), kar so lastnosti, ki pri sistemih TEG še niso bile prikazane.

(A) Proizvodnja električne energije ( $P_{out}$ ) kot funkcija izhodne napetosti ( $V_{load}$ ) pri različnih temperaturnih razlikah ( $\Delta T$ ) pri



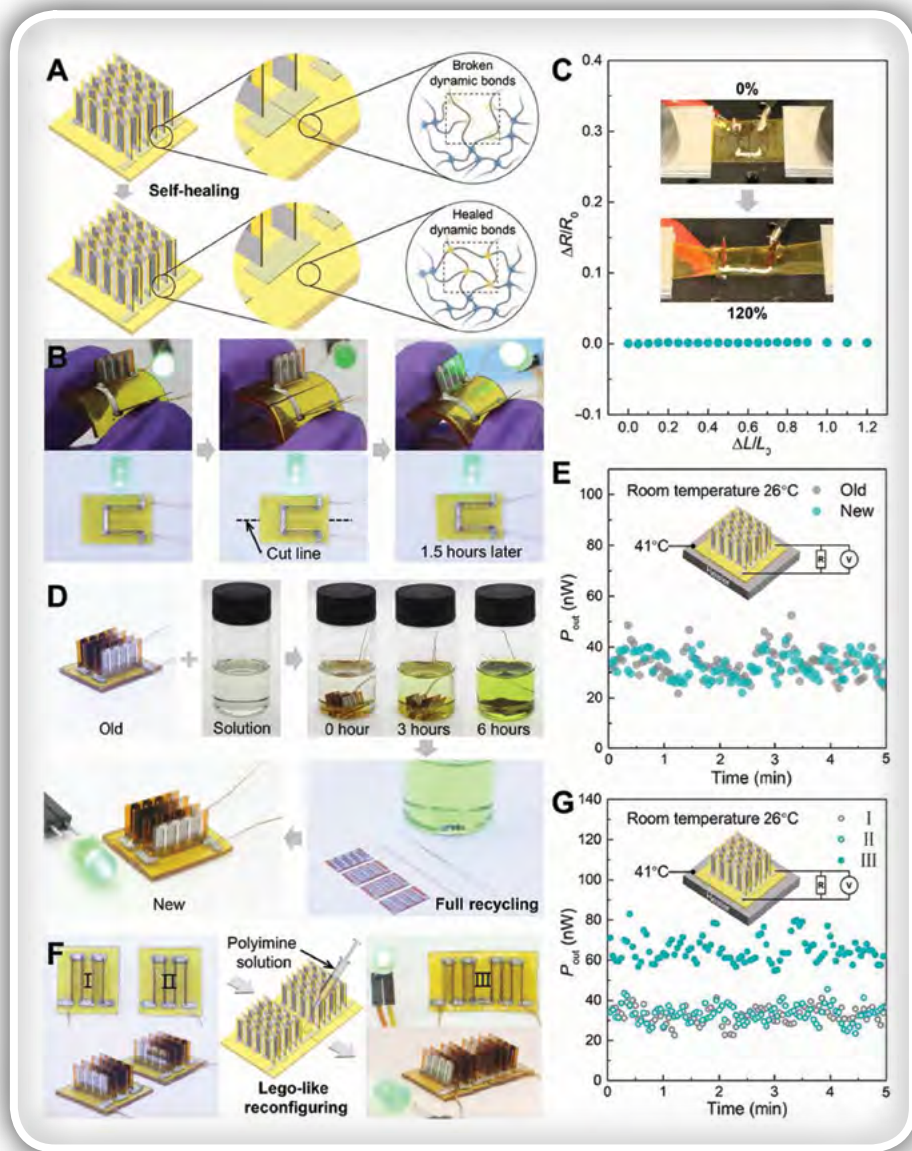
Slika 3: Pridobivanje nosljive energije in mehanske lastnosti TEG-a.

konstantni temperaturi hladne strani ( $T_{cold}$ )  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Črne točke so vrednosti meritev. (B) Največja proizvodnja električne energije ( $P_{max}$ ) glede na temperaturno razliko. (C) Napetost odprtega tokokroga ( $V_{oc}$ ) glede na temperaturno razliko. Polne črte na slikah (A) in (B) so prilagojene krivulje z uporabo paraboličnih funkcij. Polna črta na sliki (C) je linearna prilagojena krivulja. (D) Sturni preskus vzdržljivosti pri konstantni temperaturi vroče strani ( $T_{hot}$ )  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Hladna stran je bila izpostavljena naravni konvekciji, sobna temperatura ( $T_{room}$ ) pa je bila pribl.  $26 \text{ }^\circ\text{C}$ . (E) Primerjava zmogljivosti med tem TEG-om in drugimi prožnimi TEG-i, predstavljenimi v literaturi (več informacija je na voljo v dodatnem gradivu). Prožnost se nanaša na najmanjši polmer upogibanja TEG-a, ki je bil eksperimentalno prikazan in predstavljen v literaturi.

## Nosljivi TEG-i in mehanske lastnosti

Ta TEG ima odlično mehansko prožnost, zato ga je mogoče nositi na telesu in uporabiti za pridobivanje energije. Slika 3A prikazuje TEG, nameščen na podlaket, pri sobni temperaturi  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , vdela slika pa prikazuje meritev z infrardečo svetlobo porazdelitve temperature po napravi. Slika 3B kaže, da lahko ta TEG ustvari povprečno gostoto izhodne moči  $45$  in  $83 \text{ nW/cm}^2$  ter povprečno izhodno napetost  $25$  in  $33 \text{ mV/cm}^2$  med sedenjem oziroma hojo (slika S8). Pri površini tipičnega športnega zapestnega traku ( $6 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$ ) je med hojo mogoče ustvariti izhodno moč  $12,5 \mu W$  in izhodno napetost  $5 V$ , kar

UK	SLO
$P_{out}$	$P_{out}$
$V_{load}$	$V_{load}$
$P_{max}$	$P_{max}$
Time (hours)	Čas (v urah)
$T_{cold}$	$T_{hladno}$
$T_{room}$	$T_{sobna}$
$T_{hot}$	$T_{vroča}$
Temperature ( $^\circ\text{C}$ )	Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )
Recyclable	Možnost recikliranja
Self-healing	Samoceljenje
Flexibility (mm)	Prožnost (mm)
Stretchability (%)	Raztegljivost (%)
Yes	Da
No	Ne
Film	Film
This work	Ta raziskava
Bulk	Termoelektrični Peltierjev modul
Printed	Natisnjeno
Fiber	Vlakna
Organics	Organski materiali
$P_{out}$	$P_{out}$



**Slika 4 Samoceljenje, recikliranje in strukturno preoblikovanje.**

je dovolj za neposredno napajanje večine senzorskih vozlišč z nizko porabo energije z radiofrekvenčno komunikacijo.

UK	SLO
$P_{out}$	$P_{out}$
Room temperature 25°C	Sobna temperatura 25 °C
$V_{load}$	$V_{load}$
Sitting	Sedenje
Walking	Hoja
Time (min)	Čas (min)
Thermoelectric legs	Termoelektrične nožice
Strain (%)	Obremenitev (%)
Count	Število

(A) Optične in infrardeče (vdelana slika) slike TEG-a na roki. (B) Proizvodnja električne energije ( $P_{out}$ ) in izhodna napetost ( $V_{load}$ ) TEG-a s 112 termoelektričnimi nožicami na človeški koži med sedenjem in hojo. Na hladni strani je prisotna naravna konvekcija. Za simulacijo kontur razporeditve obremenitev priključkov TEG-a in TE (vložek) je bila uporabljena metoda končnih elementov (FEM) pri upogibanosti TEG-a do polmera 3,5 mm (C), raztegnjenega za 120 % (D). (E) Relativna sprememba električnega upora in stabilnost proizvodnje električne

energije v 1000 ciklih upogibanja. Vdelana slika prikazuje optične slike ravnega in upognjenega TEG-a. Polmer upogibanja  $r = 3,5$  mm,  $R_0$  je prvotna upornost,  $\Delta R$  pa sprememba upornosti. (E) Relativna sprememba električne upornosti in proizvodnje električne energije glede na stopnjo raztezanja ( $\Delta L/L_0$ ). Med meritvami izhodne moči ( $P_{out}$ ) na slikah (E) in (F) je bila temperatura vroče strani konstantna pri 41 °C, hladna stran je bila izpostavljena naravni konvekciji, sobna temperatura pa je bila okoli 26 °C. Vdelana slika na sliki (F) prikazuje optične slike TEG-a med nateznim preskusom v tokokrogu s svetlečo diodo (LED) in virom 4 V enosmernega toka za vizualni prikaz (slika S11). Fotografija: Yan Sun, Univerza v Koloradu Boulder.

Mehanske lastnosti so izjemnega pomena za nosljive naprave. Za izboljšanje mehanske prožnosti in raztegljivosti TEG-a smo uvedli inovativno zasnovo SOM-RIP-ov (mehki vtični moduli s togo matično ploščo). Ta zasnova lahko učinkovito loči toge in krhke TEG čipe od obremenitve v mehkem poliiminskem substratu med mehansko deformacijo. Rezultati simulacije z metodo končnih elementov (FEM), kot je prikazano na sliki 3 (C in D), dokazujejo učinkovitost zasnove SOM-RIP-ov za izboljšanje mehanskih lastnosti TEG-a. Slika 3C prikazuje konturo razporeda največje glavne obremenitve TEG-a, ko je upognjen do polmera 3,5 mm. Vdelana slika kaže, da je največja obremenitev priključkov TE 0,0003 %. Slika 3D prikazuje konturo razporeda največje glavne obremenitve TEG-a, ko je raztegnjen za 120 %. Vdelana slika prikazuje, da je največja obremenitev termoelektričnih priključkov samo 0,1 %, kar je pod lomno napetostjo ( $\approx 0,15$  %) (37) materialov TE. Ta zasnova SOM-RIP-ov omogoča 1200-kratno razmerje zmanjšanja obremenitev. Konture razporeditev obremenitev v poliimidu in Au-Ge zaradi upogibanja in raztezanja so prikazane na sliki S9.

Za zagotovitev mehanske robustnosti smo izvedli preskus cikličnega upogibanja s polmerom upogibanja 3,5 mm. Kot je prikazano na sliki 3E in sliki S10, je električna upornost konstantna, izhodna moč pa ne kaže očitnih sprememb. Slika 3F prikazuje relativno spremembo upornosti in izhodno moč v primerjavi z napetostjo zaradi obremenitve zaradi mehanskega raztezanja. Tako upornost kot izhodna moč ne kažeta opaznih sprememb, ko je TEG raztegnjen do 120 %. To dokazuje tudi vdelana slika, saj je svetlost diode (LED), ko je TEG raztegnjen za 120 %, primerljiva s svetlostjo, ko TEG ni raztegnjen (slika S11).

Omeniti velja, da sta prožnost in raztegljivost tega TEG-a omejeni vzdolž smeri, vzporedni s termoelektričnimi čipi. Kljub

UK	SLO
Self-healing	Samoceljenje
Broken dynamic bonds	Pretrgane dinamične vezi
Healed dynamic bonds	Zaceljene dinamične vezi
Cut line	Linija reza
1.5 hours later	1,5 ure pozneje
Old	Staro
Solution	Raztopina
0 hour	0 ur
3 hours	3 ure
6 hours	6 ur
Room temperature 26°C	Sobna temperatura 26 °C
Old	Staro
New	Novo
Time (min)	Čas (min)
P out	Pout
Full recycling	Popolna reciklaža
Polyimine solution	Raztopina poliimina
Lego-like reconfiguring	Strukturno preoblikovanje

temu pa so TEG-i, ki so izjemno prožni in raztegljivi v eni smeri, zelo primerni za valjaste vire toplote, kot so roke, noge in prsti, za nosljive naprave in industrijske cevovode za izkoriščanje odpadne toplote.

## Samoceljenje, recikliranje in strukturno preoblikovanje

Pretočnost ožičenja iz tekočih kovin in reakcije izmenjave vezi v poliiminskem omrežju temu TEG-u omogočata odlično samoceljenje (29). Slika 4A shematično prikazuje postopek in mehanizem samoceljenja. Po prelomu ožičenja iz tekočih kovin in poliiminskega substrata (slika 4A, zgoraj) se prelomljena mesta lahko spet združijo. Ožičenje iz tekočih kovin takoj spet postane prevodno, ker se odziva kot tekočina. Reakcije izmenjave vezi spodbujajo nastajanje novih kovalentnih vezi na stičišču, kar vodi do zaceljenega TEG-a z obnovljeno mehansko robustnostjo in električno funkcionalnostjo (slika 4A, spodaj). Slika 4B in film S1 prikazujeta ta eksperimentalni postopek z uporabo TEG-a z dvema termoelektričnima moduloma. Ko pride do preloma električnega stika iz tekočih kovin in poliiminskega substrata, LED takoj ugasne (zgoraj na sredini). Ponovna vzpostavitev stika med prelomljenimi mesti vodi do takojšnje zacelitve električne prevodnosti v ožičenju iz tekočih kovin in LED spet zasveti (spodaj na sredini). Po 1,5-urnem celjenju pri sobni temperaturi je na stičišču ustvarjenih dovolj kovalentnih vezi, kar pomeni mehansko robustni samozaceljeni TEG, ki ga je mogoče upogniti brez vpliva na izhodno moč (slika 4B, desno). Slike, narejene z optičnim mikroskopom (slika S12), prikazujejo postopek celjenja preloma v poliiminu. Raztegljivost samozaceljenega TEG-a je primerljiva s prvotno napravo, saj se lahko raztegne za 120 %, ne da bi to vplivalo na električno upornost (slika 4C).

(A) Shematski prikaz mehanizma samoceljenja. (B) Optične slike TEG-a med preskusom samoceljenja. Izvorni TEG je prožen in v tokokrogu z LED-ico in 4 V virom enosmerne napetosti (levo). Ko pride do preloma tako ožičenja iz tekočih kovin kot poliiminskega substrata, LED takoj ugasne (zgoraj na sredini). Ko obe površini na mestu preloma prideta v stik, se ožičenje iz tekočih kovin takoj zaceli, zato LED zasveti (spodaj na sredini). Po uri in pol se poliiminski substrat popolnoma zaceli in pridobi

mehansko robustnost (desno). (C) Relativna sprememba električne upornosti ( $\Delta R/R_0$ ) samozaceljenega TEG-a glede na razmerje raztezanja. Vdelana slika prikazuje optične slike samozaceljenega TEG-a med nateznim preskusom. (D) Optične slike TEG-a v različnih korakih recikliranja. Novi TEG je v tokokrogu z LED-ico in 4 V virom enosmerne napetosti (spodaj levo). (E) Primerjava proizvodnje električne energije med starim TEG-om in recikliranim novim TEG-om. (F) Strukturno preoblikovanje dveh ločenih TEG-ov (naprav I in II) v nov delujoči TEG (naprava III). Novi TEG (naprava III) je v tokokrogu z LED-ico in 4 V virom enosmerne napetosti (desno). (G) Primerjava proizvodnje električne energije med TEG-i I, II in III. Fotografija: Yan Sun, Univerza v Koloradu Boulder.

Prekomerni aaminski monomeri lahko povzročijo depolimerizacijo poliiminskih omrežij v monomere in oligomere, topne v organskih topilih, kar vodi do odličnih možnosti recikliranja poliiminskih naprav (29). Slika 4D prikazuje postopek recikliranja naprave TEG. Stari TEG je namočen v raztopini za recikliranje [3,3'-diamino-N-metildipropilamin in tris(2-aminoetil)amin v metanolu] (zgoraj levo). Po 6 urah pri sobni temperaturi poliiminski substrat popolnoma depolimerizira v oligomere in monomere, ki so topni v metanolu (zgoraj desno). Nato lahko druge komponente, vključno s termoelektričnimi moduli, prevodniki in tekočo kovino, ločimo od kemične raztopine (spodaj desno). Reciklirano raztopino je mogoče v celoti ponovno uporabiti za sintezo novega poliiminskega filma s sorazmernim deležem tereftalaldehida in metanola. Novi delujoči TEG je mogoče izdelati iz vseh komponent, ki so reciklirane iz starega TEG-a (spodaj levo). Kot je prikazano na sliki 4E, je izhodna moč novega TEG-a primerljiva s starim TEG-om.

Ta TEG ni le samozaceljiv in ga je mogoče reciklirati, temveč ima tudi možnost strukturnega preoblikovanja, ki je posledica zasnovane SOM-RIP-ov, ki združuje dinamični kovalentni duromerni poliimin in električno napeljavo iz tekoče kovine. Slika 4F prikazuje strukturno preoblikovanje dveh ločenih TEG naprav (napravi I in II) v novo TEG napravo (naprava III). Pri postopku strukturnega preoblikovanja se najprej preseka en terminal naprav I in II, kar razkrije ožičenje iz tekočih kovin (slika 4F, levo), temu pa sledi fizična združitev terminalov obeh TEG-ov. Nato sledi nanos in strjevanje majhne količine raztopine poliimina [tereftalaldehid + 3,3'-diamino-N-metildipropilamin + tris(2-aminoetil)amin v metanolu] na spoju dveh TEG-ov, kar v celoti zaceli stičišče (slika 4F, sredina). Novi TEG je popolnoma delujoč (slika 4F, desno). Ta postopek je shematsko podrobno prikazan na sliki S13. Kot je prikazano na sliki 4G, je izhodna moč naprave III enaka vsoti naprav I in II, kar kaže, da je strukturno preoblikovanje učinkovit postopek, ki ne poslabša zmogljivosti. Upoštevajte, da med postopkom strukturnega preoblikovanja ni treba uporabiti raztopine poliimina, vendar pa je potrebno več časa za oblikovanje zadostnega števila kovalentnih vezi na stičišču. Strukturno preoblikovanje omogoča uporabnikom, da prilagodijo TEG-e z uporabo zaporednih ali vzporednih modulov glede na ciljno obliko izdelka, konstrukcije, izhodno napetost in moč na podlagi posebnih toplotnih pogojev in izhodne moči termoelektričnih čipov (slika S14). TEG, ki ga je mogoče strukturno preoblikovati, je mogoče tudi integrirati v senzorski sistem, ki temelji na podobnem samocelilnem substratu in tako oblikovati samonapajalni avtonomni senzorski sistem.

# Izboljšanje zmogljivosti TEG-a na prostem s filmom iz metamateriala

Sončno obsevanje, okoljsko sevanje in nesevalna izmenjava toplote lahko vplivajo na zmogljivost nosljivega TEG-a med aktivnostmi na prostem (slika 5A, zgoraj). Energetsko ravnovesje hladne strani TEG-a, ki je izpostavljena okolju, lahko prikaže mo kot (38)

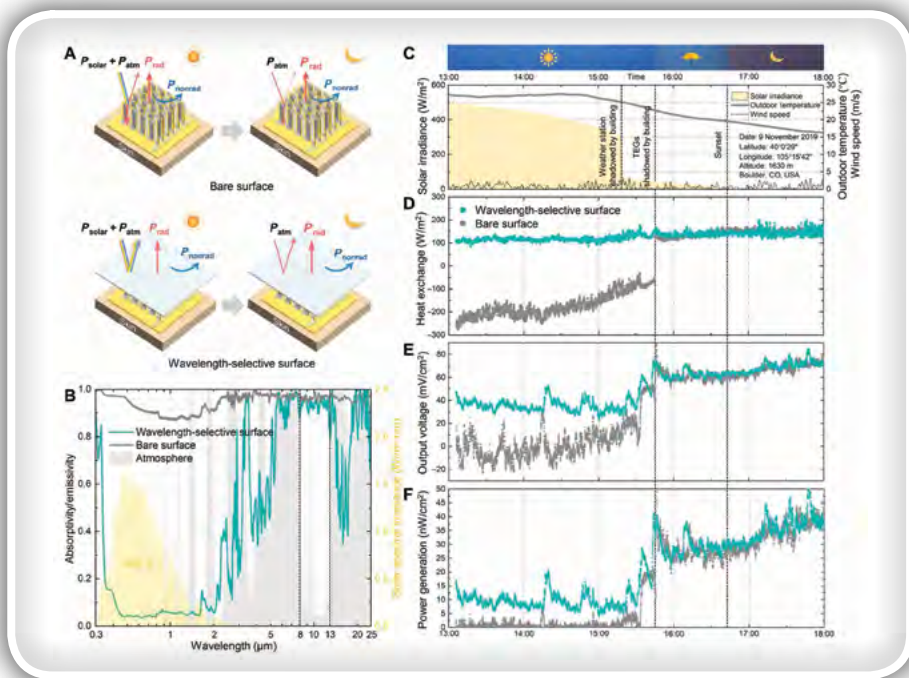
$$Q_{surf} = P_{nonrad} + P_{rad} - P_{abs} = hc(T_c - T_{amb}) + K\epsilon^{-emit}(T_4c - T_4s) - P_{solar}\epsilon^{-abs}$$

(1), pri čemer je  $Q_{surf}$  skupni toplotni tok na površini hladne strani in enoto površine,  $P_{nonrad}$  in  $P_{rad}$  sta nesevalni prenos toplote in izmenjava toplotnega sevanja na enoto površine med površino hladne strani in okoljem,  $P_{abs}$  je absorbirana moč sončnega obsevanja na enoto površine,  $P_{solar}$  je moč sončnega obsevanja na enoto površine,  $\epsilon^{-emit}$  in  $\epsilon^{-abs}$  pa sta efektivna emisivnost in efektivna absorpcija površine. Emisivnost in absorpcijo lahko uporabimo za oceno toplotnega sevanja površine hladne strani in njene absorpcije sončnega obsevanja, kot kaže enačba 1. Slika 5B prikazuje izmerjeno emisivnost/absorpcijo, odvisno od valovne dolžine, površine TEG-a (prazna površina). Prazna površina TEG-a ima močno absorpcijo ( $> 0,87$ ) v spektru sončne svetlobe ( $0,3-2,5 \mu m$ ), kar kaže, da je površino mogoče segreti s sončnim obsevanjem, ki močno omeji njeno oddajanje toplote. Za izboljšanje zmogljivosti TEG-a na prostem je ključno prilagoditi površino hladne strani tako, da je valovno-dolžinsko selektivna in posledično učinkoviteje oddaja toploto. Površina mora imeti dve lastnosti: (i) nizko absorpcijo sončnega spektra in (ii) visoko emisivnost v infrardečem območju, zlasti v oknu atmosfarske prepustnosti ( $8-13 \mu m$ ), ki hladni strani omogoča oddajanje infrardečega sevanja v vesolje skozi ozračje, t. j. sevalno hlajenje (38-40). Zato smo izbrali stekleno-polimerni hibridni metamaterialni film, ki ponuja obe lastnosti, in ga uporabili kot pokrov na površini hladne strani TEG-a (slika 5A, spodaj), kar omogoča učinkovito valovno-dolžinsko selektivno površino. Kot je prikazano na sliki 5B, izmerjena emisivnost/absorpcija, odvisna od valovne dolžine, valovno-dolžinsko selektivne površine kaže precej nižjo absorpcijo v sončnem spektru kot prazna površina ( $0,3-2,5 \mu m$ ) in primerljivo emisivnost v oknu atmosfarske prepustnosti ( $8-13 \mu m$ ). Podrobna zasnova in postopek izdelave metamateriala je na voljo v naši prejšnji raziskavi (40).

