

SE
355

REVILJA ZA ELEKTRONIKO, AVTOMATIKO, RAČUNALNIŠTVO IN TELEKOMUNIKACIJE

ELEKTRONIKI

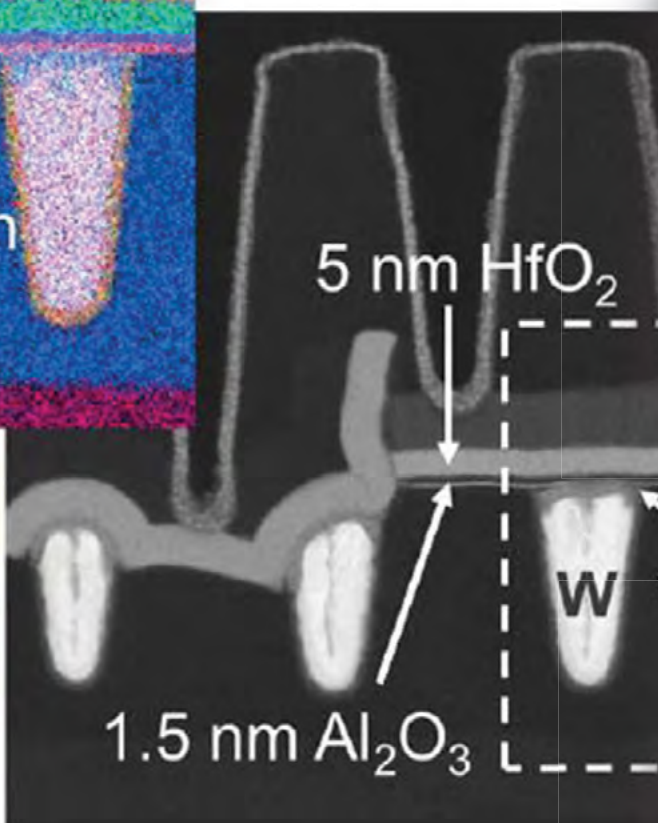
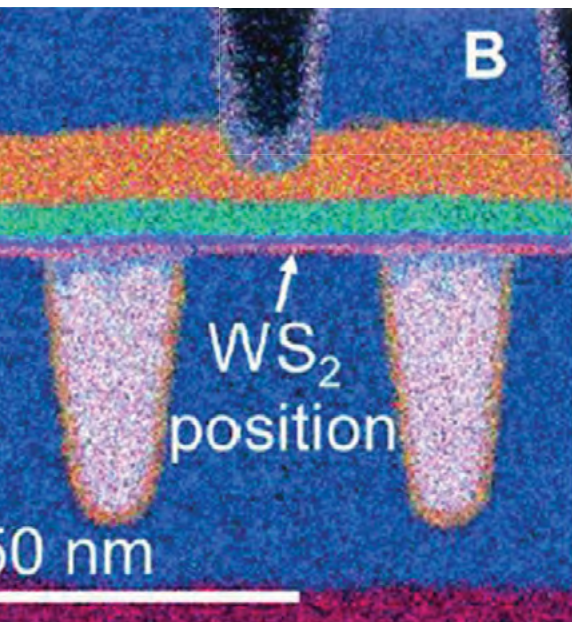
svet

ISSN 1318-4679



letnik XXXIII
oktober 2026
števila 355
cena:

5,50 €



Toshiba širi ponudbo 40-voltnih MOSFET-ov v majhnem S-TOGL ohišju



Orange Pi Zero 3W in 4 Pro in Raspberry Pi Zero 2W



Novi vakuumski miniaturni kristalni oscilator EX-423

Microchip razširja dostop za razvijalce z brezplačnimi MPLAB® XC prevajalniki

Varnost električnih naprav - 2. del: Zračna razdalja



Praktične izkušnje z novim ESP32P4 podjetja Espressif

PLAČANA PRI POŠTI 1230 DOMŽALE

Imamo nove izdelke, ki so vredni vaših idej



Na zalogi imamo več kot 400.000 novih priznanih blagovnih znamk, pripravljenih na takojšnjo odpremo – vsak dan pa jih dodamo še več. Vi lahko oblikujete, mi pa vam pomagamo ustvariti.