(A) Shematski prikaz postopkov prenosa toplote TEG-ov s prazno površino (zgoraj) in valovno-dolžinsko selektivno površino (spodaj) podnevi in ponoči.  $P_{solar}$  in  $P_{atm}$  sta moč sončnega obsevanja in moč atmosfarskega sevanja na površini,  $P_{rad}$  je moč toplotnega sevanja s površini-

UK	SLO
$P_{solar}$	$P_{solar}$
$P_{atm}$	$P_{atm}$
$P_{rad}$	$P_{rad}$
$P_{nonrad}$	$P_{nonrad}$
Bare surface	Prazna površina
Wavelength-selective surface	Valovno-dolžinsko selektivna površina
Atmosphere	Ozračje
Solar irradiance	Sončno obsevanje
Heat exchange	Izmenjava toplote
Output voltage	Izhodna napetost
Power generation	Proizvodnja električne energije
Solar spectral irradiance	Spektralno sončno obsevanje
Wavelength	Valovna dolžina
Absorptivity/emmissivity	Absorpcija/emisivnost
Outdoor temperature	Zunanja temperatura
Wind speed	Hitrost vetra
Weather station	Vremenska postaja
shadowed by building	zasenčeno z vremensko postajo
TEGs	TEG-i
shadowed by building	zasenčeno z vremensko postajo
Sunset	Sončni zahod
Date: 9 November 2019	Datum: 9 november 2019
Latitude	Zemljepisna širina
Longitude	Zemljepisna dolžina
Altitude	Nadmorska višina
Boulder, CO, USA	Boulder, CO, ZDA

ne,  $P_{nonrad}$  pa nesevalni prenos toplote (konvekcija in kondukcija) med površino in okolico. (B) Izmerjena absorpcija/emisivnost prazne površine in valovno-dolžinsko selektivna površina od  $300 \text{ nm}$  do  $25 \mu m$ . Vključeni sta tudi absorpcija/emisivnost ozračja (sivi blok) in gostota moči spektralnega sončnega obsevanja [rumeni blok; zračna masa (AM), 1,5]. Tako prazna površina kot valovno-dolžinsko selektivna površina ima močne emisije  $8-13 \mu m$  (okno atmosfarske prepustnosti), kar kaže na odlično sevalno hlajenje. Prazna površina ima močno absorpcijo celotnega sončnega spektra ( $> 0,87$ ) in drugih infrardečih



Slika 5 Izboljšanje zmogljivosti na prostem z valovno-dolžinsko selektivnimi metamaterialnimi filmi.

pasov ( $> 0,96$ ), medtem ko ima valovno-dolžinsko selektivna površina precej šibkejšo absorpcijo sončnega spektra v primerjavi z infrardečim spektrom. (C) Sončno obsevanje, zunanja temperatura in hitrost vetra, merjeno z vremensko postajo od 13.00 do 18.00 (9. november 2019, Boulder, Kolorado, ZDA). Skupna izmenjava toplote površine (D), izhodna napetost (E) in proizvodnja električne energije (F) TEG-ov s prazno površino in valovno-dolžinsko selektivno površino na hladni strani od 13.00 do 18.00.

Da bi kvantitativno raziskali učinke sončnega obsevanja in sevalnega hlajenja na termoelektrično zmogljivost, smo TEG-e s prazno površino in z valovno-dolžinsko selektivno površino na hladni strani preskusili z laboratorijskimi nastavitvami na sončen dan na prostem (slika S15). Izmerjeno sončno obsevanje, zunanja temperatura in hitrost vetra od 13.00 do 18.00 so prikazani na sliki 5C. Nenaden padec izmerjenega sončnega obsevanja ob 15.18 je posledica tega, da je sosednja stavba zasenčila vremensko postajo, nato pa ob 15.45 še naprave TEG. Izmenjavo toplote na obeh vrstah površine je mogoče izračunati na podlagi podatkov meritev (opomba S3 in slika S16). Kot je prikazano na sliki 5D, ima TEG s prazno površino na hladni strani negativno izmenjavo toplote od 13.00 do 15.45, ker je absorpcija sončnega obsevanja na prazni površini večja od skupne oddane toplote s sevalnim in nesevalnim prenosom toplote. To vodi do nihanja izhodne napetosti TEG-a s prazno površino okoli ničle (slika 5E) in proizvodnje električne energije okoli  $1 \text{ nW/cm}^2$  (slika 5F) do 15.45. Pri TEG-u z valovno-dolžinsko selektivno površino na hladni strani je izmenjava toplote ostala stabilna preden je stavba zasenčila TEG in po zasenčenju, kot je prikazano na sliki 5D. To vodi do občutno izboljšane zmogljivosti TEG-a z izhodno napetostjo  $\sim 40 \text{ mV/cm}^2$  (slika 5E) in izhodno močjo  $\sim 10 \text{ nW/cm}^2$  (slika 5F) do 15.45 v primerjavi s TEG-om s prazno površino na hladni strani. Po tem ko je zgradba ob 15.45 zasenčila napravi TEG, sta imeli obe napravi – s prazno površino in z valovno-dolžinsko selektivno površino na hladni strani – podobno skupno izmenjavo toplote in termoelektrično zmogljivost zaradi podobne emisivnosti v oknu atmosferske prepustnosti in odsotnosti sončnega obsevanja.

## RAZPRAVA

V tem delu je opisan visokozmogljiv nosljiv TEG z izjemnim raztezanjem ter zmožnostjo samoceljenja, recikliranja in strukturnega preoblikovanja. Te lastnosti so mogoče z integracijo visokozmogljivih modularnih termoelektričnih čipov, dinamičnega kovalentnega duromernega poliiimina kot substrata in inkapsulacije ter tekoče kovine kot ožičenja z novo mehansko arhitekturno zasnovo SOM-RIP-ov. Ta TEG lahko proizvede najvišjo gostoto napetosti v odprtem tokokrogu  $1 \text{ V/cm}^2$  pri temperaturni razliki  $95 \text{ }^\circ\text{K}$  med vsemi prožnimi TEG-i, kar veliko obeta na področju pretvarjanja toplote nizke temperature v električno energijo za napajanje interneta stvari in nosljive elektronike. Te funkcije omogočajo prilagodljivost TEG-ov mehanskim in toplotnim pogojem ter uporabniškim zahtevam, ki se hitro spreminjajo. Poleg tega je hladna stran TEG-a obdelana z valovno-dolžinsko selektivnim metamaterialom, ki hkrati poveča sevalno hlajenje in zmanjša absorpcijo sončnega obsevanja. Zato je termoelektrične lastnosti mogoče močno iz-

boljšati s sončnim obsevanjem, kar je ključnega pomena za pridobivanje energije za nosljive naprave med aktivnostmi na prostem. Opisani oblikovni koncepti in lastnosti TEG-ov lahko utrejo pot naslednji generaciji visokozmogljivih, prilagodljivih, nastavljaljivih, trajnih, ekonomičnih in okolju prijaznih naprav za pridobivanje energije z raznolikimi možnostmi uporabe.

Upoštevajte tudi, da je splošni koncept oblikovanja tega dela mogoče razširiti in prilagoditi drugim termoelektričnim materialom in načinom izdelave, vključno z nanosom delcev po principu »valj na valj« in tehnikami tiskanja (41). Termoelektrično zmogljivost nosljivega TEG-a je mogoče še izboljšati z izboljšanjem postopka izdelave termoelektričnih filmov, uporabo termoelektričnih filmov z boljšimi termoelektričnimi lastnostmi (42–45) in uporabo tradicionalnih termoelektričnih priključkov s precej manjšimi merami.

## MATERIALI IN METODE

### Sinteza materialov in izdelava naprav

Tankoslojni termoelektrični materiali so bili s termičnim izparevanjem nanoseni na kapton folijo ( $125 \text{ } \mu\text{m}$ ; DuPont). Ciljna materiala priključkov tipa P in N za izparevanje sta bila  $\text{Bi}_0,5\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_3$  in  $\text{Bi}_2\text{Te}_2,8\text{Se}_0,3$ , ki sta bila pripravljena s pretaljevanjem ingota Bi (99,999 %; Alfa Aesar), ingota Sb (99,999 %; Alfa Aesar), ingota Te (99,999 %; Alfa Aesar) in ingota Se (99,999 %; Alfa Aesar) v zaprtih kremenovih ceveh v vakuumu pod  $10^{-3} \text{ Pa}$  z uporabo žarilne peči (KSL-1100X-L) pri  $1073 \text{ }^\circ\text{K}$  za 5 ur. Nanesene termoelektrične filme smo nato za 26 minut segreti na  $320 \text{ }^\circ\text{C}$  v argonovi atmosferi s pomočjo cevne peči (OTF-1200X). Tankoslojne elektrode Au-Ge smo nanosili s termičnim izparevanjem, pri čemer smo za ciljni material uporabili zlitino  $\text{Au}_{88}\text{Ge}_{12}$  (99,99 %; Kurt. J. Lesker). Substrat poliiimina smo polimerizirali z navzkrižnim povezovanjem treh komercialno dostopnih spojin, tereftalaldehida, 3,3'-diamino-N-metildipropilamina in tris(2-aminoetil)amina. Zmes 3,3'-diamino-N-metildipropilamina ( $1,251 \text{ g}$ ,  $8,61 \text{ mmol}$ ) in tris(2-aminoetil)amina ( $0,252 \text{ g}$ ,  $1,72 \text{ mmol}$ ) smo dodali v 25-mililitrsko centrifugalno epruveto z navojnim pokrovčkom in nato dodali metanol ( $20 \text{ ml}$ ) in tereftalaldehid ( $1,5 \text{ g}$ ,  $11,18 \text{ mmol}$ ). Zmes smo mešali, dokler raztopina ni postala prosojno rumena, nato pa raztopino vlili v petrijevko, prevlečeno s polidimetilsiloksanom. Raztopino smo strjevali z izparilnim sušenjem v digestoriju najmanj 72 ur pri sobni temperaturi. Raztopina za recikliranje je mešanica 3,3'-diamino-N-metildipropilamina ( $1,251 \text{ g}$ ,  $8,61 \text{ mmol}$ ) in tris(2-aminoetil)amina ( $0,252 \text{ g}$ ,  $1,72 \text{ mmol}$ ) v metanolu. Tekoča kovina (mešanica 75,5 masnega odstotka galija in 24,5 masnega odstotka indija) je bila zmešana z 0,35 masnega odstotka delcev  $\text{SiO}_2$  (polmer,  $40 \text{ } \mu\text{m}$ ) za izboljšanje izkoristka sitotiska. Tališče tekoče kovine je  $15,3 \text{ }^\circ\text{C}$ . Alternativa za hladnejše okolje je evtektična zlitina galij-indij-kositer (galinstan) (68 masnih odstotkov Ga, 22 masnih odstotkov In in 10 masnih odstotkov Sn) s tališčem pri  $-19 \text{ }^\circ\text{C}$ . Za pripravo vseh mask in rež v poliiiminskem substratu smo uporabili napravo za lasersko rezanje (Epilog 36EXT, model 9000). Valovno-dolžinsko selektivni film smo pritrdili na hladno stran TEG-a s pomočjo tlačno občutljivega traku.

### Opis materialov

Debelino termoelektričnih filmov in filma Au-Ge smo izmerili z

merilnikom tankih plasti (Bruker DektakXT). Površinsko mikropografijo in sestavo smo analizirali z vrstičnim elektronskim mikroskopom (Quanta 200 FEG in Hitachi SU3500) ter uporabo energijsko disperzivne rentgenske spektroskopije. Seebeckov koeficient in električno upornost smo izmerili z metodo štirih sond na simultanem merilnem sistemu (ULVAC ZEM-3), toplotno prevodnost termoelektričnih filmov (slika S17) pa s termorefleksijsko metodo v časovnem prostoru (46) na sistemu, ki smo ga izdelali sami (tabela S1 in sliki S18 in S19). Optične mikroskopske slike postopka samoceljenja smo naredili z digitalnim mikroskopom z izjemno globinsko ostrino (KEYENCE VHX-1000E).

### Merjenje izhodne vrednosti TEG-a

Zmogljivost TEG-a v zaprtih prostorih in na prostem smo preskusili z lastnimi sestavi opreme (sliki S6 in S15). Vročna stran je miza za ogrevanje z uravnavanjem temperature. Hladna stran je dvostopenjski hladilnik (vodno hlajenje in Peltierov hladilnik), s katerim je mogoče natančno nadzorovati temperaturo hladne strani TEG-a od 0 °C do sobne temperature. Za preskušanje temperature TEG-a na hladni in vroči strani smo uporabili termočlene tipa T (premer žice 0,127 mm; OMEGA TT-T-36). Žice termočlenov smo pritrdili z nosilci ob položajih za preskušanje in le gole konice termočlenov so se zaradi elastičnosti žic termočlenov tesno dotikale položajev za preskušanje, s čimer smo preprečili dodatne toplotne izgube. Za pritrditev termočlenov nismo uporabili masti, lepila, traku ali sponk. Sobno temperaturo

je meril termočlen tipa T, nameščen v zraku blizu TEG-a. Vse podatke, vključno s temperaturo, napetostjo in uporabnostjo, je beležila večnamenska naprava za beleženje podatkov (Keysight 34970A). Infrardeče slike smo naredili z infrardečo kamero (FLIR T630sc). Sončno obsevanje, zunanjo temperaturo in hitrost vetra smo preverjali z vremensko postajo blizu TEG-a.

### Opis mehanskih komponent

Prekuse razteznosti smo izvedli na lastni opremi za raztezanje. Za konture simulirane razporeditve obremenitev TEG-a smo uporabili komercialno programsko opremo Abaqus. Prevodna plast AuGe je bila modelirana kot plast kože na površini kapton folije in termoelektričnih priključkov ter nato mrežena z lupinastimi elementi s štirimi vozlišči. Kapton folijo, termoelektrične priključke tipa P in N ter poliiminski substrat smo modelirali s trdnimi elementi z osmimi vozlišči. Vrednosti elastičnega modula AuGe, priključkov tipa N, priključkov tipa P, kapton folije in poliiminskega substrata so bile 69,2 GPa, 52 GPa, 46 GPa, 2,5 GPa in 2 MPa. Poissonova števila za omenjene vrednosti so bila 0,32, 0,25, 0,25, 0,34 in 0,35. Za simulacijo eksperimentalnih pogojev smo model raztegnili za 120 % in nato ločeno upognili do polmera 3,5 mm.

### Povzeto po:

- <https://advances.sciencemag.org/content/7/7/eabe0586>

<https://advances.sciencemag.org>

POSEBNA PONUDBA  
ZA BRALCE REVIE

*30 % popust s kodo:*

SVET ELEKTRONIKE

Kodo za popust vpišite v okno: sporočilo, pri zadnjem koraku potrditve naročila na spletni strani [www.tzs.si](http://www.tzs.si). Kodo bomo upoštevali in od redne cene odšteli 30 % popust!

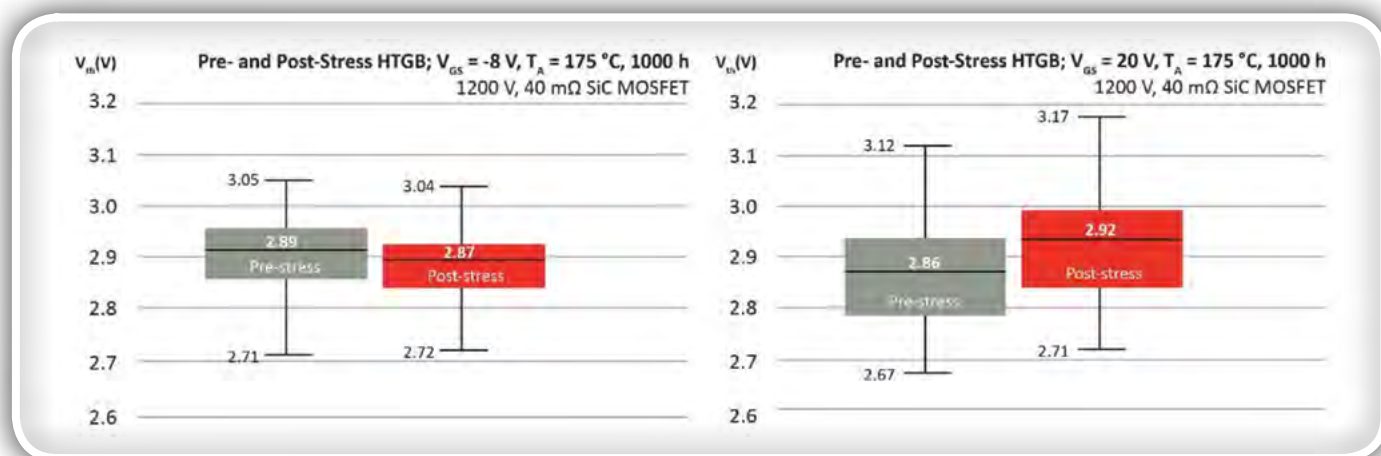
Tehniška založba Slovenije [www.tzs.si](http://www.tzs.si)  
narcila@tzs.si

# Zmanjšanje velikosti, šuma in napak na terenu APU-jev namenjenih prevozu

Microchip Technology Inc

Avtorja: Kevin Speer, Nitesh Satheesh in Marc Rommerswinkel, Microchip Technology

*Oblikovalci lahko končno izkoristijo moteče sistemske prednosti SiC tehnologije, da zmanjšajo velikost, šum in okvare pomožnih napajalnih enot (APU) v transportnih vozilih.*



**Slika 1:** Napetost preklopa SiC MOSFET-ov primernih za proizvodnjo pred in po (levo) negativnem in (desno) pozitivnem testu stresa pri visoki temperaturi.

Ko elektrifikacija vozil širi potrošniški segment EV, tudi druge oblike prevoza lovijo globalni makrotrend, vključno z železnicami, letali, dostavnimi vozili, terenskimi vozili in ostalimi. Pri vseh oblikah elektrificiranih vozil sta skupna dva sistema za elektrifikacijo: vlečna pogonska enota (TPU), ki zagotavlja pogon vozila; in pomožna napajalna enota (APU), ki napaja vse druge obremenitve na vozilu, od razsvetljave in vrat do klimatskih naprav in električnih vtičnic.

V nasprotju s potrošniškimi električnimi vozili, ki dajejo prednost dosegu na plačilo, imajo lahko drugi primeri uporabe prevoza drugačne prednostne naloge, obravnavane z izboljšavami v APU. Prostor v kabini je na primer primeren za lahke linije, saj prosti prostor omogoča več potnikov, ki plačajo za vožnjo. Zanesljivost je najpomembnejša za rudarska vozila, kjer se čas izpada meri v milijonih dolarjev na dan. V vseh primerih uporabe je udobje potnikov ključnega pomena na trgu, ki ga ponujajo konkurenčni proizvajalci originalne opreme, namenjeni zahtevnim kupcem.

Visoke preklopne izgube silicijevih IGBT-jev so blokirale izboljšave APU pri prevozu. Z omejevanjem frekvence preklapljanja IGBT določajo najmanjšo velikost največjih fizičnih APU komponent, izolacijskega transformatorja in hladilnega telesa. S SiC lahko izolacijski transformator drastično zmanjšamo s prehodom na višje stikalne frekvence. S prekllopnimi izgubami, zmanjšanimi za 80% ali več, se hladilna telesa zmanjšajo. Poleg tega lahko stikalne frekvence APU presežejo zvočni obseg in tako odpravijo

visoko cviljenje, ki je za potnike mučno. Nazadnje, učinkovitost je bistvenega pomena, ker APU neprekinjeno deluje, pogosto pod majhno obremenitvijo; izgube prevodnosti SiC MOSFET-ov so nižje od konkurenčnih IGBT-jev v pogojih lahke obremenitve.

## Je SiC primeren za nalogo?

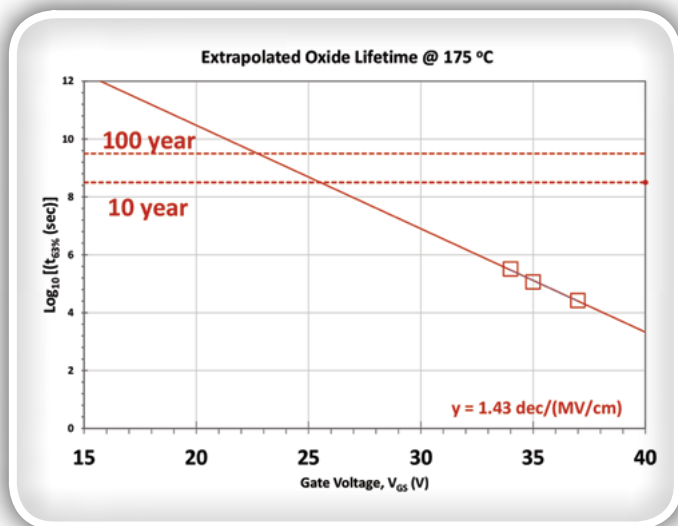
Robustnost SiC MOSFET-ov v najrazličnejših pogojih je bistvenega pomena za APU-je, ki napajajo tako normalne kot obremenitve v sili. Preveriti je treba: 1) stabilnost oksida vrat MOSFET-a, kar je znano pri SiC-MOSFET-ih; 2) življenjska doba oksida vrat; 3) stabilnost vgrajene diode MOSFET-a; in 4) robustna odpornost, kot sta plazovita robustnost in preživetje kratkega stika.

## Integriteta oksidne plasti vrat

Če bi se prag napetosti premaknil, se zmogljivost naprave spremeni (npr. povečana upornost v stanju vklopa), kar vodi do nenavadnega vedenja sistema in možne okvare APU. Slika 1 prikazuje, kako V<sub>th</sub> podatki za SiC MOSFET-e proizvodnega razreda ne smejo imeti bistvenih sprememb po 1000 urah stresa pri 175 °C.

Življenjsko dobo oksida lahko napovemo s pospeševanjem vzorcev do okvare z uporabo povišane temperature in električ-





**Slika 2: Primer življenjske dobe SiC MOSFET-a z ekstrapoliranim oksidom podjetja Microchip.**

nega polja. Aktivacijska energija se črpa za vsak način okvare in Arrheniusova enačba se uporablja za ekstrapolacijo življenjske dobe oksida (glej sliko 2). Proizvodni razred SiC oksidnih MOSFET-ov lahko traja tudi več kot 100 let pod visokim stresom, kar zagotavlja zaupanje v rutinsko in zanesljivo delovanje APU tudi po načrtovani življenjski dobi.