Poiščite vse, kar potrebujete, na naslovu digikey.si/new ali pokličite (+386)-1-888 9071



DigiKey

we get technical

DigiKey je franšizni distributer za vse dobaviteljske partnerje. Dnevno dodajamo nove izdelke. DigiKey in DigiKey Electronics sta registrirani blagovni znamki družbe DigiKey Electronics v ZDA in drugih državah. © 2026 DigiKey Electronics, 701 Brooks Ave. South, Thief River Falls, MN 56701, USA

ECIA MEMBER
Supporting The Authorized Channel

UVODNIK

- 4 Spet umetna inteligenca
Jurij Mikeln

NOVICE

- 5 Dva tranzistorja v delovni točki
<https://www.onsemi.com>
- 6 Podjetji Imec in EV Group sta predstavili hibridno spajanje rezin z 200-nanometrskim razmakom med povezavami
<https://www.imec-int.com>
- 8 Avstralski znanstveniki dosegli preboj na področju shranjevanja energije in kvantnih baterij
<https://www.csiro.au>
- 10 Novi vakuumski miniaturni kristalni oscilator EX-423 za natančno sinhronizacijo v napravah z nizko porabo energije in napravah na baterijsko napajanje
Microchip Technology Inc.
- 11 Toshiba širi ponudbo 40-voltnih MOSFET-ov z N-kanalom, v majhnem S-TOGL ohišju
<https://www.toshiba.com>
- 12 Preboj v učinkovitosti polprevodnikov: Bosch predstavlja tretjo generacijo SiC čipov
<https://www.bosch-presse.de>
- 14 Zaznavanje gibanja na višji ravni: Panasonic industry razširja svojo ponudbo pir-senzorjev s serijo papirs+
<https://holdings.panasonic/global>
- 15 Inženirji izboljšujejo infrardeče naprave z uporabo sto let starih materialov
<https://earth.stanford.edu>
- 17 Microchip razširja dostop za razvijalce z brezplačnimi MPLAB® XC prevajalniki in razvojnim paketom MPLAB za strojno učenje
<https://www.microchip.com>
- 18 Miniaturni enkoder BGE16wd postavlja nove standarde za robustne natančne aplikacije v zahtevnih delovnih okoljih
<https://www.ebe.de>
- 20 OMRON predstavlja nove SiC-MOSFET releje za visokonapetostno napajalne in za preskusne aplikacije Omron Corporation
<https://omron.eu>

PREDSTAVLJAMO

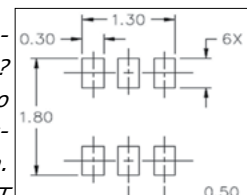
- 22 Izbira industrijskih Ethernet kablov za optimalno delovanje v zahtevnih razmerah
Avtor: Jeff Shepard
<https://www.digkey.com>
- 26 Krmilniki BLDC in DC motorjev za varne avtomobilske aplikacije
Avtor: Martin Kurz
<https://www.rutronik.com>
- 28 Zaščita sistemov povezanih avtomobilov v realnem času
Avtor: Nelson Alexander
<https://www.microchip.com>
- 32 Od podatkov do odločitev: kako strojno vid, inteligentno zaznavanje in umetna inteligenca na robu omrežja poganjajo pametno tovarno
Avtor: Suad Jusuf
<https://www.renesas.com>
- 35 Varnost električnih naprav - 2. del: Zračna razdalja
Avtor: Izr. prof. dr. Marko Jankovec
<https://fe.uni-lj.si>

PROGRAMIRANJE

- 38 Orange Pi Zero 3W in 4 Pro in Raspberry Pi Zero 2W za zahtevne!
Avtor: dr. Simon Vavpotič
- 40 FPGA integrirana vezja in simulacije
Avtor: Klemen Bravhar
- 46 Praktične izkušnje z novim mikrokontrolerjem ESP32P4 podjetja Espressif (1. del)
Avtor: Brian Millier

Dva tranzistorja v delovni točki

Kaj neki si predstavljati pod tem izrazom: dva tranzistorja v delovni točki? Kmalu boste izvedeli in videli, da je to zelo praktična rešitev tam, kjer je prostor na tiskanem vezju zelo omejen. Podjetje onsemi je predstavilo t.i. BRT tranzistorje v enem majhnem SOT-563 ohišju...