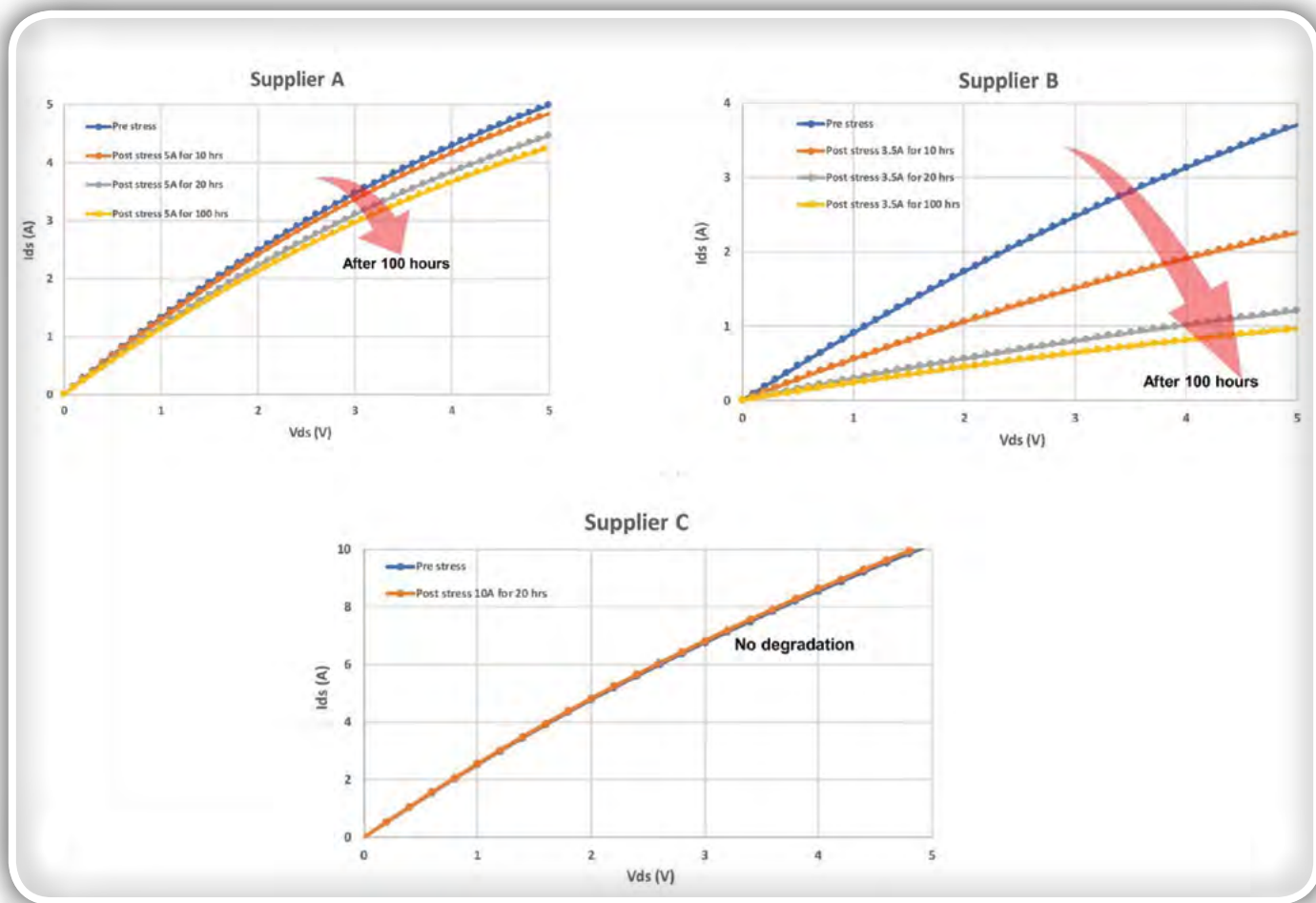
## Stabilnost vgrajene diode

Za razliko od IGBT lahko SiC MOSFET prevaja povratni tok s pomočjo vgrajene diode. V nekaterih tranzistorjih ta dioda sčasoma degradira, kar vodi do povečanega  $R_{DSon}$  in več toplote od načrtovane. Na sliki 3 so prikazane krivulje I-V vgrajene diode in upornost ( $R_{DSon}$ ) v stanju vklopljenega MOSFET-a po mnogih urah [1]. Med proizvodi dobaviteljev so opazili velike razlike. Proizvod enega dobavitelja se je opazno poslabšal; drugi je postal neuporaben. Izbrane naprave ne smejo nobenega zaznanega premika. Uporaba SiC MOSFET-a z vgrajeno diodo izboljša zanesljivost in zniža stroške z odpravo antiparalelne diode.

## Preživetje na trgu: Kratak stik in plazovitost

APU-ji v sektorju prevoza so dovzetni za različne pogoje napak, ki zahtevajo SiC MOSFET-e, zasnovane za varno delovanje skozi te dogodke in ohranjanje doslednih zmogljivosti pred in po okvarah.

Zmogljivost vzdržljivosti ob kratkem stiku meri zmogčnost MOSFET-a, da preživi trenuten kratak stik enosmernega toka na vir-ponor priključkih. MOS kanali so izboljšani, kar omogoča pravilno zasnovani napravi varno razdeljevanje največjih tokov



**Slika 3:  $R_{DSon}$  pred stresom in po njem za komercialno dostopne SiC MOSFET-e, ki razkrivajo različno kakovost vgrajene diode treh dobaviteljev [1].**

po območju silicija MOSFET-a. Na sliki 4 so prikazani časi vzdržljivosti kratkega stika (SCWT) za SiC MOSFET-e proizvodnega razreda - primer Microchip je med 3 in 14 mikrosekundami, odvisno od napetosti enosmernega toka in uporabljene VGS. To zadostuje za številne komercialno dostopne krmilnike vrat. Napredni krmilnik, kot je opisan v naslednjem poglavju, dodaja inteligenco zaznavanju kratkega stika.

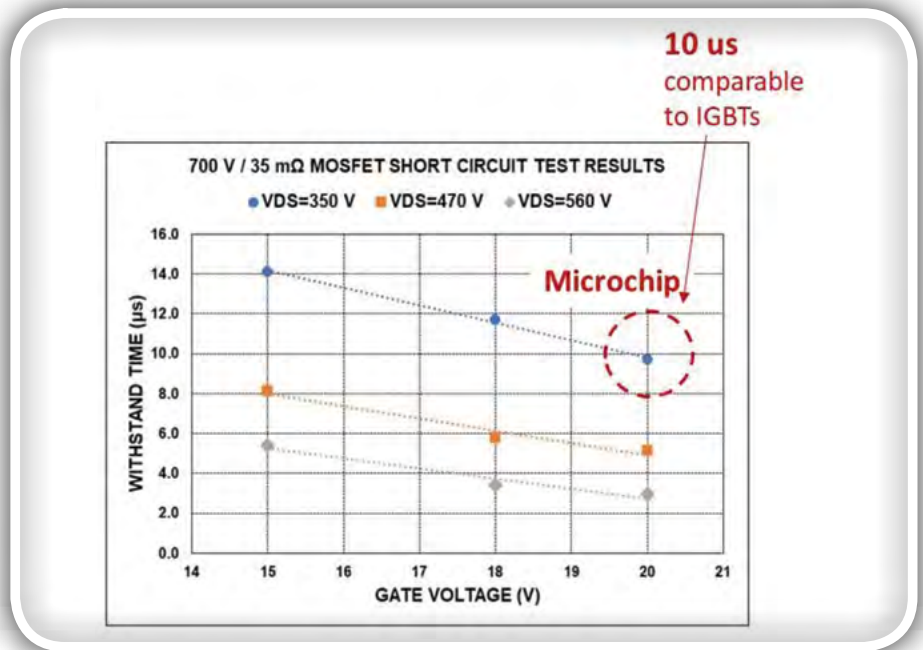
Robustnost plazov je še zahtevnejša: tok bremena se nenadoma preseli v MOSFET, zaradi česar se napetost na ponoru/viru dvigne do okvare. Za razliko od kratkega stika MOS kanali niso izboljšani; plazoviti tok zasiti rob rezine in hitro pripelje naravno do njenih toplotnih omejitev.

Ponavljajoče neomejeno induktivno preklapljanje (R-UIS) se uporablja za oceno robustnosti plazovitosti naprave. Na sliki 5 je prikazana časovno odvisna dielektrična razgradnja (TDDB) za komercialne SiC MOSFET-e pred in po 100.000 ciklih R-UIS. Številni dobavitelji ohranjajo oksidno trdnost, vendar sposobnost, da do štirikrat povečajo žilavost, hkrati pa stabilnost v RDSon in curljanje vir/ponor [2], krepi sposobnost SiC MOSFET-ov za varno delovanje pri najzahtevnejših pogojih električne prenapetosti.

## Preklaplajte hitreje z ohišjem z nizko induktivnostjo

V povezavi z visokimi hitrostmi signalov problematične induktivnosti v močnem sistemu povzročajo večje preklapne izgube, prekomerne prenapetosti, neskladne EMI in potencialno okvaro APU. Preventivni ukrepi, ki jih morajo sprejeti oblikovalci za upočasnitev hitrosti MOSFET-ov, se lahko sprašujejo, kaj se je zgodilo s SiC-jevo vrednostjo.

Microchip-ovo SP6LI ohišje z nizko induktivnostjo prikazuje, kako je mogoče rešiti te težave. Ustrezno konfigurirana oblika priključkov v napajalno zanko vstavi manj kot 3 nanoherije parazitske induktivnosti. Interno so bile narejene optimizacije postavitve, da se zagotovi enak čas in razporeditev toka. Toplotne lastnosti je mogoče izboljšati z uporabo keramike iz silicijevega nitrida (na voljo je tudi aluminijev nitrid), med osnovnimi ploščami pa sta tudi baker in AISiC. Navzven napajalni priključki omogočajo niz-

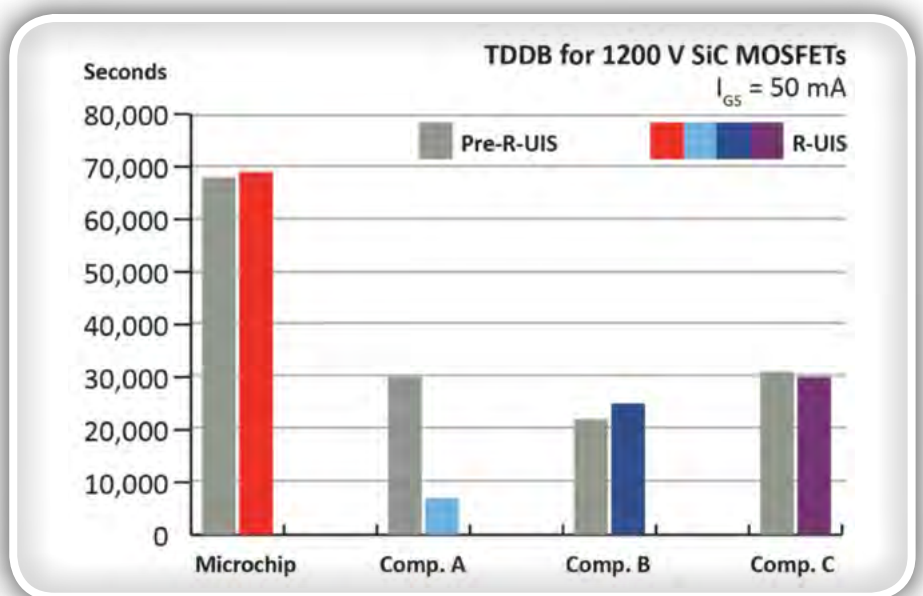


Slika 4: Čas vzdržljivosti kratkega stika za SiC MOSFET-e proizvodnega razreda.

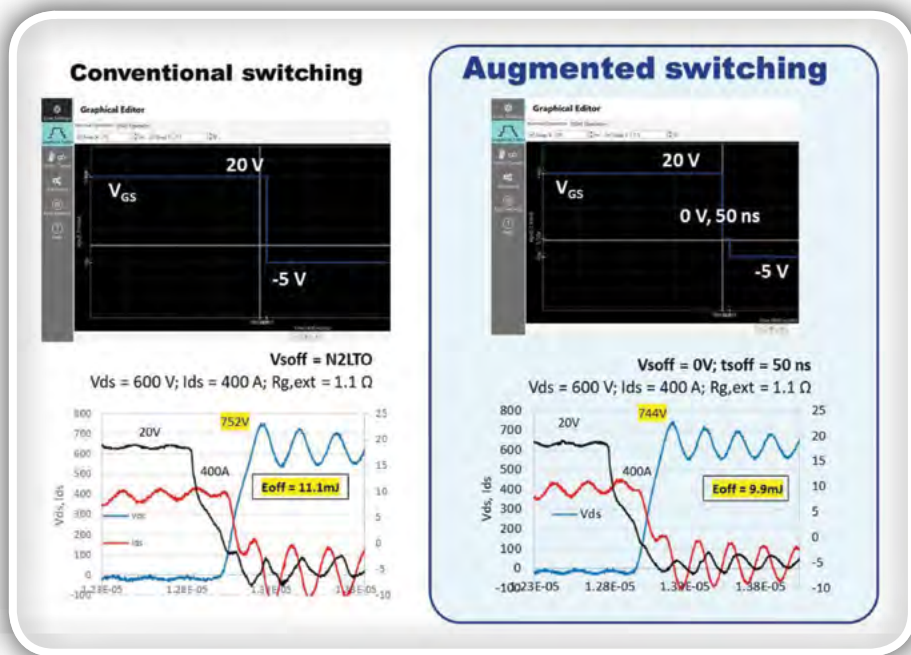
koinduktivno povezavo za enosmerne tokove in optimalno paralelnost v dveh smereh. SP6LI omogoča oblikovalcu, da krmili SiC MOSFET-e s signali višjih hitrosti z največjo učinkovitostjo in zmanjšanimi EMI, krčenjem APU-jev, hkrati pa preprečuje okvare, povezane z EMI.

## Krmilnik vratbodo obdržali APU-je

Učinkovitost in zanesljivost APU-jev je mogoče optimizirati tudi z digitalnimi programabilnimi krmilniki vrat, ki omogočajo natančno uravnavanje prenapetosti in preklapnih izgub. To oblikovalcem APU-jev omogoča, da zmanjšajo stroške in velikost



Slika 5: Časovno odvisna dielektrična okvara pred in po ponavljajočih se plazovitih okvarah za komercialno dostopne SiC MOSFET-e štirih dobaviteljev.



Slika 6: Grafični uporabniški vmesnik za programabilni gonilnik vrat AgileSwitch™ in valovne oblike izklopa z uporabo (levo) običajnega preklopa in (desno) razširjenega preklapljanja.

APU z nižje napetostnimi komponentami in manjšimi hladilnimi telesi - in odstranijo ure s spajkanja in uparjanja ustreznih uporov na vratih.

ohišje z nizko induktivnostjo in inteligenen gonilnik vrat. Slika 8 prikazuje, kako lahko Microchipovo rešitev uporabite v vezju APU-ja.

Vpliv razširjenega preklopa je prikazan na sliki 6. Za razliko od običajnega izklopa (levo) se razširjeni izklop začne z vklopno napetostjo 20 V in se za določen čas za drževanja premakne na uporabniško programiran vmesni nivo, in končno do stanja izključenosti pri -5 V. Učinki so zaradi izredno nizke induktivnosti SP6LI skromni; rezultati so objavljeni drugje in kažejo izrazitejši vpliv [2,3]. Poleg tega se dogodki kratkega stika hitro zaključijo, kar zmanjša napetost in tok za 60% oziroma 10% (slika 7).

## Popolna SiC sistemski rešitev

Oblikovalci, ki želijo pridobiti z ocenjevanjem sistema z dvojnimi impulzoma preko serijske proizvodnje, bodo potrebovali pospešene razvojne komplete, ki bodo vse tri dele združili v celotno sistemsko SiC rešitev za transportne APU-je: robustne napajalne SiC naprave, močnostno



## Razrežite skozi šum

### Hitri in zanesljivi senzorski vmesniki za zahtevna okolja

Družina mikrokontrolerjev (MCU) ATtiny1627 je opremljena z realnim 12-bitnim ADC-jem s programabilnim ojačevalnikom (PGA), ki omogoča merjenje signalov majhne amplitude in signalov z visokimi nivoji šuma in hitro pretvorbo signalov za aplikacije v realnem času. ATtiny1627 družina je združljiva z MCU tinyAVR® 1 in 0 družinami, zato je selitev med njimi enostavna.

ATtiny1627 družina je popolnoma primerna za vozlišča senzorjev ter majhne in učinkovite krmilne aplikacije. Z dvema USART-oma lahko enostavno nastavite komunikacijo med različnimi vmesniki. Aplikacije vozlišč senzorjev lahko vključujejo pasivne infrardeče (PIR) detektorje gibanja, merjenje termičnih, merjenje nizkega toka, merjenje magnetnega enkoderja. Drugi USART, vključen v družino ATtiny1627, omogoča komunikacijo z več vmesniki znotraj aplikacije.

#### Ključne lastnosti

- Hitro in natančno merjenje signala z 12-bitnim diferenčnim analognim digitalnim pretvornikom (ADC)
- Merite signale nizkih amplitud z uporabo PGA
- Izboljšajte dušenje šuma z vgrajenim vezjem, ki shranjuje in zajema do 1024 vzorcev



microchip.com/attiny1627

Ime in logotip Microchip, logotip Microchip in tinyAVR so registrirane blagovne znamke podjetja Microchip Technology Incorporated v ZDA in drugih državah. Vse druge blagovne znamke so last njihovih registriranih lastnikov. © 2021 Microchip Technology Inc. Vse pravice pridržane. MEC2371-SLO-05-21



Slika 7: Prikaz, kako lahko razširjeno preklapljanje (desno) zmanjša vršno napetost in največji tok med kratkim stikom v primerjavi z običajnim preklpom (levo).

### Zaključek

Uporaba SiC MOSFET-ov v pomožnih pogonskih enotah za transportna vozila ponuja prednosti v primerjavi s silicijevimi IGBT-ji glede na velikost, težo, učinkovitost in šum APU-ja. Te prednosti pa je mogoče uresničiti le z visoko zanesljivostjo na terenu z uporabo robustnih SiC MOSFET-ov, ohišja z nizko induktivnostjo in dovolj inteligentnim gonilnikom vrat, da prevzame nadzor nad zmogljivostjo SiC. Oblikovalci lahko zdaj rešijo izzive pri načrtovanju APU za prevoze s celotnimi sistemskimi SiC rešitvami, ki hkrati omogočajo zmanjšanje velikosti, šuma in odpovedi na terenu pri transportnih APU-jih.

### Viri:

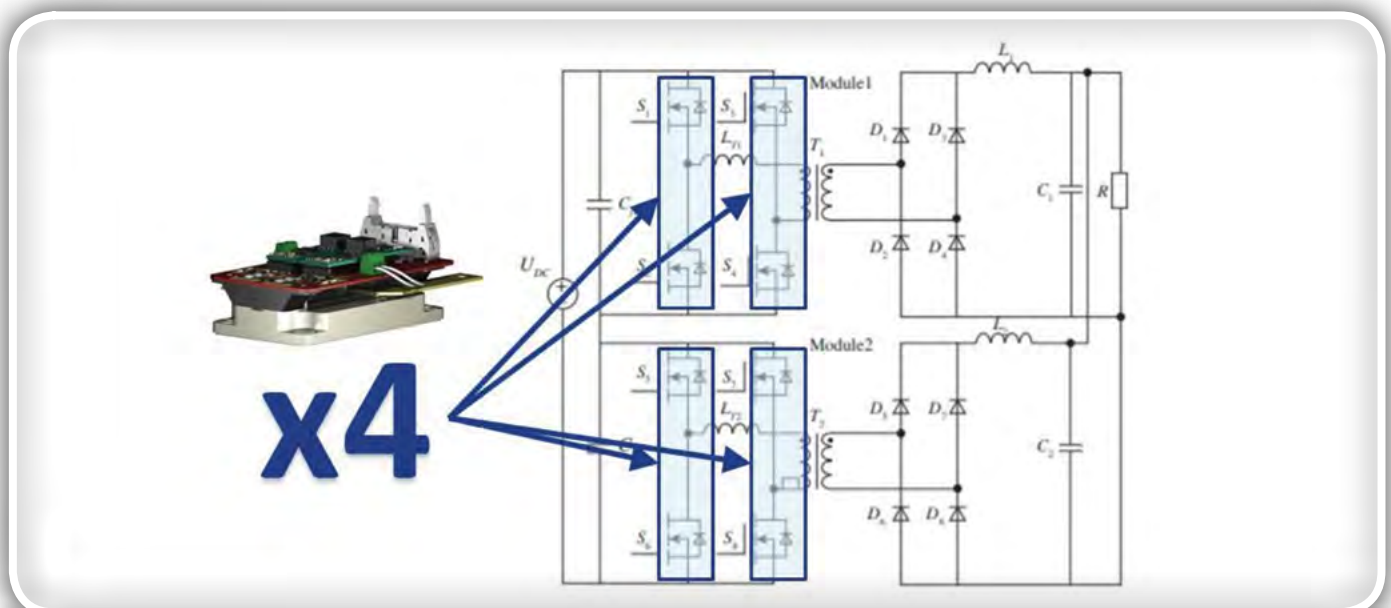
- [1] Agarwal, A. and Kang, M., private communication, 2020.
- [2] Speer, K., Satheesh, N., Kashyap, A., and Bontemps, S., "Streamlined SiC Development With a Total

System Solution," IEEE Power Electronics Magazine, Vol. 7, No. 4, pp. 28-35, 2020.

- [3] Satheesh, N., Robins, C., and Fender, A., "The State of Intelligent SiC MOSFET Gate Drivers," Bodo's Power Systems, pp. 30-33, February 2018.
- [4] Satheesh, N., "Silicon carbide MOSFETs: Handle with care," in Proc. Applied Power Electronics Conference (APEC), San Antonio, Texas, USA, 2018.
- [5] Hayashiya, H. and Kondo, K., "Recent Trends in Power Electronics Applications as Solutions in Electric Railways," IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, vol. 15: 632-645, 2020.

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.

[www.microchip.com](http://www.microchip.com)



Slika 8: Predlagana izvedba celotnega mostu Microchip ASDAK+ s faznim zamikom v delu DC-DC APU-ja predvidenega za transport. [4]

# Tuljave za visoke tokove za avtomobilsko elektroniko

Rutronik GmbH

Avtor: Ralf Hickl, vodja prodaje izdelkov ABU pri podjetju Rutronik

## Majhne in močne.

Novi stikalni tranzistorji, na primer na osnovi galijevega nitrida (GaN), povečujejo delovne frekvence stikalnih napajalnikov. To omogoča uporabo manjših kondenzatorjev in tuljav. Tuljave z visokotehnološkimi materiali v jedrih dodatno prispevajo k visokemu skupnemu izkoristku vezja.

Sodobna integrirana vezja in stikalni tranzistorji za stikalne napajalnike omogočajo z bolj strmimi preklopi vedno večje stikalne frekvence ob še vedno majhnih stikalnih izgubah. Večja stikalna frekvenca omogoča uporabo kondenzatorje z manjšimi kapacitivnostmi in tuljav z manjšimi induktivnostmi. Manjše vrednosti komponent pomenijo tudi manjšo fizično velikost. To pomeni: manj potrebnega prostora, manjša teža in manjši stroški za celotno vezje, hkrati pa se poveča gostota moči. Vse to prispeva tudi k zmanjšanju ogljičnega od-tisa vozila.

Za doseganje dobrega izkoristka pa morajo kljub miniaturizaciji majhni ostati tudi parazitni učinki. Pri tuljavah sta to zlasti enosmerna upornost (DCR) in delovna upornost, s katero v nadomestnem vezju predstavimo izgube jedra. Primer odličnih električnih lastnosti je serija miniaturnih tuljav IHLP podjetja Vishay®.

## Material jedra za nizke izgube zaradi vrtničnih tokov

IHLP je kratica za angleški izraz »Inductor, High current, Low Profile« (tuljava za visoke tokove z nizkim profilom). Jedro tukaj ni feritno, ampak stisnjen kompozitni material, ki ga sestavljata mehkomagnetni železov prah in vezivo iz epoksidne smole. Železov prah pri tem določa magnetne lastnosti. Kompozitni material ni dober električni prevodnik, saj so delci železovega prahu med seboj izolirani, tako da so izgube zaradi vrtničnih tokov majhne.



## Boljša kakovost z boljšo elektromagnetno združljivostjo ...

Pri izdelavi komponente se lakirana bakrena tuljava kontaktira na žični okvir, v kalupu stiskalnice zalije z zmesjo prahu in nato stisne v končno obliko s tlakom do 2,8 t/cm<sup>2</sup>. Tako izdelano telo tuljave ima učinek magnetnega oklopa in s tem zmanjšuje sipana elektromagnetna polja. To pomeni, da dobimo s tem kompaktno tuljavo za visoke moči za površinsko vgradnjo (SMD) z odličnimi lastnostmi glede elektromagnetne združljivosti (EMC).

Tipični načini uporabe za takšne tuljave s stisnjenim telesom so gonilniki LED, stikalni napajalniki, pretvorniki DC/DC in filtri EMC. Posebne zahteve je mogoče izpolniti z različnimi razmerji



Slika 1: Tuljave SMD serije Vishay IHLP® (vir slike: Vishay).

sestavin kompozitnega materiala, različnimi materiali v prahu in ustrezno velikostjo zrn. Čeprav je koncept star že več kot 20 let, v podjetju Vishay recept stalno izpopolnjujejo. Tako še vedno razvijajo nove izvedbe, optimizirane za nasičenost (IHLP... pripona A1), časovno konstanto (L/DCR), faktor kakovosti (IHLP... pripona 1A) ali delovno temperaturo (IHLP... priponi 5A, 8A).

## ... in specifikacijami do 180 °C

Za uporabo v okoljih s strožimi toplotnimi zahtevami so nekatere tuljave serije IHLP specifične za visoke delovne temperature do 180 °C. To prinaša prednosti pri obvladovanju toplote in širi področje uporabe na načine uporabe, kjer so pogoni vgrajeni neposredno na delu vozila, ki ga krmilijo. Verjetnost okvare tuljav (angl. Failure In Time – FIT) se s tem zmanjša, njihova življenjska doba pa se podaljša.

### Dodatne lastnosti tuljav IHLP:

- Najboljše razmerje med enosmerno upornostjo (DCR) in induktivnostjo (L) glede na velikost ohišja (veliko razmerje  $T = L/DCR$ ).
- V delovnem območju je odvisnost induktivnosti L od enosmerne komponente toka razmeroma majhna, približno

stalna ostaja tudi diferenčna permeabilnost  $\mu_{diff} = dH/dB$ . Zaradi tega so tuljave IHLP še posebej primerne za uporabo v stikalnih napajalnikih in filtrih napajalnih tokokrogov.

- Temperaturna odvisnost induktivnosti je v primerjavi z drugimi materiali za jedra majhna.
- Tudi poljska jakost nasičenja ima primerjalno majhno odvisnost od temperature.

## Pripomočki za načrtovanje

Za podporo razvijalcem pri uporabi tuljav ponuja podjetje Vishay orodje »IHLP® Inductor Loss Calculator Tool« (<http://www.vishay.com/inductors/calculator/calculator/>). Podpira topologije stikalnih pretvornikov za povečanje (angl. boost) in zmanjšanje (angl. buck) napetosti ter kombinirano topologijo (angl. buck-boost). Na voljo so tudi 3D-modeli induktivnosti za navidezne modele sestavljenega tiskanega vezja. Podjetje Vishay vam lahko na zahtevo zagotovi tudi modele za električno simulacijo.

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



# Arduino barvni OLED

Hackster Inc.

## Naj bodo vaši projekti "barvni"!

Zaslon je zelo majhen. Ima skoraj enako velikost kot enobarvni OLED zaslon. Toda njegova ločljivost ni enaka. Ima ločljivost 96 × 64 pik. Torej ima nižjo ločljivost pri enaki velikosti. Prikaže lahko 65 tisoč barv! Zaslon, ki sem ga kupil, uporablja SPI vmesnik, zato moramo za njegovo delovanje povezati 7 priključkov. Enobarvne, ki sem jih kupil, uporabljajo I2C vmesnik, ki zahteva le 4 priključke. Torej potrebujemo za barvni OLED več priključnih žic, da ga povežemo z Arduino. Kako to doseči.

## Stvari, ki jih potrebujemo

Za ta enostaven projekt potrebujemo zgolj barvni OLED displej, jaz sem



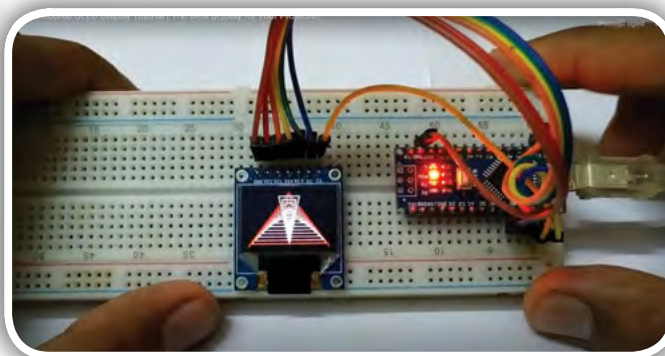
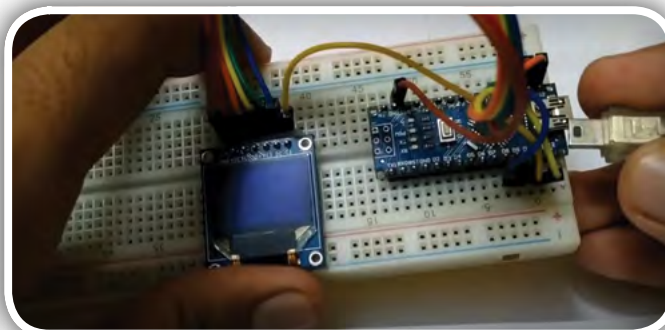
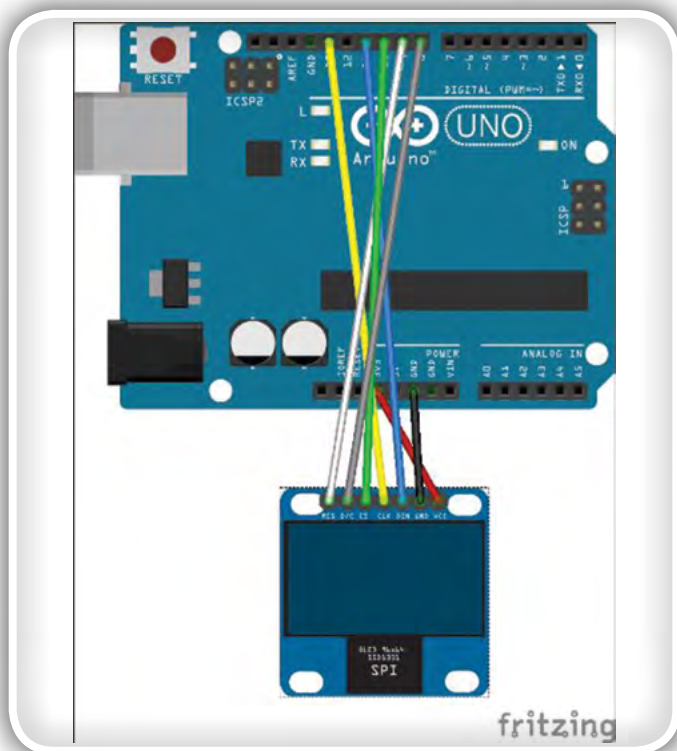
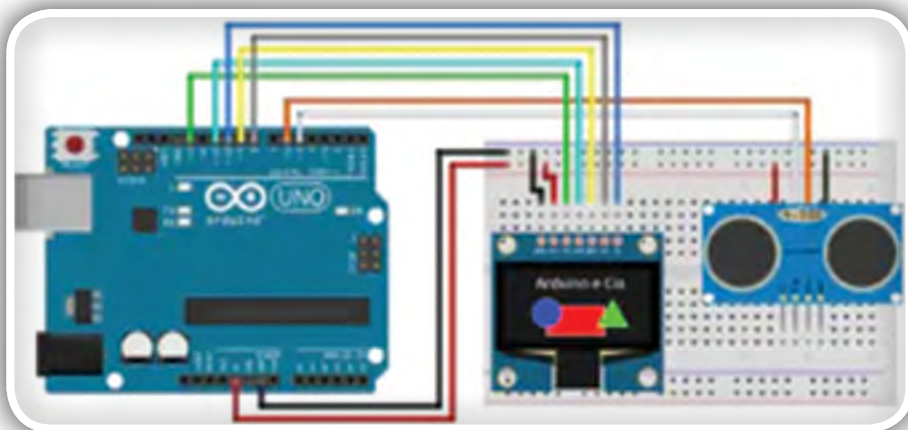
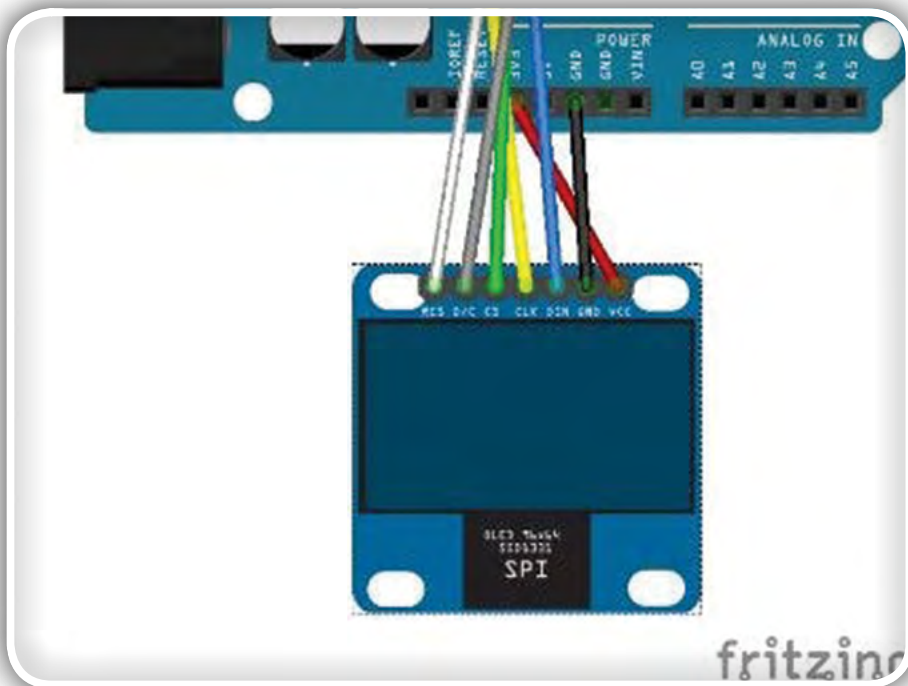
uporabil Seeed Grove - OLED zaslon 1,12-palčni V2 (nabavil sem ga na naslovu [1]).

Barvni zaslon OLED bom povezal z Arduino Uno. GND priključek povežemo na Arduino GND. Vcc priključek povežemo na izhod Arduino Uno na 3,3 V ali 5 V.

Priključim ga na 3,3V izhod Arduino Uno. Naslednji priključek zaslona se imenuje SCL, kar je napaka. Pravzaprav gre za CLK priključek vmesnika SPI. Torej CLK priključek povežemo na digitalni priključek 13 na Arduino Uno.

Naslednji priključek je prav tako napačno označen. Imenuje se SDA, vendar je pravzaprav MOSI priključek SPI vmesnika. Torej 4. priključek zaslona povežemo na digitalni pin 11.

Naslednji priključek je RES, ki ga povežemo na digitalni pin 9. Naslednji - 6. priključek je DC, ki ga povežemo na digitalni pin 8. Zadnji priključek je CS, ki ga povežemo na digitalni priključek št. 10. To je to, zaslon smo povezali s strojnicami SPI priključki plošče Arduino Uno. Na ta način lahko dosežemo najboljšo možno zmogljivost, saj bo OLED deloval hitro. Zdaj vklopite ploščo, da preverimo, ali vse deluje v redu. Kot vidite, zaslon deluje v redu in predstavitvena skica se izvaja.



**Lastnosti:**

- *Gonilniški čip: SSD1331*
- *Vmesnik: SPI*
- *Ločljivost: 96 × 64*
- *Velikost zaslona: 0,95 palca*
- *Barve: 65.000 barv*
- *Vidni kot: > 160 °*
- *Delovna temperatura (°C): -20 ~ 70*
- *Temp. (°C): -30 ~ 80*
- *Delovna napetost: 3,3 V / 5 V*

Knjižnica za ta OLED se nahaja na [2]

**Zaključek**

Lahko bi se vprašali: ali obstaja kakšen poseben razlog, da SCLK priključite na priključek 13 ali najprej na priključek 9? Če bi prvi priključek povezali na priključek 13, DC na 12, CS na 11, SCLK na 10 in MOSI na 9, bi lahko OLED priključili neposredno na Arduino.

Različne plošče Arduino imajo različno razporejene strojne SPI priključke. Ni vam treba uporabljati strojnih SPI priključkov, vendar bo prikazovanje na OLED hitrejšo v primeru, če uporabimo strojne SPI priključke.

```
code C/C++
1 #define sclk 13
2 #define mosi 11
3 #define cs 10
4 #define rst 9
5 #define dc 8
6
7
8 // color definitions
9 #define BLACK 0x0000
10 #define BLUE 0x001F
11 #define RED 0xF800
12 #define GREEN 0x07E0
13 #define CYAN 0x07FF
14 #define MAGENTA 0xF81F
15 #define YELLOW 0xFFE0
16 #define WHITE 0xFFFF
17
18 #include <Adafruit_GFX.h>
19 #include <Adafruit_SSD1331.h>
20 #include <SPI.h>
21
22 Adafruit_SSD1331 display = Adafruit_SSD1331(cs, dc, rst);
23
24 void setup() {
```

**Viri:**

- 1: <https://bit.ly/3b8YFm1>
- 2: <https://bit.ly/3h3etdM>

**Povzeto po:**

- <https://www.hackster.io/robocircuits/arduino-colored-led-652ded>

<https://hackster.io>

# Krmiljenje RGB LED-ic

**Avtorja: Vladimir Mitrović in Robert Sedak**  
**E-pošta: vmitrovic12@gmail.com**

## *Shield-A, učni pripomoček za programiranje mikrokontrolerjev (10).*

Nadaljujemo s preučevanjem večbarvnih (RGB) svetlobnih diod, ki so na razvojnem sistemu Shield-A označene z D8-D11 (slika 36 iz prejšnjega članka).

Razmislili smo, kako optimalno povezati njihovih 16 priključkov, hkrati pa kako bi ohranili možnost neodvisnega krmiljenja rdečih, zelenih in modrih čipov znotraj teh diod s čim manj priključki mikrokontrolerja, in opozorili na težave, ki se pojavljajo.

Ko je razvojni sistem Shield-A nameščen na plošči Arduino Uno, so priključki LED-ic D8-D11 povezani s priključki mikrokontrolerja ATmega328P, kot je prikazano na sliki 39.

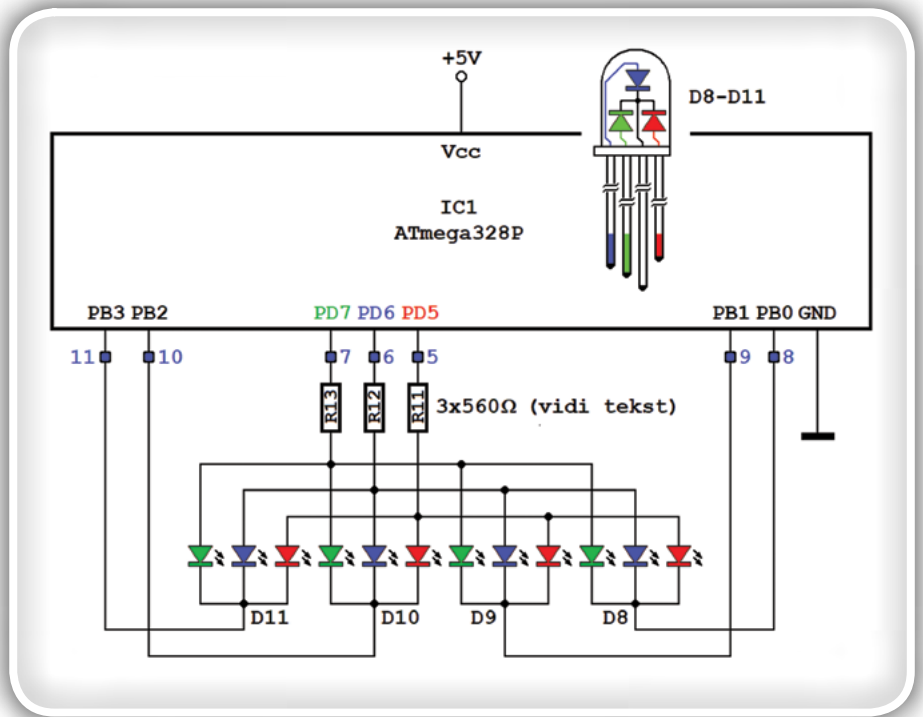
Zavedamo se, da gre za povezavo, ki doseže polno funkcionalnost le v multipleksiranem načinu. Priključki mikrokontrolerja PB0-PB3 (8-11 v zapisu Arduino) se uporabljajo za izbiro diode, PD5-PD7 (5-7 v zapisu Arduino) pa za izbiro barv. Upori 560 Ω omejujejo tok skozi en RGB diodni čip na približno 6 mA.

Tu moramo še pojasniti izbiro vrednosti teh uporov. Sprva bi rekli, da bi morali za najboljše ravnovesje med barvami imeti enake vrednosti. V ravnovesju verjamemo, da nobena barva ni opazno močnejša ali šibkejša od drugih. Na žalost to ni vedno tako. Prva težava je, da padci napetosti na rdečem, zelenem in modrem čipu niso enaki: padci napetosti na rdečem čipu so okoli 2 V, na modrem okoli 2,8 V in na zelenem nekje med tema vrednostima. Zato bo pri napajalni napetosti 5 V tok skozi rdeči čip 36% močnejši od toka skozi modri čip. In četudi so ti tokovi enaki, obstaja še en, še večji problem: jakosti svetlobe, ki jih oddajajo rdeči, zeleni in modri čipi pri istem toku, niso enake; s poceni RGB diodami "brez imena" so lahko tudi zelo različne. Zato bomo optimalne vrednosti uporov najbolje izbrali eksperimentalno z uporabo preprostega vezja s slike 40.

Diode na razvojnem sistemu bomo najpogosteje opazovali z majhne razdalje, zato ne želimo, da svetijo premočno. Zato bomo najprej izbrali 2,2 kΩ upore za R<sub>r</sub>, R<sub>g</sub> in R<sub>b</sub>, kjer je tok



skozi čipe približno 1 mA. Vključimo vsa tri stikala in če dobimo (približno) belo svetlobo zelene jakosti, smo dosegli to, kar iščemo. Pogostejši primer je, da je ena barva bolj izrazita, nato pa je treba povečati upornost njenega upora. V mojem primeru sta bili rdeča in modra že od začetka dobro uravnoreženi, toda zelena je bila tako intenzivna, da sem moral njen upor povečati na 11 k $\Omega$ ! Tega ne bi smeli jemati kot splošno priporočilo, ampak se je treba nekoliko potruditi pri optimalni izbiri: doseči moramo, da so vse tri barve, ko jih vključimo eno za drugo, "na oko" približno enake intenzivnosti, da kombinacije dveh barv dajo čudovito oranžno vijolično in modrozeleno in da je ob vključitvi vseh treh barv svetloba čim bolj podobna beli. Opomba: Če so položaji rdečih, zelenih in modrih čipov jasno vidni skozi ohišje RGB diode, je primereno, da diode pokrijete s kosom tanjšega, prosojnega belega papirja.



**Slika 39:** Tako so priključki svetlečih diod D8-D11 povezani s priključki mikrokontrolerja ATmega328P.

Ko izberemo optimalne vrednosti uporov, jih razdelimo na štiri (zaradi multipleksiranja je srednja vrednost toka skozi vsako diodo četrtnina največjega toka!) in jih namestimo na Shield-A. Na originalnem tiskanem vezju je Rr označen z R11, Rb = R12 in Rg = R13. V mojem konkretnem primeru sem za R11 in R12 izbral 470  $\Omega$  upore, medtem ko sem za R13 vgradil 2,7 k $\Omega$ . Pri drugem tipu RGB diode je bila zelena barva manj izrazita, zato je bila optimalna vrednost "zelenega" upora R13 1 k $\Omega$ . Vredno se je potruditi, da izberemo vrednost teh uporov, saj je končna izkušnja odvisna od dobrega ravnovesja barv!

Ko bomo izbrali in namestili optimalne upore za RGB diode, bomo napisali prvi program, ki jih bo "oživel".

**13. programska naloga:** Na RGB diodi D8 je treba vklopiti rdečo, zeleno in modro luč, ponovite enako na D9, D10 in D11 in nato na vseh štirih diodah hkrati. Poleg tega morajo biti na diodah prižgane barvne kombinacije v enakem vrstnem redu: vijolična (= rdeča + modra), oranžna (= rdeča + zelena), modro-zelena (= modra + zelena) in bela (= rdeča + zelena + modra)

## Bascom-AVR rešitev (program Shield-A\_13a.bas)

Najprej bomo kot izhodne konfigurirali vse priključke mikrokontrolerja, na katere so priključeni priključki RGB diod:

```
Config Portd.5 = Output
Config Portd.6 = Output
Config Portd.7 = Output
Config Portb.0 = Output
Config Portb.1 = Output
Config Portb.2 = Output
Config Portb.3 = Output
```

Spomnimo se, da smo to lahko storili le z dvema ukazoma:

```
Config Portd = &B11100000
Config Portb = &B00001111
```

Nato bomo nastavili vse priključke, na katere so priključene katode RGB diod postavili v stanje logične enice:

```
Portb = &B00001111
```

Ostali priključki so v stanju logične nič (standardno, razen če ni drugače nastavljeno), zato bodo vse RGB diode obratno polarizirane in nobena ne bo zasvetila. Učinek je enak, kot da bi priključke pustili "v zraku", ta izraz smo pojasnili v prejšnjem nadaljevanju.

Bascom-AVR ponuja možnost dodelitve nadomestnih imen posameznim delom mikrokontrolerja, zato bomo priključke PB0 do PB3 poimenovali glede na oznake diod, ki so z njimi povezane:

```
Led8 Alias Portb.0
Led9 Alias Portb.1
Led10 Alias Portb.2
Led11 Alias Portb.3
```

Podobno bodo priključki PD5 do PD7 poimenovali po barvah, ki vključujejo:

```
Crvena Alias Portd.5
Plava Alias Portd.6
Zelena Alias Portd.7
```

To ni potrebno, vendar je program bolj berljiv. Spremenili bomo

barve v podprogramu *Boje*, ki se nahaja na koncu programa. Najprej bomo vklopili rdeči čip, počakali eno sekundo in ga nato izklopili:

```
Boje:
Crvena = 1
Wait 1
Crvena = 0
```

Isto bomo ponovili z zelenim, in nato tudi z modrim čipom:

```
Zelena = 1
Wait 1
Zelena = 0
Plava = 1
Wait 1
Plava = 0
Return
```

Ukaz *Return* nas vrača v glavni program, kjer vklopimo po eno RGB diodo. Najprej bomo vklopili diodo D8, poklicali podprogram *Boje*, ki bodo nanjo "postavili" rdečo, zeleno in modro barvo, nato pa D8 takoj izklopili:

```
Do
Led8 = 0
Gosub Boje
Led8 = 1
```

Isto bomo ponovili z diodami D9-D11:

```
Led9 = 0
Gosub Boje
Led9 = 1
Led10 = 0
Gosub Boje
Led10 = 1
Led11 = 0
Gosub Boje
Led11 = 1
```

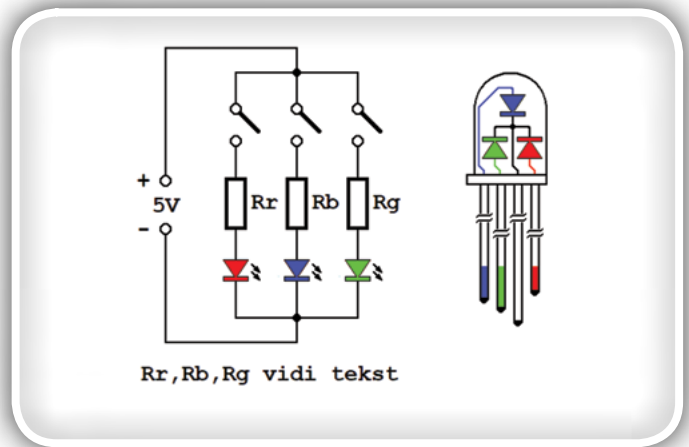
Končno bomo vključili vse LED-ice, poklicali podprogram *Boje* in jih nato izklopili:

```
Portb = Portb And &B11110000
Gosub Boje
Portb = Portb Or &B00001111
Loop
```

Ker se glavni program nahaja znotraj neskončne *Do-Loop* zanke, se bo ponavljal, dokler programa ne izbrišemo ali izklopimo napajanja.

### Bascom-AVR rešitev dodatne naloge (program *Shield-A\_13b.bas*)

Če želimo prikazati barvne kombinacije na RGB diodi, bomo morali hkrati vklopiti dva ali vse tri čipe. Z drugimi besedami, vse binarne kombinacije od 001 do 111 bomo morali pripeljati na priključke D7, D6 in D5 (izključimo kombinacijo 000, ker bi bila potem dioda izklopljena). Za to bomo potrebovali samo



Slika 40: S tem preverjanjem lahko izberemo optimalne vrednosti uporov za RGB diode.

eno *For-Next* zanko v podprogramu *Boje*:

```
Boje:
For Portd = &B00100000 To &B11100000 Step &B00100000
Waitms 500
Next
Return
```

Preostali del programa je enak programu *Shield-A\_13a.bas*!

## Arduino rešitev (program *Shield-A\_13a.ino*)

Ker v programskem jeziku C ni ukaza *alias*, bomo za lažje branje programske kode uporabili spremenljivke z samoumevnimi imeni. Njihova vrednost bo število priključkov:

```
byte led8 = 8;
byte led9 = 9;
byte led10 = 10;
byte led11 = 11;
byte crvena = 5;
byte plava = 6;
byte zelena = 7;
```

Po tem bomo v funkciji *setup()* kot izhodne konfigurirali vse priključke mikrokontrolerja, na katere so priključeni priključki RGB diode:

```
pinMode(crvena, OUTPUT);
pinMode(plava, OUTPUT);
pinMode(zelena, OUTPUT);
pinMode(led8, OUTPUT);
pinMode(led9, OUTPUT);
pinMode(led10, OUTPUT);
pinMode(led11, OUTPUT);
```

Enako lahko storimo s funkcijama *DDRB* in *DDRD* (*DDR* pomeni *Data Direction Register*): *DDRB* (za register B, oziroma za priključke PB0-PB5) in *DDRD* (za register D, oziroma za priključke PD0-PD7). Te funkcije uporabljamo za neposreden nadzor priključkov. Vrednost 0 pomeni, da je priključek konfiguriran kot vhodni, vrednost 1 pa, da je priključek konfiguriran

kot izhodni. Za lažjo vizualizacijo konfiguracije, ki bo dodeljena vsakemu priključku, uporabljamo binarni prikaz vrednosti, ki jih dodelimo registru. Na primer, konfiguracija priključkov D0 ali PDO je definirana s funkcijo DDRD in skrajno desno številko binarne številke. Konfiguracija priključka D7 ali PD7 je definirana s funkcijo DDRD in skrajno levo številko binarne številke.

```
DDRD = B11100000;
DDRB = B00001111;
```

Nato bomo vse priključke, na katere so spojene katode RGB diod postavili na stanje logične enice:

```
digitalWrite(led8, HIGH);
digitalWrite(led9, HIGH);
digitalWrite(led10, HIGH);
digitalWrite(led11, HIGH);
```

Enako lahko naredimo tudi s funkcijo PORTB (PORT je oznaka za Port Data Register, B pa je oznaka registra):

```
PORTB = B00001111;
```

S pomočjo te funkcije neposredno nadzorujemo stanje priključkov. Vrednost 0 pomeni, da je priključek v stanju logične ničle, vrednost 1 pa, da je priključek v stanju logične enice. Binarni prikaz vrednosti, ki jih dodelimo registru, uporabljamo za enostavnejšo vizualizacijo vrednosti, ki bodo dodeljene vsakemu priključku. Na primer, vrednost priključka D8 ali PB0 je definirana s funkcijo PORTB in skrajno desno številko binarne številke. Konfiguracija priključka D11 ali PB3 je definirana s pomočjo funkcije PORTB in četrte številke od desne proti levi binarne številke.

Barve bomo menjali v funkciji *boje()*, nameščeni na koncu programa. Najprej bomo vključili rdeči čip, počakali 1 sekundo in ga nato izključili:

```
void boje(){
digitalWrite(crvena, HIGH);
delay(1000);
```

Isto bomo ponovili z zelenim, in nato tudi z modrim čipom:

```
digitalWrite(crvena, LOW);
digitalWrite(zelena, HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(zelena, LOW);
digitalWrite(plava, HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(plava, LOW);
}
```

Nato bomo v funkciji *loop()* vklapljali eno za drugo RGB diodo. Najprej bomo vključili diodo D8, poklicali funkcijo *boje()* ki bo na njej "zvrstili" rdečo, zeleno in modro barvo in takoj nato vključili D8:

```
void loop() {
digitalWrite(led8, LOW);
```

```
boje();
digitalWrite(led8, HIGH);
```

Isto bomo ponoviti z diodami D9-D11:

```
digitalWrite(led9, LOW);
boje();
digitalWrite(led9, HIGH);
digitalWrite(led10, LOW);
boje();
digitalWrite(led10, HIGH);
digitalWrite(led11, LOW);
boje();
```

Na koncu bomo vklopili vse LED, poklicali funkcijo *boje()* in jih nato izklopili:

```
PORTB &= B11110000;
boje();
PORTB |= B00001111;
}
```

Ker je glavni program znotraj *loop()* funkcije, se bo ponavljal, dokler programa ne izbrisemo ali izklopimo napajanja.

## Arduino rešitev dodatne naloge

### (program *Shield-A\_13b.ino*)

Kot pri rešitvi z Bascom-AVR bomo spremenili samo funkcijo *boje()* z uporabo *for* zanke, preostali del programa pa bo ostal enak. Najprej spremenimo vrednost spremenljivke in nato vrednost spremenljivke posredujemo v podatkovni register vrat D s funkcijo PORTD. To je priporočljiv način dela z registri za lažje spremljanje programske logike in način delovanja *for* funkcije na vrsto spremenljivke. O podrobnih primerih lahko pišemo v ločenem članku.

```
void boje(){
for (int i = B00100000; i <= B11100000; i += B00100000)
{
PORTD = i;
delay(1000);
}
}

***
```

Če dobro pogledate, boste opazili, da je jakost svetlobe posamezne diode šibkejša, ko so vklopljene vse štiri diode. To je v skladu z našimi pričakovanji, saj ta postopek ne uporablja postopka multipleksiranja. Spoznali ga bomo v naslednjem poglavju!

*Opomba: Programi *Shield-A\_13a.bas*, *Shield-A\_13a.ino*, *Shield-A\_13b.bas* in *Shield-A\_13b.ino* se lahko brezplačno dobijo od uredništva revije Svet elektronike.*

<https://svet-el.si>

# AVR, ESP, PIC in drugi Arduino projekti, ko gre za res!

Avtor: dr. Simon Vavpotič  
E-pošta: simon.vavpotic@siol.net

*SpaceX je za sodobna vesoljska plovila Starship v razvoju priredil krmilno elektroniko in programje svojega »delovnega konja«, rakete Falcon 9, a šele v peto se mu je posrečil njegov pristanek z višine 10 km. Podobno velja za domačo elektroniko. Kako hitro in enostavno razvijati? Kako testirati in dopolnjevati ugnezdene programske opremo? Kaj narediti, da bo zanesljivo delovalo tudi, ko gre kaj narobe? Kdaj začeti vsakodnevno uporabljati?*

Svet ni idealen, zato moramo pri razvoju nove elektronike, še posebej njene ugnezdene programske opreme, vselej dobro premisliti in preizkusiti (skoraj) vse možnosti, do katerih lahko pride med delovanjem naprave. V nasprotnem primeru bomo prej kot slej izkusili prastaro reklo, ki je veljalo za prve različice Microsoftovih Windows: »Če ne deluje, zaprite vsa okna in odprite vsa okna... V skrajnem primeru pritisnite tipko reset na ohišju računalnika«. K sreči že dolgo ni več tako, a to grenko izkušnjo je na eni izmed odmevnih televizijskih predstavitev tehnologije Plug nad Play na kanalu CNN v takrat novih Windows 98 izkusil celo Bill Gates.

Še nekaj se lahko naučimo od ustanovitelja in CEO SpaceX, Elona Muska, ki je tudi sam odličen programer. Testiranje moramo izvesti hitro in učinkovito in se ob vsaki napaki, še posebej usodni, čim več naučiti. Elon Musk je tudi diplomirani inženir fizike, kar mu pride še kako prav pri razumevanju težkih problemov načrtovanja (elektronike) vesoljskih plovil. Vsekakor je pomembno, da razumemo delovanje in zgradbo naprave, ki jo gradimo, in ne le, da projekt natančno prekopiramo s spleta. Pri delu ne smemo obupati, saj pogosto uspeh ni tako daleč, kot si mislimo, razen če smo izbrali povsem napačen koncept... Za doma so najboljše enostavne in poceni rešitve, pri katerih je s pravilno izdelano vgrajeno programske opreme malo možnost, da gre kaj narobe, kljub temu pa zadovoljivo rešijo problem.

## Kako bomo razvijali in testirali?

V seriji člankov se bomo lotevali številnih praktičnih primerov programiranja mikrokontrolerjev, vendar ne bi bilo prav, če bi pisanju programske kode samo teoretizirali in prav tako ne, če



Slika 1: Arduino razvojno okolje.

bi bili praktični primeri namenjeni samo eni družini mikrokontrolerjev. Če je programski jezik C/C++ nekoč poenotil programiranje sistemske programske opreme za strežnike in namizne računalnike, je Arduino razvojno okolje danes na dobri poti, da poenoti tehnike programiranja mikrokontrolerjev.

Arduino razvojno okolje je bilo v začetku namenjeno predvsem manj izkušenim programerjem, vendar to ne pomeni, da ga ne moremo uporabiti za pripravo kakovostne ugnezdene programske opreme, saj lahko vanj vgradimo vse programske strukture in funkcije, ki zagotavljajo zanesljivo in varno delovanje. V zahtevnejše razvojna okolja, kot je MPLAB X Harmony, lahko vgradimo enako funkcionalnost, le da se moramo bolj potruditi,

da pridobimo podatke za njihovo delovanje. Denimo, vrednost sistemskega števca v Arduino razvojnem okolju preberemo s preprostim klicem ugnedene funkcije `millis()`, ki vrne 64-bitno nepredznačeno celo število, v MPLAB X Harmony razvojnem okolju pa moramo prej pripraviti ustrezne programske strukture, za kar potrebujemo več programskih vrstic pa tudi vključitev ustrezne programske knjižnice.

## Arduino s chipKIT tudi za Microchip PIC32 mikrokontrolerje

Arduino razvojno okolje mogoče uporabiti tudi za programiranje s chipKITom združljivih razvojnih plošč z Microchip PIC mikrokontrolerji, za katere ne potrebujemo dodatnega Flash RAM čipa, kot ga imajo Espressif Systemsovi ESP moduli, ampak se s pomočjo zagonskega nalagalnika programske kode slednja shrani kar v vgrajeni pomnilnik PICov. Podoben dizajn imajo tudi najnovejši Espressifovi ESP32C moduli. Pri tem za PIC mikrokontrolerje ni bojazni, da bi ostali brez Wi-Fi podpore, saj je v Arduino razvojnem okolju odlična podpora za WINC15x0 module, ki jih povežemo prek SPI vodila.

Za začetnike je zanimiva razvojna plošča chipKIT DP32 s PIC32MX250F128B mikrokontrolerjem, ki je sicer ne proizvajajo več, jo pa lahko izdelamo doma tudi na tiskanem vezju za prototipiranje ali prototipni plošči (angl. protoboard), saj je mikrokontrolerju dodanih le nekaj pasivnih električnih komponent. Za shranjevanje programov lahko prek SPI vodila oddamo tudi zunanji Flash RAM.

Po drugi strani, lahko za razvoj v Arduino okolju uporabimo tudi zmogljivejši PIC32MX270F256B ali že izdelano razvojno ploščo chipKIT Lenny ali katerega od PIC32MZ Starter Kitov, če nanj namestimo zagonski nalagalnik Arduino kode iz datoteke HEX, ali pa v okolju MPLAB X IDE kodo priredimo za izbrani mikrokontroler. Nalagalniki zagonski nalagalniki za standardne

razvojne plošče so v voljo v HEX datotekah, ki jih najdemo na chipKIT spletni strani [chipkit.net](http://chipkit.net).

Če se lotimo izdelave lastne Wi-Fi PIC z Arduino združljive razvojne plošče, je PIC32MX270F256B + WINC1510 modul odlična kombinacija, saj lahko v MPLAB X IDE priredimo zagonski nalagalnik chipKIT Lenny razvojne plošče. Vseeno pa opozorimo, da za prevajanje ugnedene programske kode v 16-bitnem načinu »s« potrebujemo plačljivo različico Microchip XC32 C/C++ prevajalnika. Lahko pa namesto tega uporabimo PIC32MX250F128B z 8 MHz resonatorjem in že preveden zagonski nalagalnik za chipKIT DP32 razvojno ploščo.

## Uporabniški vmesniki

Uporabniški vmesniki naprav z vgnedeno programsko opremo so navadno enostavni, veliko jih niti nima tekstovnega ali grafičnega prikazovalnika, ampak le LED-ice, vseeno pa v zadnjem času postajajo popularni majhni LCD in OLED prikazovalniki, ki jih z napravo povežemo prek SPI ali I2C vodila. O tem več v prihodnjih nadaljevanjih.

Po drugi strani, je pri večini naprav nepogrešljiva taka ali drugačna tipkovnica, ki jo sestavljajo stikalne ali kapacitivne mikro tipke. Večina mikrokontrolerjev, ki jih lahko programiramo v Arduino razvojnem okolju ima vgrajeno strojno podporo za priklop kapacitivnih tipk, za kar najdemo podporo tudi v nekaterih Arduino programskih knjižnicah. Tokrat nas bo zanimalo, kako pravilno zajemati in obdelati pritiske na (mikro) tipke, da bo v mikrokontroler vgrajena aplikacija delovala uporabniku prijazno pa tudi, da bomo lahko eno tipko uporabili za proženje več kot ene funkcije.

## »Podivjana« tipka

Mikro tipke pogosto uporabljamo v domačih projektih, saj so za upravljanje mikrokontrolerjev več kot priročne. Ko je naprava nova, navadno z njimi nimamo veliko težav, ko pa se obrabijo, se obnašajo skoraj kot majhni oscilatorji. Preklop tipke ni več

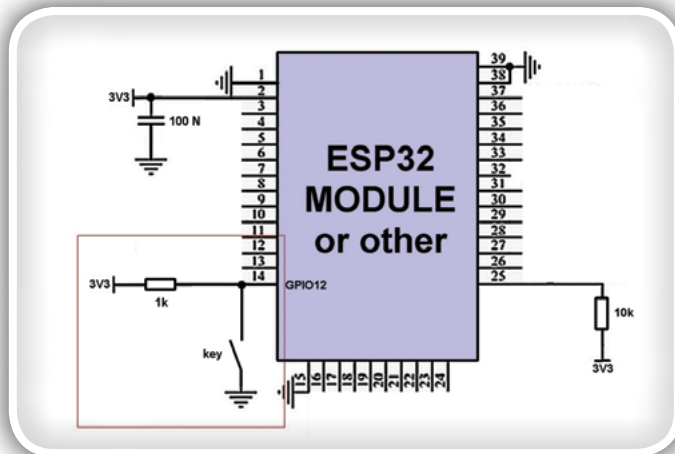
takojšen, ampak lahko mikrokontroler ob enem pritisku zazna več impulzov – t.i. odboje oz. nihljaje signala. Je za to kriv proizvajalec mikro tipk? Smo krivi mi ker smo kupili najcenejše, da bi znižali stroške projekta? Kaj pa če bi vgnedeno programsko opremo namesto tega raje napisali tako, da bi upoštevali tudi možnost neidealnega delovanja mikro tipke?

V Arduino razvojnem okolju je med splošnimi primeri tudi programček Debounce, ki nazorno prikaže eno od tehnik preverjanja stanja tipk in mikro tipke, pri kateri preberemo stanje digitalnega vhoda šele, ko se to umiri za zahtevani časovni interval t.i. debounce time, oziroma čas ko se umirijo odboji in drugi prehodni pojavi. Navadno zadošča okoli pol sekunde. Druga možnost je, da v glavni zanki nekajkrat preverimo digitalni nivo vhoda, s



Slika 2: Doma narejen upravljalnik gesel s tipkovnico iz mikro tipk.

katerim je povezana tipka in izračunamo povprečje. Če je to več kot pol, je tipka pritisnjena, sicer pa ne. Boljša rešitev je meritev časa trajanja logične 0 in logične 1 s pomočjo sistemske ure. V praksi to pomeni, da v spremenljivko najprej preberemo vrednost sistemskega števec, ki se poveča za 1 z vsakim procesorskim taktom, nato pa ob vsakem prehodu sistemske zanke preverimo, ali se je vrednost števec že povečala za zahtevano vrednost, kar lahko prevedemo v trajanje v mikrosekundah ali milisekundah, če poznamo hitrost procesorske ure. Kljub temu enotnega pravila za preverjanje digitalnih vhodov tipk ni, saj se lahko na daljših signalnih linijah od panela s tip-



**Slika 3:** Enostavni priključek mikro tipke na mikrokontroler ali mikrokontrolerski modul

kami do mikrokontrolerja pojavljajo tudi kratkotrajni neželeni impulzi tudi ko čas odbojev mine.

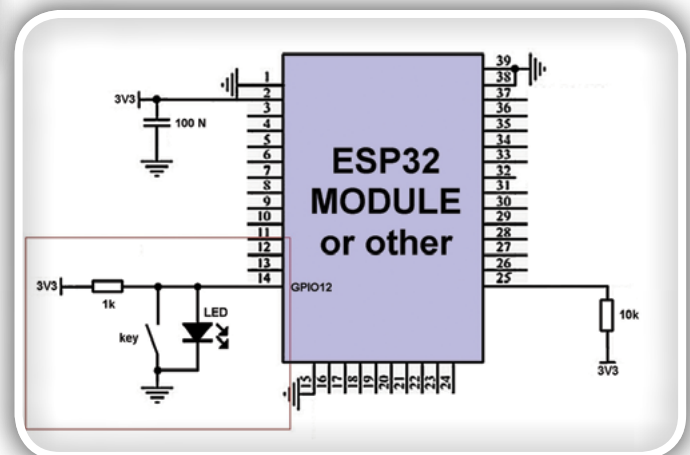
Za praktični preizkus lahko uporabimo tipko za zvonec, ki jo običajno uporabljamo pri vhodnih vratih, ki je zelo trpežno, vendar neidealno stikalo s sorazmerno dolgim časom odbojev. Tipko prek upora (npr. 4,7 k ohm) vežemo med napajalno napetost (npr. +3,3 V) in maso, priključek, kjer je povezana z uporom pa dodatno vežemo na vhod mikrokontrolerja (npr. ESP32 modula). Če smo čas odbojev v Debounce.ino pravilno nastavili, bo mikrokontroler zaznaval le po en pritisk na tipko, ko jo enkrat pritisnemo.

## Kako s tipko sporočimo več kot stanje enega bita?

Enostavna digitalna naprava, denimo predvajalnik zvočnih posnetkov, se na pritisk določene tipke (npr. START) vselej odzove enako. Lahko pa namesto tega isto tipko uporabimo tako za START kot za STOP, če shranjujemo kontekst. Ko predvajalnik ne predvaja zvoka, pomeni pritisk na tipko START, med predvajanjem pa STOP. Zdi se enostavno, a naiven in neizkušen programer bo hitro ugotovil, da se pogosto predvajanje za hip vklopi in nato takoj izklopi. Vendar bo s preizkušanjem navadno prišel do zaključka, da če je tipko po startu dovolj hitro spusti, predvajanje vseeno steče in se ne ustavi. Podobno velja, ko tipko pritisne med predvajanjem in jo mora nato dovolj hitro spustiti, da se predvajanje ponovno ne začne. Kaj je naredil narobe? Pri preverjanju stanja tipke ni upošteval, da

mora tipko najprej spustiti, preden lahko sproži novo akcijo. Torej, pritisk na tipko velja samo, če tipka prej ni bila pritisnjena. Najenostavnejša kontrola v tem primeru, je da program po vsakem pritisku na tipko sproži ustrezno akcijo šele, ko je tipka spuščena. Vendar zna biti to moteče, saj pogosto želimo, da akcija steče že tipko še držimo pritisnjeno. V tem primeru programsko implementacijo raje nekoliko spremenimo, tako da program ob zagonu naprave najprej preveri stanje tipke, ki mora biti spuščena, sicer lahko uporabnika opozori tipkovnica pokvarjena ali da ne deluje pravilno, kot je to pri zagonu osebnega računalnika. Začetno stanje tipke je tako vsakič NEPRITISNJENA. Nato ob vsakem preverjanju stanja s tipko povezanega digitalnega vhoda upoštevamo le spremembo iz 0 v 1, ki pomeni, da je bila tipka spuščena (negativna logika) in iz 1 v 0, ki pomeni, da je bila tipka pritisnjena. Če nas zanima kolikokrat je uporabnik pritisnil tipko, preprosto preštejemo prehode stanja iz 1 v 0. Mogoča je tudi vezava tipke med napajanje in upor. V tem primeru pomeni prehod iz 0 v 1, da je tipka pritisnjena, iz 1 v 0 pa da je spuščena. Pri takem načinu delovanja zmoti le to, da ni ponavljanja akcij oziroma moramo tipko še enkrat pritisniti, če želimo, da se akcija ponovi.

Namesto tega lahko uporabimo nadzor nad ponavljanjem akcij, kakršen je pri računalniški tipkovnici. Zdaj nas zanima čas



**Slika 4:** Raba digitalnega priključka kot vhod in izhod brez zaščite

trajanja pritisnjenosti tipke, torej čas trajanja po prehodu iz stanja nepritisnjenosti tipke v stanje pritisnjenosti. Vsekakor velja stanje pritisnjenosti šele po tem, ko je minil čas odbojev. Če traja pritisk na tipko dovolj dolgo, lahko akcijo ponovimo. Vendar se tako pojavi še vprašanje filtracije morebitnih neželenih kratkih impulzov. Te odstranimo z enostavnim merjenjem časa, ki mora miniti med spremembo stanja digitalnega vhoda in potrditvijo novega stanja tipke.

## Večkratni pritiski na tipko in različno dolga trajanja pritiska

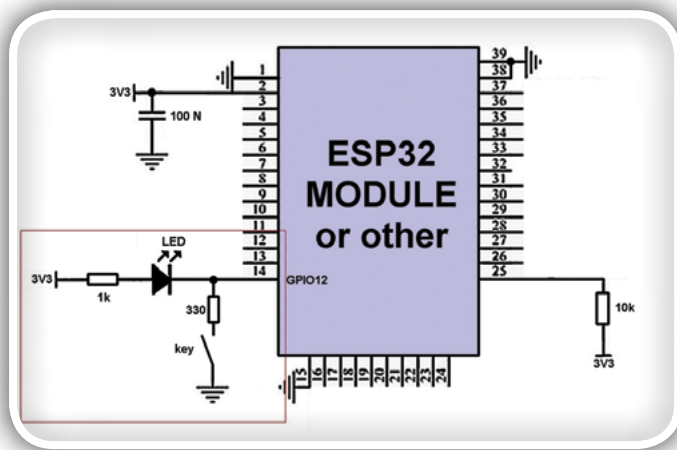
Ustanovitelj Apple, Steve Jobs, je bil dolgo časa prepričan, da na računalniški miški zadošča ena sama tipka, pri čemer navadno en klik pomeni zgrabi, dvoklik pa izvede. Dvoklik že dolgo

uporabljamo tudi v Microsoftovih Windows, čeprav ima večina današnjih mišk dve tipki in kolesce, kar je bolj praktično za izbiro posebnih funkcionalnosti, kot če bi morali naše želje kodirati prek ene tipke. Je pa res, da so tehniko sporočanja veliko informacij preko omejene tipkovnice najbolj izpopolnili proizvajalci klasičnih mobilnih telefonov, pri katerih so morali črke pri sestavi SMS sporočila kodirati prek številčnice. Tudi pri pametnih telefonih z zaslonom na dotik ima navadno tipka za vklop in izklop še kopico drugih funkcionalnosti.

Zaenkrat se omejimo samo na najbolj enostaven primer, ko želimo s tipko za vklop in izklop sporočiti zgolj tri akcije: VKLOPI/IZKLOPI prikazovalnik in PRIŽGI/UGASNI napravo. Kratak pritisk na tipko vklopi ali izklopi prikazovalnik (opcijsko samo njegovo osvetlitev), dolg pritisk pa prižge ali ugaše napravo. Vgnezdno programsko opremo moramo prilagoditi človeški zaznavi toka časa in pri tem upoštevati čas odbojev. Dolg pritisk naj navadno ne bi trajal dlje od dveh sekund, kratki pa naj ne bi bil krajši od 250 milisekund. Zdaj moramo le še izmeriti čas pritisnjenosti tipke, pri čemer lahko kratak pritisk upoštevamo le, če uporabnik tipko spusti pred potekom 2000 ms (dveh sekund).

Želena funkcionalnost tako izdelamo na zelo podoben način, kot ponavljanje akcij v prvem primeru, le da po izteku najdaljšega časa pritisnjenosti tipke prožimo drugo akcijo, v tem primeru izklopimo napravo. Upravljanju vklopa naprave imamo, po drugi strani, dve možnosti: Ker je naprava izklopljena in ne poganja uporabniških programov, bi jo lahko vklopili takoj po pritisku tipke, vendar navadno želimo preprečiti neželen vklop in zato raje počakamo 2 sekundi. Po drugi strani pa si med delovanjem naprave vklop in izklop zaslona sledita takoj, ko uporabnik tipko za vklop spusti.

Če se ponovno navežemo na že omenjeni primer Debounce, ino iz Arduino razvojnega okolja, moramo vanj poleg spremenljivk lastDebounceTime in debounceDelay dodati še spremenljivko delay01, s katero določimo zakasnitev za akcijo VKLOPI/IZKLOPI, ki jo merimo po prehodu stanja digitalnega vhoda iz 1 v 0, ki je določen s trajanjem debounceDelay, vse dokler je



Slika 5: Raba digitalnega priključka kot vhod in izhod s 330 ohmskim zaščitnim uporom.

tipka pritisnjena. Torej bomo napravo vklopili/izklopili po preteku časa delay01 + debounceDelay. Pri tem lahko iz programa preberemo, da je debounceDelay nastavljen na 50 ms, kar na skupno trajanje za proženja akcije VKLOPI/IZKLOPI skoraj ne vpliva (traja 2050 ms namesto 2000 ms).

## Kako krmiliti in zaznavati prek istega digitalnega vhoda?

Čeprav pri sodobnih mikrokontrolerjih s 64 in več priključki redko zmanjka priključkov, si lahko v takih primerih pomagamo tako, da en priključek hkrati uporabimo kot vhod in izhod. Če želimo z istim priključkom hkrati krmiliti signalno LED in preverjati stanje tipke, lahko tipko, LED in digitalni vhod-izhod mikrokontrolerja vzporedno vežemo na skupen upor, ki je povezan na napajalno napetost.

Zdaj lahko LED izklopimo na dva načina, programsko s krmiljenjem priključka kot digitalni izhod z nizkim logičnim stanjem, pri čemer tok steče skozi mikrokontroler namesto skozi LED,

**FG015**

**ULTRAZVOČNI ODGANJALNIK ZA VAŠ AVTO**

[HTTPS//SVET-EL.SI](https://svet-el.si)

**KEMO IZDELKI**

Kemo®

**MO62**

**MINIATURNI ELEKTRIČNI PASTIR ZA MANJŠE ŽIVALI**

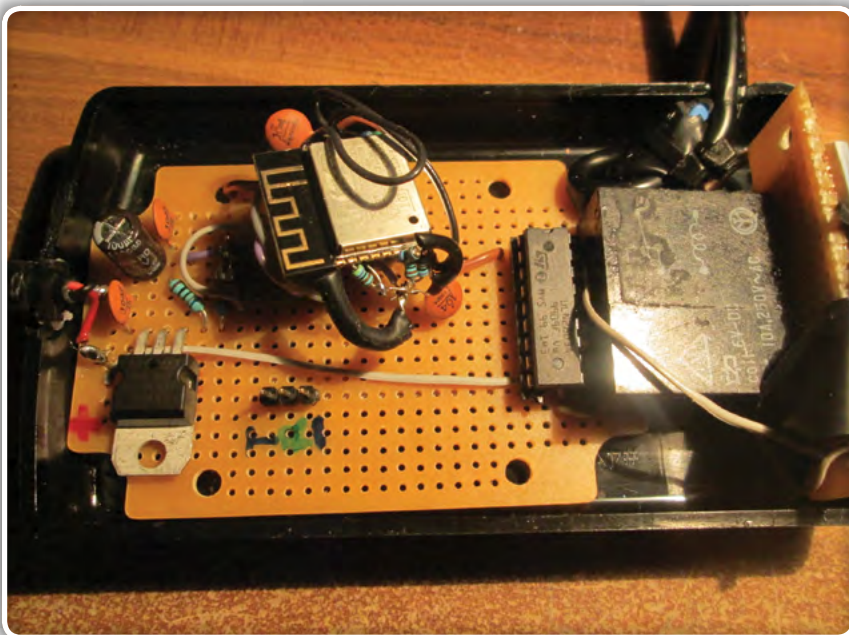
ali z mikro tipko, s katero premostimo LED in tok steče preko stikala namesto preko LED.

Če digitalni priključek sprogramiramo kot vhod, bo LED svetila, razen če pritisnemo mikro tipko, ko bo hkrati na digitalnem vhodu logična 0.

Kaj pa če želimo, da LED sveti samo, ko je mikro tipka pritisnjena? Nič lažjega! Potem LED preko 1 k ohm upora zvežemo na napajanje (+3,3 V ali +5 V, odvisno od izbranega mikrokontrolerja), katodo LED pa vzporedno povežemo z digitalnim vhodom mikrokontrolerja in enostavnim vezjem, v katerem sta zaporedno vezana mikro tipka in 330 ohmski upor. Slednjega moramo dodati za zaščito priključka mikrokontrolerja, ko ta deluje kot izhod. Če je pritisnemo mikro tipko, ki je izhod v visokem stanju, bo tok stekel čez 330 ohmski upor in s tem ne bomo poškodovali mikrokontrolerja. Ko pa deluje priključek mikrokontrolerja kot vhod, bi v visokem stanju (logična 1), saj preko upora napaja LED, vendar je tok tako majhen, da LED ne zasveti, zasveti pa, če pritisnemo mikro tipko. Takrat je digitalni vhod v nizkem stanju in mikrokontroler bo prebral logično 0.

Kaj moramo paziti v Arduino kodi? Preklop med režimoma delovanja izhodnega priključka kot digitalni vhod in digitalni izhod ni hipen, ampak zahteva nekaj malega časa. Zato moramo po spremembi režima iz izhodnega v vhodnega v programski kodi počakati, preden preverimo stanje digitalnega vhoda. Poglejmo:

```
if(!LEDactive){ // Check GPIO only when it is programmed as input
pinMode(SW_GPIO_NUM, INPUT);
button=digitalRead(SW_GPIO_NUM);
...
if(button){ // if button is pressed then LED ON
LEDsignal=3000;LEDactive=true;LEDactive_tm=millis();
pinMode(SW_GPIO_NUM, OUTPUT); // OUTPUT
```



Slika 6: Enostavni relejski krmilnik na osnovi ESP8266 z enim 5 V relejem.

```
digitalWrite(SW_GPIO_NUM, LOW); // LED ON
}
...
} else { // Switch GPIO back to input mode after
if((uint32_t)(millis()-LEDactive_tm)>LEDsignal){
pinMode(SW_GPIO_NUM, INPUT); // little red led on
back of chip
LEDactive=false;
}
}
```

## Kako pravilno meriti sistemski čas

Sistemski čas merimo s pomočjo sistema števec, katerega vrednost najprej shranimo v spremenljivko, nato pa jo primerjamo s trenutno vrednostjo sistema števec. Pri tem je zelo pomembno, da pravilno določimo tip spremenljivke. ESP32 ima vgrajen 64-bitni sistemski števec, ki šteje mikrosekunde, ki se lahko med daljšim delovanjem modula (okoli 50 dni) prevrti in začne ponovno šteti od nič. Medtem, ko Arduino funkcija `millis()` vrača samo vrednost števec v milisekundah in je nepredznačeno 32-bitno celo število. Vendar te funkcije ne smemo zamešati s funkcijo `esp_timer_get_time()`, ki jo imajo samo ESP moduli in prebere celotno 64-bitno vrednost sistema števec.

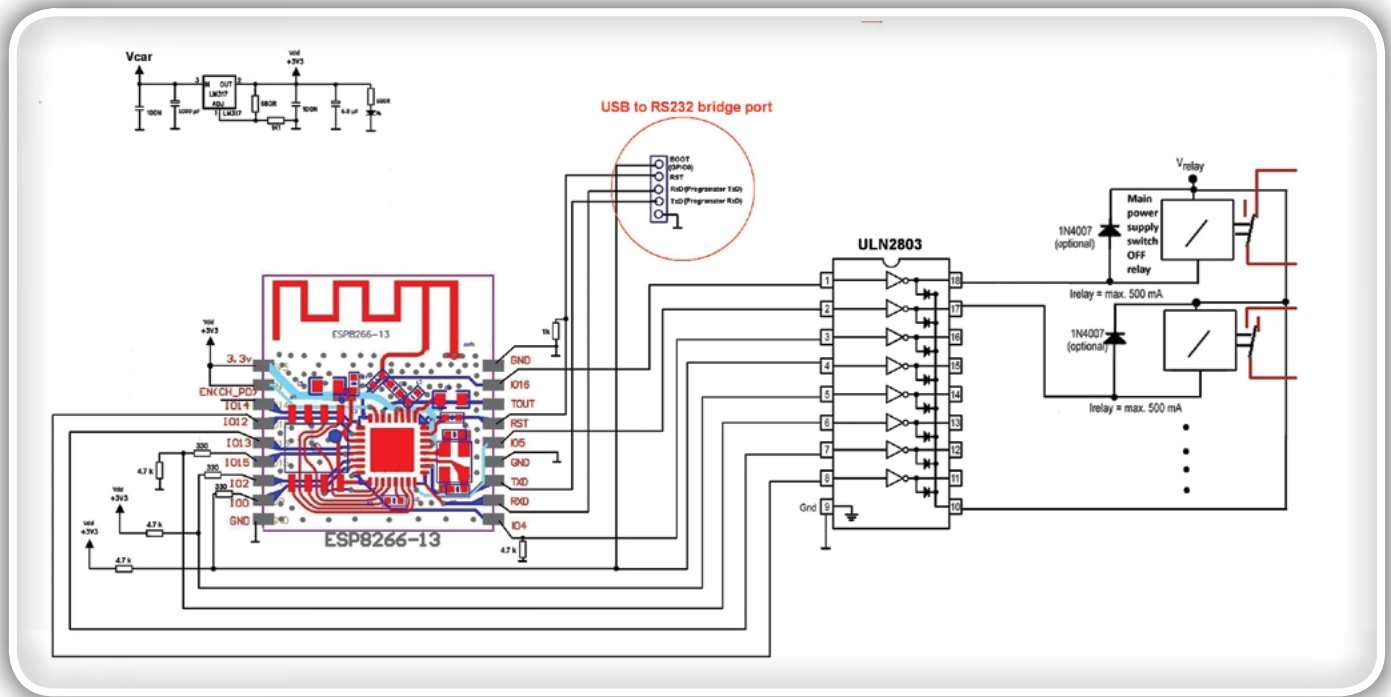
In tu so izkušeni programerji AiThinkerja, proizvajalca ESP32-CAM modulov namerno ali nenamerno naredili napako, saj so za hrambo vrednosti sistema števec izbrali napačen podatkovni tip, 64-bitno predznačeno celo število (angl. integer), namesto nepredznačenega (angl. unsigned integer). Težave so se zato pojavile, ko je sistemski števec presegel polovico svojega dosega, oziroma se je v bit 63 zapisala enica. Zato je program tako vrednost obravnaval kot negativno, namesto kot pozitivno. Razlika med trenutno vrednostjo sistema števec in shranjeno vrednostjo je bila tako zelo velika tudi če sta se vrednosti razlikovali za en sam bit. Tako so potrebne zakasnitve zmanjšale skoraj na nič, kar je imelo za posledico odpoved delovanja.

Napako lahko odpravimo tako, da preprosto zamenjamo podatkovni tip iz 64-bitnega predznačenega števila v 64-bitno nepredznačeno. Če računamo razliko dveh nepredznačenih števil in rezultat shranimo v 64-bitno nepredznačeno vrednost, bo rezultat vselej pravilen.

Podobno velja tudi za funkcijo `millis()`, le da pri tej računamo čas z 32-bitnimi vrednostmi. Za pravilno izračunavanje razlike je tako potrebno v programskem jeziku uporabiti na primer naslednji stavek:

```
uint32_t Tstart=millis();
uint32_t Tdelay;
Tdelay=(uint32_t)(millis()-Tstart);
```





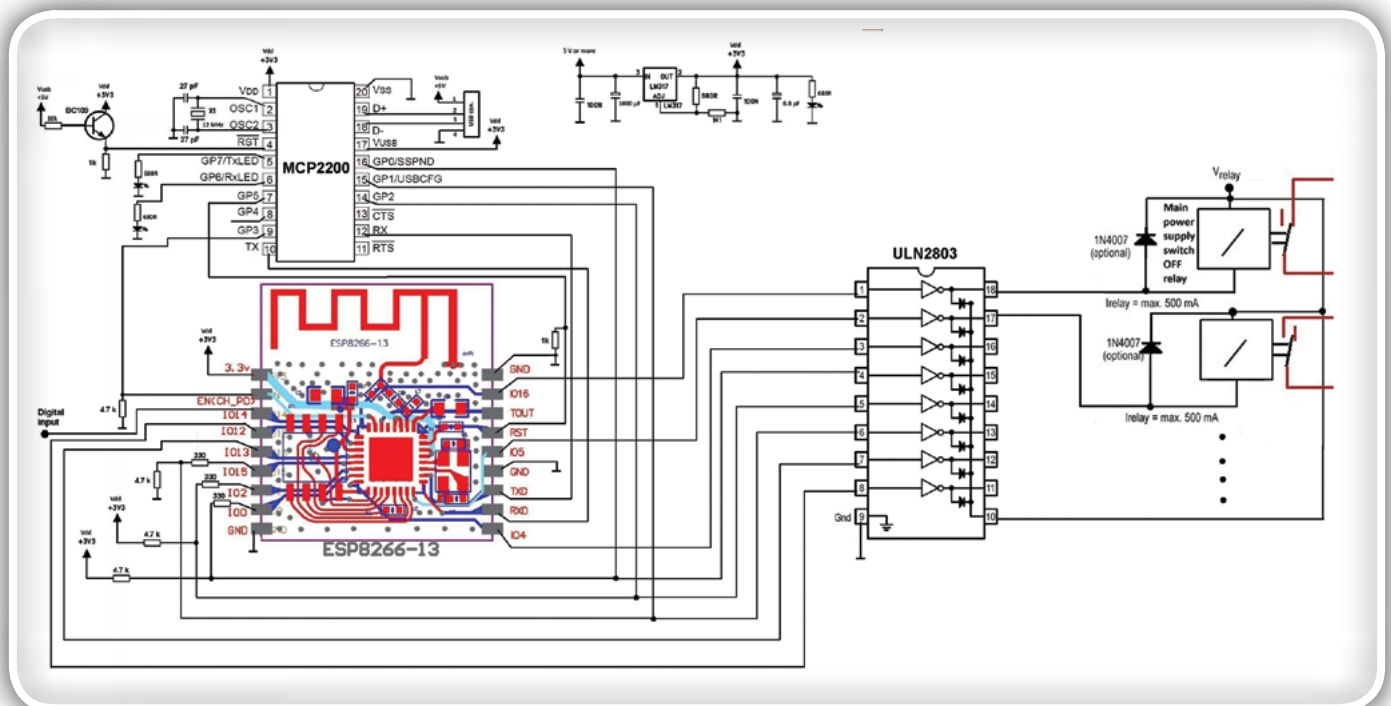
Slika 7: Električna shema enostavnega relejskega krmilnika z do 8 releji.

pri čemer moramo Tdelay in Tstart deklarirati kot spremenljivki tipa uint32\_t. Z dodatno pretvorbo podatkovnega tipa zagotovimo, da to tudi rezultat izračunan kot 32-bitno celo število in bo razlika tudi, če bo funkcija millis() vrnila manjšo vrednost od Tstart, saj bo pri odštevanju prišlo do t.i. prevrtenja. Nasprotno bi morali, če bi hoteli računati s predznačenimi celimi števili, uporabiti vsaj 33-bitni zapis, pri čemer bi bil zadnji bit namenjen za predznak. Vendar bi namesto tega skoraj gotovo raje uporabili 64-bitna cela števila (int64\_t) z dvakrat daljšim zapisom, saj bi s tem ohranili pravilo, da je daljši podatkovni tip sestavljen iz dveh krajših tako, kot smo doslej imeli: int8\_t

(8-bitno predznačeno celo število), int16\_t (16-bitno predznačeno celo število), int32\_t (32-bitno predznačeno celo število).

## PROJEKT: Digitalna preklopna ura z upravljanjem prek Wi-Fi

ESP8266 in ESP32 moduli združujejo kopico funkcionalnosti in znajo sorazmerno dobro meriti čas tudi brez dodatnega 32,768 kHz resonatorja, ki ga mikrokotrolerjih uporabljamo za pogon. Preklopno uro sestavljajo +3,3 V napetostni stabilizator,



Slika 8: Električna shema relejskega krmilnika z do 8 releji z vgrajenim MCP2200 USB-RS232 mostom za upravljanje in programiranje.

Wi-Fi modul ESP8266, krmilnik relejev ULN2803 in do 8 relejev, ki lahko delujejo pri napetosti do +30 V. Za programiranje ESP8266 potrebujemo še USB-RS232 vmesnik, kot so: CH340, CH341, MCP2200, .. Dizajn je sorazmerno enostaven, saj moramo ESP8266 zagotoviti stabilizirano 3,3 V napajanje, medtem, ko se ULN2803 napaja z napetostjo za releje. Če uporabimo 5 V napajalnik in 5 V rele, je vezje, kot je prikazano na sliki, zares enostavno.

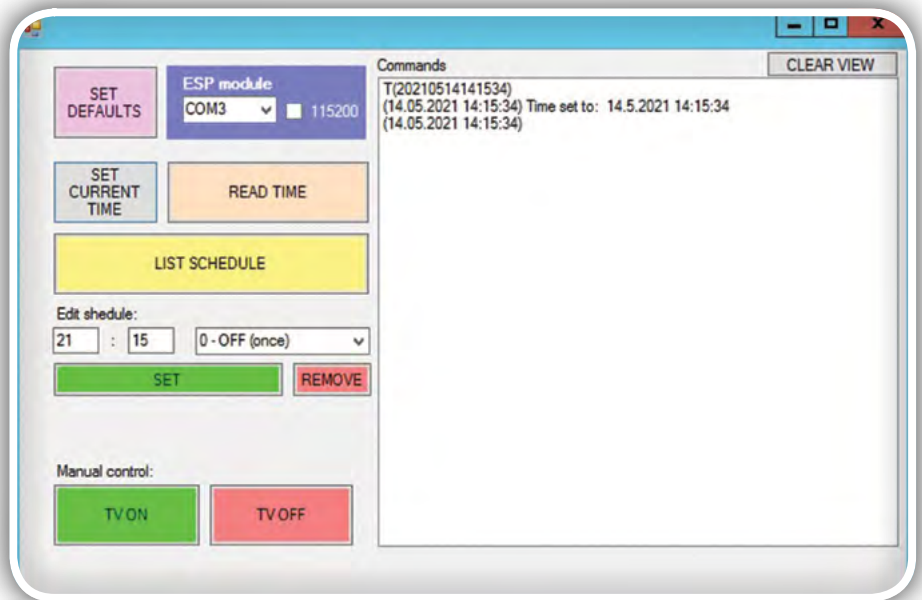
V vezju potrebujemo le še Arduino ugnezdeno programsko opremo, ki si jo lahko prenesete iz spletne strani PC USB Projects. Ker ESP8266 nima ugnezdene strojne podpore za uro realnega časa, je ta realizirana kar v glavni zanki in se osvežuje ob vsakem prehodu glavne systemske zanke s klicem funkcije TimeUpdate(), ki vrednost sekund v programski realizaciji realnega časa na vsakih 1000 ms (1 sekunda) poveča za 1, obenem pa po potrebi poveča tudi števec minut, ur, dni, mesecev in let. Pri tem upošteva tudi prestopna leta. Čas 1 sekunde meri kot razliko časov med dvema klicema iz glavne zanke.

Funkcija Schedule\_process() je namenjena vzdrževanju urnika preklonov relejev. Dokler je urnik prazen preklonna ura zgolj meri čas, ko pa s funkcijo Schedule\_addItem(String s\_event), do damo novo postavko, ob določeni uri prižge ali ugasne krmiljeni rele, odvisno od akcije, ki je navedena v spremenljivki s\_event. S klicem funkcije Schedule\_deleteItem(String s\_event) je brišemo postavke iz urnika.

Ostane le še odgovor na vprašanje, kako nastavimo začetno vrednost ure realnega časa, saj naprava nima tipk. ESP8266 obenem deluje kot telnet strežnik, na katerega se po vzpostavitvi Wi-Fi prijavimo z eno od odjemalskih aplikaciji, ki so na voljo za vse peceje, mikro peceje, pametne telefone in tablice. Na običajnem PC lahko uporabimo na primer TeraTerm, ali pa kar iz ukaznega poziva dosegljivo Microsoft Windows funkcijo telnet, vendar le, če smo to funkcionalnost prej namestili. Prek aplikacije dodajamo in brišemo tudi postavke urnika. Vsekakor pa je prikladnejši način komunikacije preko namenske aplikacije, ki sama tvori za ESP8266 berljiv zapis časa in datuma v obliki znakovnega niza. Ker pa tako aplikacija z »lepotnimi popravki« lahko napiše vsako, omenimo še primera upravljanja preklonne ure prek telnet:

```
Nastavi čas in datum: 1.7.2021, 14:50:55...
T(20210701145055)
Nastavi vklop ob 17:00 (akcija 0 pomeni vklop)...
E01700
```

Kako deluje v praksi? Merjenje časa je pri ESP8266-13 modulu dokaj natančno tudi samo z glavnim 26 MHz oscilatorjem, zato si lahko brez skrbi pomagamo s programsko implementacijo ure realnega časa in ne potrebujemo dodatnega 32,768 kHz



Slika 9: Windows aplikacija za upravljanje digitalne preklonne ure.

oscilatorja, kot to velja za nekatere ESP32, ki so pri takem načinu merjenja časa lahko precej nenatančni. Ni izključeno, da sta za to težavo krivi dve procesorski jedri. ESP8266 modul potrebuje +3,3 V napajanje, medtem, ko večina relejev, primernih za krmiljenje naprav prek omrežne napetosti, zahteva +5 V ali višnjo napajalno napetost, najpogosteje +12 V. Kljub temu pa za napajanje vse logike navadno zadošča že +3,3 V regulator napetosti, ki ga napajamo iz +12 V. Pri tem povejmo, da releji z deklarirano napetostjo 12 V dopuščajo tudi manjša napetostna odstopanja, zato je pred izbiro enosmernega napajalnika dobro preveriti specifikacije proizvajalca.

### Prihodnjič

V naslednjem nadaljevanju se ponovno lotimo pogostih napak pri pisanju ugnezdene programske opreme, poleg tega pa še: Kaj moramo paziti pri krmiljenju grafičnega prikazovalnika? Kako popraviti zamaknjen izpis? Kako izdelati generator znakov? Kako risati grafične elemente? Kako hitro lahko prenašamo podatke? Kako prilagodimo programsko kodo za I2C prikazovalnik za SPI prikazovalnik in obratno? Ali lahko prikazovalnik z vodilom SPI spremenimo v prikazovalnik z vodilom I2C?

Kako zagotovimo stabilno komunikacijo med dvema Arduino napravama, če za prenos podatkov pri uporabimo diagnostični zaporedni vmesnik RS232? Kako ločimo komunikacijo naprav od diagnostičnih sporočil? Preizkusili bomo neposredno zaporedno povezavo med ESP8266 in ESP32. Že res, da modula lahko komunicirata prek Wi-Fi, ampak če sta v isti napravi, sta navadno blizu skupaj, zato je lahko moten prenos z oddaljenih naprav. No, kakorkoli, če ju povežemo s kablom, bosta sodelovala ne glede na zasedenost Wi-Fi frekvenčnega prostora. Preizkusili bomo tudi, ali se da antenska priključka ESP32 modulov preprosto povezati s koaksialnim kablom in kako hitro lahko v tem primeru prenašamo podatke. Ukvarjali se bomo tudi za napajanjem in nastavljanje napetost, pri kateri ESP modul zaradi varnosti preneha delovati t.i. brownout voltage...

<https://svet-el.si>

# PYTHON 5

Avtor: Boštjan Šuhel  
E-pošta: bostjan.suhel@gmail.com

*Python (Vir:2) je tolmač. Je enostaven, pokriva vse programerske vsebine in je orodje številnih uporabnikov in razvijalcev. Preden začnemo raziskovati izbrane vsebine si moramo pogledati osnove (Vir:1).*

Na spletu obstaja veliko posnetih izobraževalnih tečajev. Vabim vas, da si kakšnega ogledate. Pri python-u velja, tako kakor pri ostalih tehnologijah, da izkušnje štejejo. Ni odveč omeniti, da je to prvi produkcijski razvojni jezik, kjer ni potrebno znanje dveh jezikov. Do sedaj smo knjižnice in gonilnike pisali v C-ju ali strojnem jeziku. Tehnologija cython (Vir:3) avtomatsko prevede python knjižnico v C in potem C v Python izvršilno knjižnico. Poglejmo si strukturo, rekurzijo, slovar, datoteko in sistem.

## struktura.py

Programski jeziki so strukturni. Strukturo določa strukturni pravopis. Python uporablja ključne besede `if`, `for` in `while`. Za strukturne ukaze je značilna ključna beseda, pogoj in dvopičje. Za ukazom ki se zaključí z dvopičjem sledi zamik. Zamik

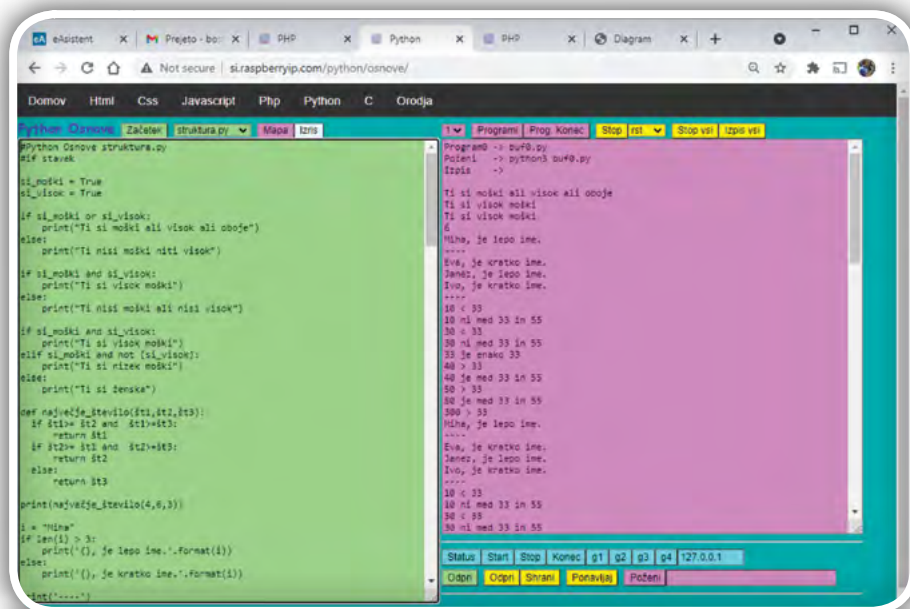
prve vrstice za dvopičjem določí telo strukture. Vsi ukazi v telesu, ki je na istem nivoju morajo imeti začetek vrstice na isti poziciji. To je značilno za python. Gre za veliko izkušenj z pisanjem programov in desetletja nabiranja praks kodiranja. Osnovni in izbrani primeri kažejo na moderne oblike kodiranja, ki lovijo ravnotežje med razumljivostjo, kompleksnostjo in hitrostjo kodiranja. Pri vsakem opisovanju kodiranja se nujno sklicujemo na pedagoške pristope in primere dobre prakse, ki so potrjeni s strani uporabnikov (npr. Vir:7) in uradnih predstavnikov (Vir:2). Za prvo leto učenja python jezika imamo na slovenski izdaji (Vir:8) v Dokumentih/python/osnove 32 osnovnih vaj, ki se učijo v terminalu. Odvisno od nivoja šolanja, je to letoletni ali ustrezno krajši priporočeni začetek.

## rekurzija.py

Rekurzija je programska možnost, ko funkcija kliče samo sebe. Šolski primer je računanje fakultete števil. Fakulteta števil je tudi lahko merilno orodje za testiranje matematike programskega jezika. V našem primeru lahko izračunamo 998!. Absolutni rekord rekordov. Rekurzivni algoritmi so lahko razumljivi in pregledni, zahtevajo pa kar veliko osnovnega poznavanja J. Ena od ugotovitev je, da python podpira nove pravopisne prijeme, ki so hitrejši, preglednejši, zahteva pa več prakse, da se nam zapis zares odpre.

## slovar.py

Slovar je v python jeziku osnovna podatkovna struktura. Teh-



Slika 1: struktura.py

```
i = 1
while i < 6:
    print(i)
    i += 1
```

```
si_moški = True
si_visok = True
```

```
if si_moški or si_visok:
    print("Ti si moški ali visok ali oboje")
else:
    print("Ti nisi moški niti visok")
```

```
for i in j:
    if len(i) > 3:
        print('{} , je lepo ime.'.format(i))
    else:
        print('{} , je kratko ime.'.format(i))
```

nično gre za dodajanje iskalnega ključa. Tag ali ključ, je na splošno vseprisoten. Teoretično se premaknemo iz numeričnega ključa na ključ na zapisu. V zgodovini smo to naredili,

```

python Osnove Začetek rekurzija.py Mapa Iznis
Python Osnove: rekurzija.py
rekurzija vnesi vhodni parameter!
import sys

def rekurzija(x):
    if x == 1:
        return 1
    else:
        return (x + rekurzija(x-1))

if len(sys.argv)==2:
    print('[]-[]')
    .format(sys.argv[1],rekurzija(int(sys.argv[1])))
else:
    print('Vnesi argument tipo int.')
```

Slika 2: rekurzija.py

```

python Osnove Začetek slovar.py Mapa Iznis
Python Osnove: slovar.py
pretvorniKmesecev = {
    "Jan": "Januar",
    "Feb": "Februar",
    "Mar": "Marec",
    "Apr": "April",
    "Maj": "Maj",
    "Jun": "Junij",
    "Jul": "Julij",
    "Avg": "Avgust",
    "Sep": "September",
    "Okt": "Oktober",
    "Nov": "November",
    "Dec": "December"
}

print(pretvorniKmesecev["Sep"])
print(pretvorniKmesecev.get("Jul"))
print(pretvorniKmesecev.get("Ju", "Ni veljaven ključ"))
```

Slika 3: slovar.py

```

python Osnove Začetek datoteka.py Mapa Iznis
Python Osnove: datoteka.py
zaposleni_datoteka = open("Test.txt", "a") #Odpremo novo datoteko Test.txt
in vpisovanje
zaposleni_datoteka = open("Test.txt", "a") #Dopremo datoteko Test.txt za
dodajanje
zaposleni_datoteka = open("Test.txt", "r") #Odpremo datoteko Test.txt za
odčitavanje in vpisovanje
zaposleni_datoteka.write("Borut - čistilca\n") #Vpisovanje v datoteko
zaposleni_datoteka.close()

zaposleni_datoteka = open("Test.txt", "r") #Odpremo datoteko že test.txt iz
ranje
if zaposleni_datoteka.readable():
    print(zaposleni_datoteka.read()) #Ranje celotne vsebine
    print(zaposleni_datoteka.readlines()) #Ranje vse vrstice
    print(zaposleni_datoteka.readlines()) #Ranje vrstic
    print(zaposleni_datoteka.readlines()[1]) #Ranje oddelčene vrstice
    for zaposleni in zaposleni_datoteka.readlines():
        print(zaposleni)
print(zaposleni_datoteka.read())
zaposleni_datoteka.close()
```

Slika 4: datoteka.py

ko smo telefonsko številko zamenjali za email, ali kak drug zapis oziroma ključ. Vse ključe lahko še danes zamenjamo z IP številko ali navadno številko. Slovarji omogočajo veliko bolj intuitivne programe. Brez uporabe slovarjev bi zelo hitro trčili ob meje predstavljanja s strani človeških možganov. Ko nekaj zapišemo je raven intuicije ključna za široko sprejemanje tehnologije.

## datoteka.py

Datoteke oziroma boljše rečeno tekst datoteke, so osnove zapisa parametrov. Teoretično je lokalna datoteka zapis podatkov, ki smo jih uporabili, spremenili in zapisali tekem uporabe programa. Pri zapisovanju datotek je potrebno imeti potrebna dovoljenja. Datoteka se lahko zapisuje na strani strežnika ali odjemalca. Datoteko zapisujemo v podatkovni nosilec ali v spomin, če je del podatkovne strukture prenesen v spomin (npr. mapa /tmp v Linuxu). Pri zapisovanju datoteke moramo upoštevati največje število zapisov v SSD, na eni lokaciji. Ker je shranjevanje vmesnih rezultatov (npr. rezultat meritve) najlažje spraviti v datoteko, je potrebno razmišljati o prevelikem številu zapisov v to datoteko, če npr. temperaturo merimo na 1s. Datoteka je tudi idealna za prenos podatkov med programi. Tu se moramo vedno zavedati, da smo v več uporabniškem OS. Če npr. staro datoteko brišemo in potem vpišemo novo z istim imenom, lahko drug program vmes ostane brez datoteke.

## sistem.py

Iz pythona lahko poženemo sistemske ukaze ali druge programe, kot da bi to naredili iz ukazne vrstice. Tukaj gre za dovoljenja in tudi za to, kako to naredimo. Kaj lahko naredimo, je nemogoče opisati. Primer zažene mp3 pesem, ki si jo naključno izbere izmed vseh pesmi na podmapi. S posnemanjem ukazne vrstice poženemo svoj program v več uporabniškem OS. Glavni program čaka (ali ne čaka) zaključek klicanega ukaza (ali programa). Klicanje ukazov (ali zaporedij ukazov - skript) ali programov iz programa je tako pogosto, da sem ta lep primer uvrstil med osnove.

S tem smo serijo osnove zaključili, vamim vas na ogled filma za python začetek, potrudite se in napravite 32 vaj v ukaz-

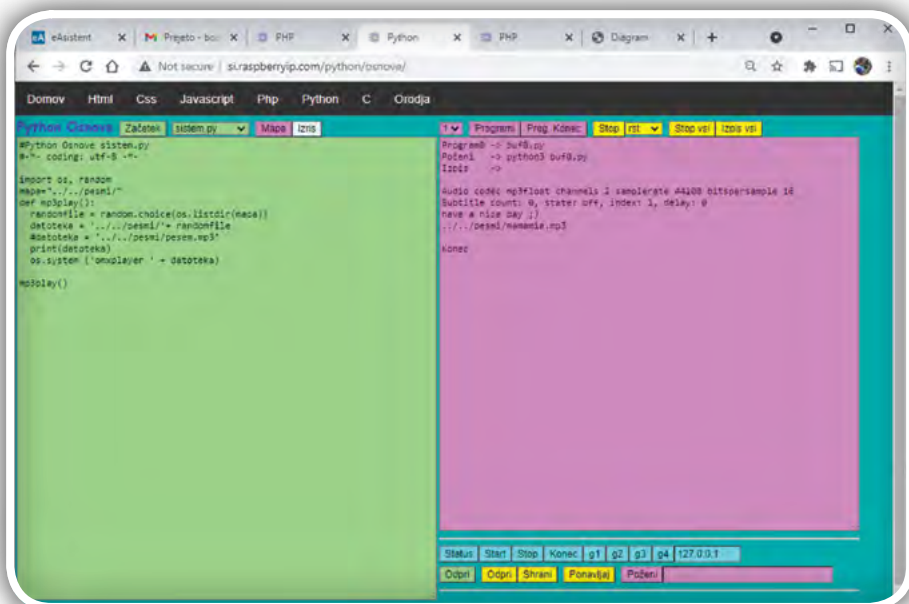
ni vrstici, napišite kak svoj program in poizkusite kake vsebine osnov kombinirati. Tu velja pogum, štejejo pa izkušnje in pretečeni kilometri. Ko obvladamo osnove, je čas za kombinacijo tehnologij, izbrane vsebine in učne projekte. Pri projektih govorimo o orkestraciji tehnologij. Dejstvo je, da samo z eno tehnologijo lahko naredimo bore malo.

Za trening pythona rabite samo povezavo na moj domači strežnik z naloženo slovensko izdajo in že lahko poljubno spreminjate in preizkušate programe. Praktično vsaka naprava, ki jo uporabljamo v našem laboratoriju nove mehatronike na TŠC Maribor ima v sebi računalnik in Slovensko izdajo. Enostavno, poceni in hitro, kot še nikoli v zgodovini. Če morda pomnite politične akcije okoli računalnika pod 100€, je to to. Za nas elektrotehniko je pa to izpolnitev tehnoloških želja skozi desetletja in seveda ultimativno orodje razvoja.

### Naslednjič

Preden nadaljujemo, si moramo pogledati minimalno učilo. Kako si nabavimo material, kako povežemo modul s štirimi tipkami in štirimi diodami na GPIO vtikač male matične plošče. Posebej za minimalno učilo so napisane vaje, ki med drugim pokažejo, kako lahko na en GPIO pin priključimo tipko in LED-ici ter obe polno izkoriščamo. Popravljen in posodobljen so tudi vaje za osnovna vrata in časovne člene. Vmes ste vabljeni k nakupu matične plošče in modulčka. Rabite še povezovalne kable, SD kartico in napajalnik. Večina prenosnih računalnikov že ima vgrajen čitalnik SD kartic, poskrbeti moramo samo za adapter za male SD kartice.

Vedno bolj se kaže uporabna vrednost minimalne postavitve učila, ki ima poleg male matične plošče priključene samo še tipke (Vir:6). Gre za dejstvo, da lahko 80% vaj pripravimo z



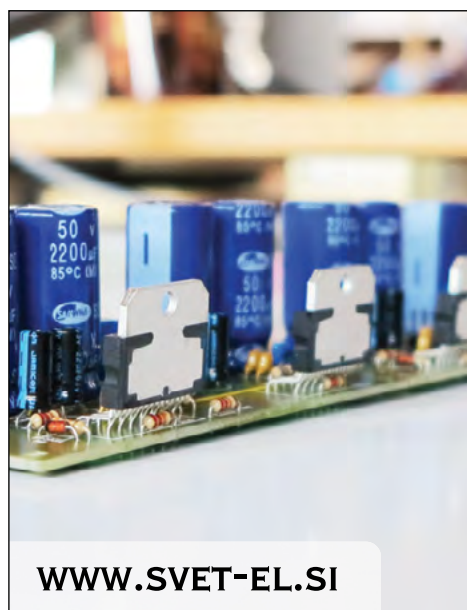
Slika 5: sistem.py

minimalno postavitvijo, vključno z vajami povezovanja (učenci morajo povezati 6 linij po Arduino standardu). Drugi razlog je cena, ki skupaj z napajalnikom, SD kartico in modulom ne preseže 60€.

### Viri:

- <http://si.raspberrypi.com/python/osnove/>
- <https://www.python.org/>
- <https://cython.org/>
- <http://si.raspberrypi.com/>
- <https://www.youtube.com/watch?v=jf3GdvAFHsE>
- <https://www.banggood.com/CJMCU-0401-4-bit-Button-Capacitive-Touch-Proximity-Sensor-Module-With-Self-locating-Function-p-1118016.html>
- <https://www.youtube.com/watch?v=rpscVS0vtbw>
- <http://si.raspberrypi.com/>

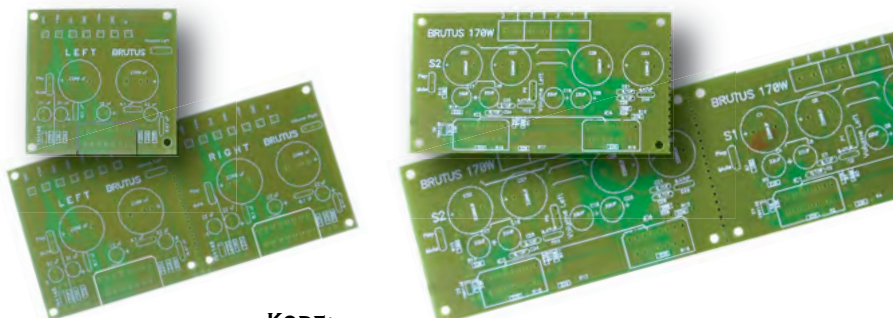
<https://svet-el.si>



WWW.SVET-EL.SI

## BRUTALNO DOBER OJAČEVALNIK!

BRUTUS - DELUJE V MOSTIČNI VEZAVI,  
KAR MU ZAGOTAVLJA VISOKO IZHODNO MOČ



KODE:

5KIT0039, 5KIT0029, 5KIT0040, 5KIT0030

# Spoznajte se z režimom globokega spanja ESP32

Hackster Inc.

*Si predstavljate, da bi vaš projekt na običajnih baterijah AA deloval skoraj 5 let? To je mogoče s čipom ESP32.*

## Kaj smo uporabili v tem projektu

Dragi prijatelji, dobrodošli v branju tega članka! Tokrat se bomo naučili, kako preklopiti čip ESP32 v način globokega spanja, da prihranimo energijo in naredimo naše projekte prijazne do baterije. Si predstavljate, da načrtujete projekt, ki bo deloval na običajnih baterijah AA skoraj 5 let? To je mogoče s čipom ESP32.

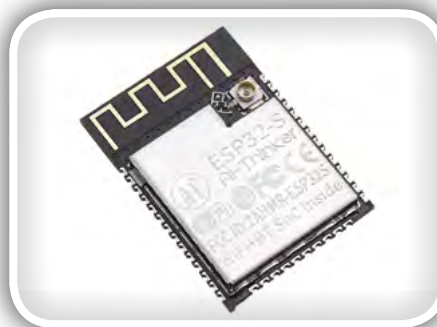
Čip ESP32 je fantastičen čip z odličnimi lastnostmi. Ponuja veliko procesorske moči, dve 32-bitni jedri, veliko pomnilnika, Bluetooth in WiFi v majhnem in enostavnem čipu. Ena najbolj zanimivih stvari pri čipu ESP32 je ta, da ponuja način globokega spanja z nizko porabo energije, ki je zelo enostaven za uporabo. Poglejmo, kako ga uporabiti.



## 1. korak: kaj potrebujemo?

V tem članku bom uporabil nekatere komponente. Zato, če želite ta projekt preizkusiti sami, potrebujete naslednje:

- *Katero koli ESP32 ploščo* - <http://educ8s.tv/part/ESP32>
- *Firebeetle ESP32 ploščo* - <http://educ8s.tv/part/FireBeetle>
- *Razvojno ploščo* - <http://educ8s.tv/part/LargeBreadboard>
- *Povezovalne žice* - <http://educ8s.tv/part/Wires>
- *LEDice* - <http://educ8s.tv/part/LEDs>
- *Multimeter* - <http://educ8s.tv/part/Multimeter>



ESP32S podjetja Espressif [1]

## 2. korak: sestava ESP32 plošče

Znotraj ESP32 čipa lahko najdemo dve procesorski jedri, RAM in ROM pomnilnik, WiFi modul, Bluetooth modul, modul za pospeševanje strojne opreme za kriptografske aplikacije, RTC modul in veliko periferije. Znotraj RTC modula lahko najdemo PMU (Phasor merilno enoto) majhen 32-bitni koprocesor in 8 KB pomnilnika RAM, ki porabi malo energije. Ta majhna količina

na pomnilnika je zelo koristna, saj boste to ugotovili v trenutku. Upoštevajte tudi, da je celo pomnilnik RTC modula znotraj čipa ESP32 4-krat večji od pomnilnika Arduino Uno.

WiFi moduli, procesorska jedra in Bluetooth modul potrebujejo za delovanje veliko toka. Če želimo varčevati z energijo, jih moramo onemogočiti, kadar jih ne uporabljamo. To bomo storili zdaj. ESP32 bomo postavili v način globokega spanja, kjer se onemogoči vse, razen RTC modula.

Obstajata način spanja in način globokega spanja. V načinu globokega spanja ESP32 ponuja najnižjo porabo energije. **V načinu globokega spanja potrebuje le 0,01 mAs energije in zato bomo to poskusili realizirati.**

## 3. korak: ESP32 v režimu globokega spanja

V tem načinu, kot sem že rekel, je vse onemogočeno. Vsa CPU jedra, WiFi in Bluetooth modula, periferija in tako naprej. Skupaj s CPU je onemogočen tudi glavni pomnilnik čipa, zato je vse, kar je shranjeno v pomnilniku, za vedno izgubljeno.

Edini modul, ki še vedno deluje v načinu globokega spanja, je RTC modul, soprocesor z izjemno nizko porabo in njegov pomnilnik! Torej, če podatke, ki jih želimo shraniti v načinu globokega spanja, shranimo v RTC pomnilnik, bodo podatki, ko čip spet zbudimo, nedotaknjeni.

Obstajajo trije načini za prebujanje čipa. Uporabimo lahko časovnik, GPIO pin ali so-procesor.

Tokrat se bomo naučili, kako s pomočjo časovnika prebuditi čip po določenem času. Poglejmo primer.

SPECS/BOARD	ESP32	ESP8266	ARDUINO UNO
Number of Cores	2	1	1
Architecture	32 Bit	32 Bit	8 Bit
CPU Frequency	160 MHz	80 MHz	16 MHz
WiFi	YES	YES	NO
BLUETOOTH	YES	NO	NO
RAM	512 KB	160 KB	2 KB
FLASH	16 MB	16 MB	32 KB
GPIO PINS	36	17	14
Busses	SPI, I2C, UART, I2S, CAN	SPI, I2C, UART, I2S	SPI, I2C, UART
ADC Pins	18	1	6
DAC Pins	2	0	0

## 4. korak: primer globokega spanja

Na ESP32 ploščo sem priključil dve LED-ici. Ko se ESP32 zažene, za tri sekunde zasveti rumena LED-ica, nato pa za 3 sekunde preide v način globokega spanja. Ko se zbudi, za 3 sekunde prižge zeleno LED-ico in spet zaspi.

Odslej bo utripala le zelena LED-ica, zato se čip spomni, da se ob zagonu ne vklopi, ker uporabljamo RTC pomnilnik za shranjevanje celoštevilčne vrednosti.

Na hitro si oglejmo kodo tega projekta. Kot lahko vidite, je koda zelo preprosta. Za preklon ESP32 v način globokega spanja potrebujemo le dve vrstici kode.

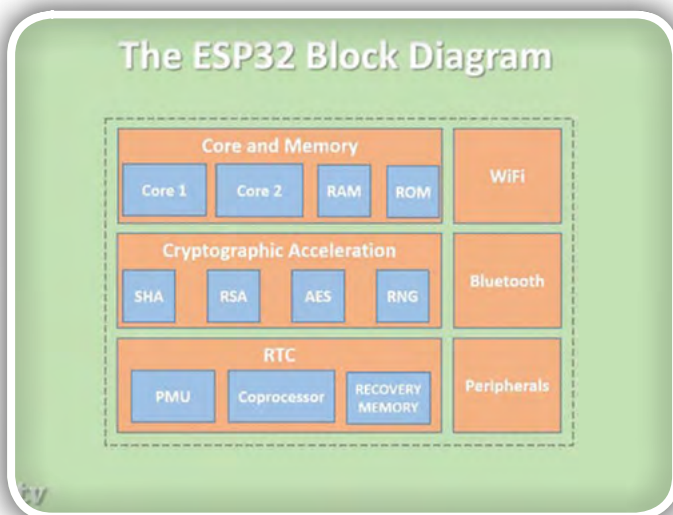
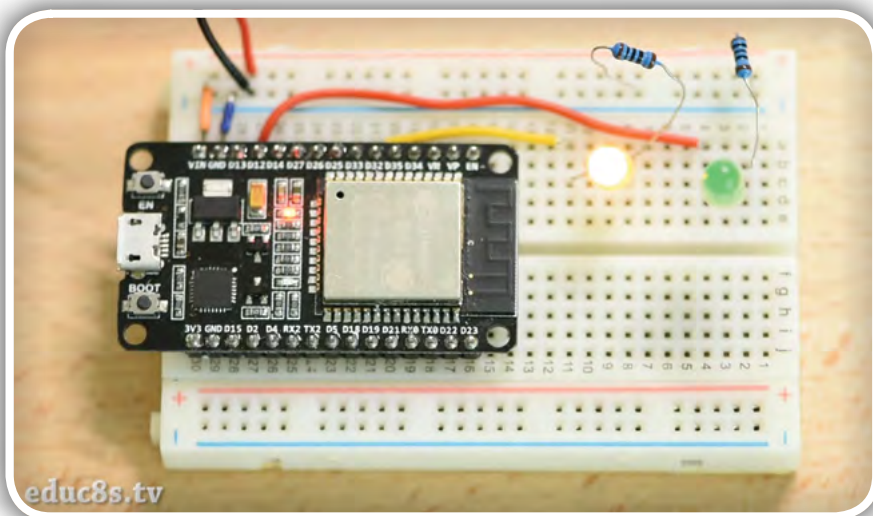
```
esp_sleep_enable_timer_wakeup(TIME_TO_SLEEP * uS_TO_S_FACTOR);
esp_deep_sleep_start();
```

Časovnik omogočimo s funkcijo `esp_sleep_enable_timer_wakeup`, čas spanja vnesemo v sekundah, nato pa pokličemo funkcijo `esp_deep_sleep_start`. To je to!

```
#define uS_TO_S_FACTOR 1000000 /* Conversion factor for micro seconds to seconds */
#define TIME_TO_SLEEP 3 /* Time ESP32 will go to sleep (in seconds) */
RTC_DATA_ATTR int bootCount = 0;
```

Vendar obstaja pri izvajanju kode majhna razlika. Ko uporabimo funkcijo globokega spanja vsakič, ko se ESP32 zbudi, znova izvede nastavitveno funkcijo. Funkcija zanke se nikoli ne pokliče. Vse vrednosti spremenljivk so izgubljene, razen če jih s to predpono shranimo v RTC pomnilnik.

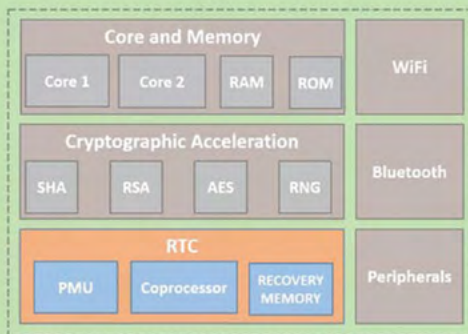
V tem primeru shranimo spremenljivko `bootCount int` v RTC pomnilnik da program ve, ali se prvič zažene, in vklopim pravilno LED-ico. Kot vedno najdete kodo tega primera na spletni strani.



## 5. korak: poraba energije

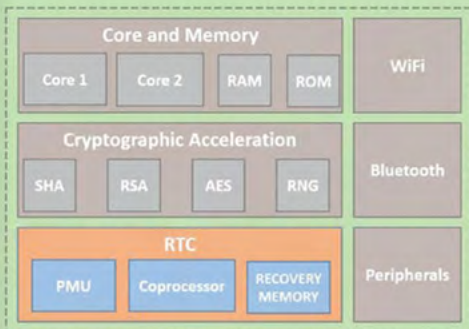
Poglejmo zdaj porabo energije ESP32. Ko je ESP32 v aktivnem načinu, iz baterije črpa približno 60 mA toka. Ko je ESP32 v načinu globokega spanja, porabi približno 19 mAs energije! To je veliko zmanjšanje trenutne porabe, vendar ustvarjalci čipa trdijo, da potrebuje 0,01 mA toka v načinu globokega spanja. Kaj je narobe z našo nastavitvijo?

## Deep Sleep Mode



educ8s.tv

## Wake Up



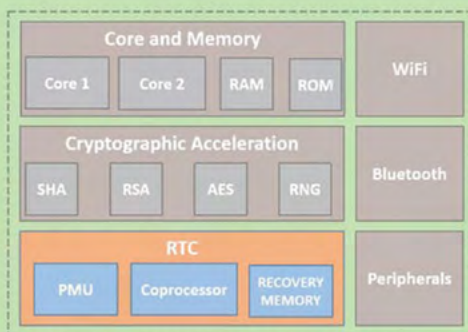
educ8s.tv

Timer

GPIO PIN

Coprocessor

## Deep Sleep Mode



educ8s.tv

je zasnovana in lahko doseže porabo energije v globokem spanju le 0,01 mAs, če jo napaja 3,3 V napajalnik. Če ploščo napajamo z istim akumulatorjem, ki smo ga uporabljali prej in ima približno 4,8 V, lahko vidimo, da je trenutna poraba energije 48 mAs v aktivnem načinu in le 0,05 mAs v načinu globokega spanja!

Impresivno kajne! Porabo energije plošče lahko še dodatno zmanjšamo, če uporabimo 3,3 V baterijo ali napajalnik. 0,05 mAs energije, ki jo plošča potrebuje v načinu globokega spanja, je najnižje, kar sem kdaj videl na popolnoma opremljeni ESP32 plošči s pretvornikom iz USB na serijska vrata, z napetostnim regulatorjem in vezjem akumulatorja.

Če ste odkrili katero koli ploščo, ki lahko doseže podobne ali boljše rezultate kot plošča Firebeetle, mi to sporočite, rad bi jo preizkusil.

Poraba energije Firebeetle ESP32 plošče v režimu globokega spanja je izredno nizka. Če jo napajajo 4 AA polnilne baterije, porabi približno 1,44 mAs na dan. Torej teoretično lahko ta napajalna enota z zmogljivostjo 2.500 mAs napaja ploščo skoraj 5 let, če jo postavimo v način globokega spanja! Seveda bomo ploščo občasno prebudili, da bomo opravili nalogo, ki bo zahtevala več energije, zato se bo življenjska doba baterije močno zmanjšala.

## 6. korak: hrošč v režimu globokega spanja

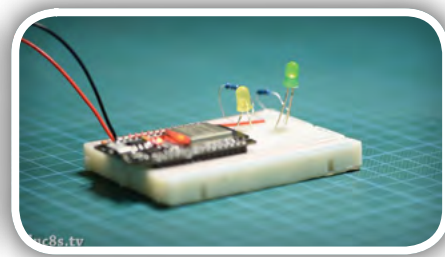
Na žalost programska in strojna oprema ESP32 še nista zrela. Na obeh ESP32 ploščah, ki sem ju poskusil v režimu globokega spanja, se pojavi napaka v programski ali strojni opremi. Po naključnem številu bujenj ESP32 preide v stanje spanja in se ne bo več zbudil. Ta napaka se lahko zgodi po nekaj zbujanjih ali po 100 zbujanjih in je naključna.

Krivec je razvojna plošča. Uporabljam DOIT ESP32 ploščo, prvo ESP32 ploščo, ki se je pojavila na trgu pred približno enim letom. Zasnova te plošče ni optimizirana za porabo energije, zato tudi v načinu globokega spanja potrebuje veliko toka. Na srečo obstajajo bolj načrtovane ESP32 plošče.

Na primer, plošča Firebeetle ESP32 podjetja DFrobot je bol-

Enostavna rešitev, ki sem jo odkril, je dodati majhno zakasnitev 500 ms po prebujanju in pred branjem iz RTC pomnilnika. Na ta način je projekt dobro deloval, seveda pa kazeno, ki jo plačamo, zmanjša življenjsko dobo baterije, ker je čip v vsakem prebujanju v aktivnem načinu še 500 ms več. Mislim, da bo ta napaka v bližnji prihodnosti odpravljena z novim popravkom programske ali strojne opreme.





```

1 ////////////////////////////////////////////////////
2 //          ESP32 Deep Sleep Example 1          v1.00 //
3 //          Get the latest version of the code here:
4 //          ////////////////////////////////////////
5
6
7 #define us_TO_S_FACTOR 1000000 /* Conversion factor for micro seconds to seconds */
8 #define TIME_TO_SLEEP  3      /* Time ESP32 will go to sleep (in seconds) */
9
10 RTC_DATA_ATTR int bootCount = 0;
11
12 int GREEN_LED_PIN = 25;
13 int YELLOW_LED_PIN = 26;
14
15 void setup() {
16
17   pinMode(GREEN_LED_PIN, OUTPUT);
18   pinMode(YELLOW_LED_PIN, OUTPUT);
19
20   delay(500);
21
22   if(bootCount == 0) //Run this only the first time
  
```

```

void setup(){  pinMode(GREEN_LED_PIN,OUTPUT);
pinMode(YELLOW_LED_PIN,OUTPUT);
delay(500);

if(bootCount == 0) //Run this only the first time
{
digitalWrite(YELLOW_LED_PIN,HIGH);
bootCount = bootCount+1;
}else
{
digitalWrite(GREEN_LED_PIN,HIGH);
}

delay(3000); digitalWrite(GREEN_LED_PIN,LOW);
digitalWrite(YELLOW_LED_PIN,LOW);  esp_sleep_enable_timer_wakeup(TIME_TO_SLEEP * us_TO_S_FACTOR);
esp_deep_sleep_start();
}
  
```

## 7. korak: zaključne misli

Funkcijo globokega spanja sem že uporabil v projektu termometra E-Paper. Za posodabljanje je potreboval tok 60 mA. Zdaj sem z uporabo funkcije globokega spanja čipa uspel

zmanjšati porabo energije na 0,43 mA. Torej, s to napajalno banko imamo zdaj približno 3 mesece delovanja baterije. Super, kajne?

Mislil pa, da je še veliko prostora za izboljšave; neke v mojem vezju odteka majhen neželen tok. Če ga lahko zmanjšamo, lahko ta projekt na baterije napajamo več kot eno leto! Mislim, da je to neverjetno! Zdaj imamo izjemno zmogljivo ploščo z zelo majhno porabo energije. Najboljše od vsega je, da vse, kar moramo storiti, da to izkoristimo je to, da uporabimo le dve vrstici kode! To funkcijo bom začel uporabljati v svojih prihodnjih projektih.

```

void setup(){  pinMode(GREEN_LED_PIN,OUTPUT);
pinMode(YELLOW_LED_PIN,OUTPUT);
delay(500);

if(bootCount == 0) //Run this only the first time
{
digitalWrite(YELLOW_LED_PIN,HIGH);
bootCount = bootCount+1;
}else
{
digitalWrite(GREEN_LED_PIN,HIGH);
}

delay(3000); digitalWrite(GREEN_LED_PIN,LOW);
digitalWrite(YELLOW_LED_PIN,LOW);  esp_sleep_enable_timer_wakeup(TIME_TO_SLEEP * us_TO_S_FACTOR);
esp_deep_sleep_start();
}
  
```

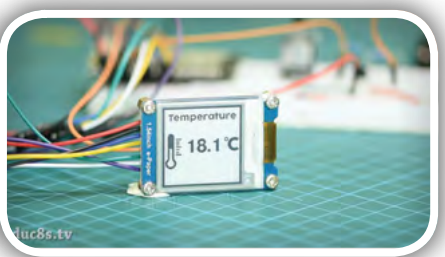
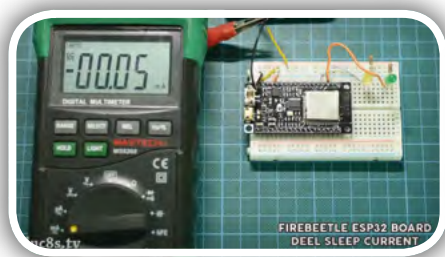
### Viri:

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

### Povzeto po:

- <https://www.hackster.io/nickthegreek82/esp32-deep-sleep-tutorial-4398a7>

<https://hackster.io>



## 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 (**01 528 56 88 ali 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 Samo Gregorčič.
- 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 **44,95 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 **39,95 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 **37,46 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 **19,99 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 želeno 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 želeno 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!



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)



**AX ELEKTRONIKA**

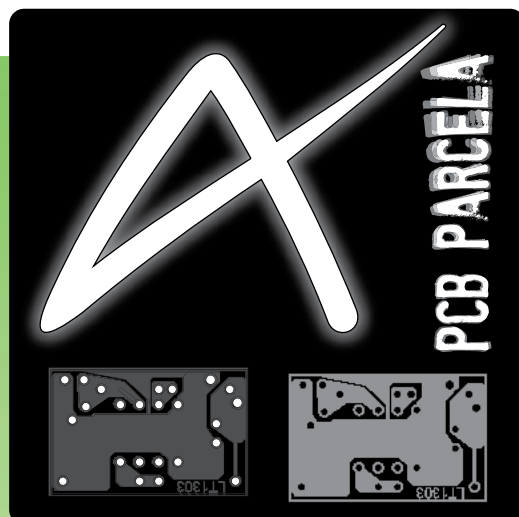
# PCB parcele

profesionalna tiskana vezja:  
stop lak, montažni tisk, poljubne oblike

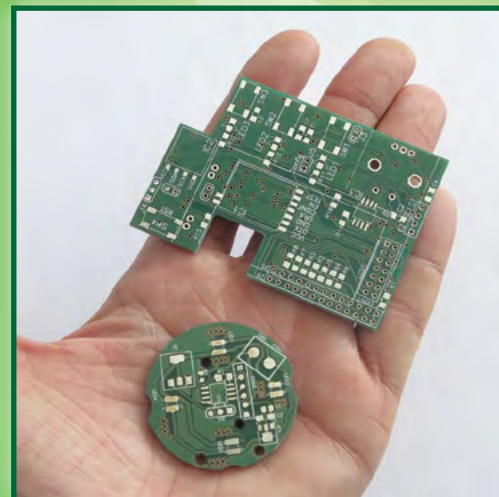
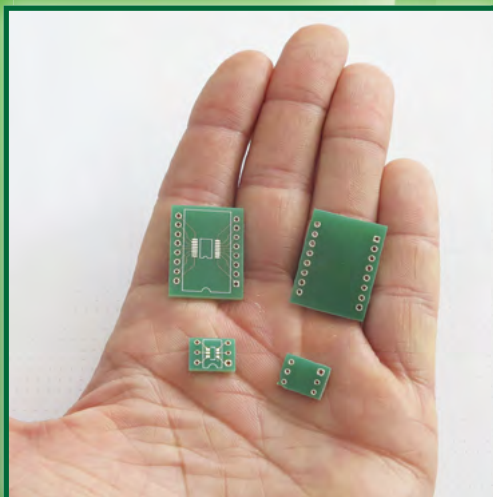
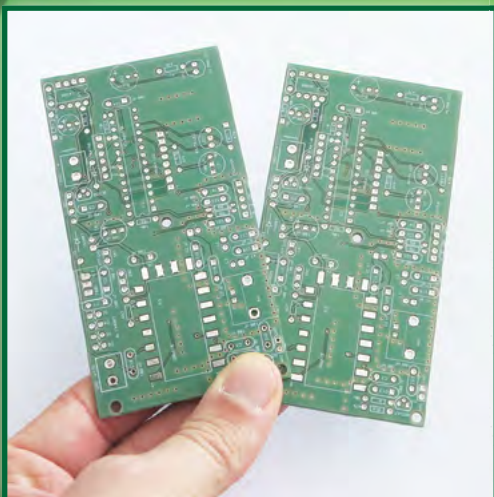
hitra izdelava  
vaše tiskanine izdelamo v 7 do 14 dnevih  
od dneva naročila

cenovno ugodno:  
enostranska ali dvostranska vezja

racionalna količina za prototipe:  
najmanjše naročilo 2 kosa



Vaši  
designi  
so pri  
nas  
varni!



telefon: 01 549 14 00  
e-pošta: [parcela@svet-el.si](mailto:parcela@svet-el.si)

enoslojna ali dvoslojna  
tiskana vezja, enaka cena

AX elektronika d.o.o  
Depala vas 39  
1230 Domžale  
<https://svet-el.si>