Stran:5

Toshiba širi ponudbo 40-voltnih MOSFET-ov v majhnem S-TOGL ohišju

Toshiba širi ponudbo 40-voltnih MOSFET-ov z N-kanalom, ki ustrezajo standardu AECQ101, v majhnem ohišju S-TOGL z izboljšano toplotno prevodnostjo. Omogoča kompaktno vgradnjo z visoko gostoto in izboljšano odvajanje toplote, s čimer se zmanjša velikost avtomobilske opreme...



Stran:11

Orange Pi Zero 3W in 4 Pro in Raspberry Pi Zero 2W

Orange Pi orje ledino izboljšav in posodobitev računalnikov na eni ploščici tiskanega vezaja. Kakšna je zmogljivost miniaturnega Orange Pi Zero 3W? Zakaj njegov večji brat Orange Pi 4 Pro ni vedno boljša izbira? Računalnike na eni ploščici tiskanega že dolgo uporabljamo ne le kot namizne računalnike...



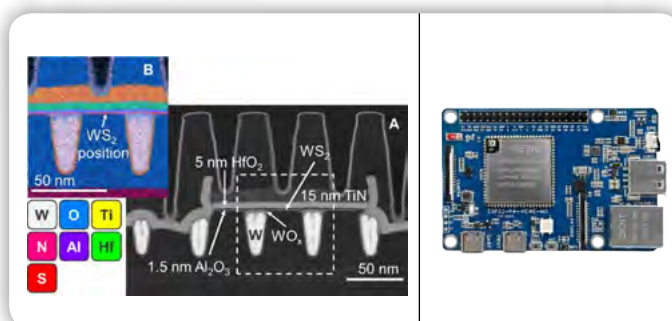
Stran:38

Praktične izkušnje z novim ESP32P4 podjetja Espressif

Že od izida ESP8266 mikrokontrolerja z Wi-Fi-jem se podjetje Espressif intenzivno ukvarja z razvojem svojih mikrokontrolerjev z Wi-Fi-jem. Rezultat tega je celotna družina ESP32 naprav, ki vse vključujejo neko obliko podpore za Wi-Fi in Bluetooth. Nekaterne najnovejše naprave, kot je ESP32C6, podpirajo tudi Matter in Zigbee protokola. Nekateri člani



Stran:46



IMEC

Razvojna plošča ViewE ESP32-P4-Pi.



Jurij Mikeln

Spet umetna inteligenca

Kolega je pred kratkim napisal program za Android aplikacijo tako, da je UI napisal obširno navodilo, kako naj aplikacija deluje. In seveda je UI naredil aplikacijo več kot odlično. Pri testiranju so se še pokazale manjše napake, ki jih je bilo potrebno odpraviti, ampak UI je avtor Android aplikacije.

Umetna inteligenca je lahko odlično orodje in pripomoček za marsikoga. Za marsikoga pa orodje, s katerim se generira izmišljene novice samo zato, da se večja obisk neke spletne strani. In tako imamo v uredništvih revij težave, saj je težko ločiti, katere novice so dejansko prave in katere izmišljene. Ena takih izmišljenih je bila npr. nuklearna mini baterija, ki smo jo predstavili tudi v naši reviji pred časom. Ta izkušnja nas je naučila, da »ni vse zlato, kar se sveti«, in da vsaka, še tako zanimiva novica, ni nujno dejansko resnična novica.

Zato upamo, da novica o kvantni bateriji, ki jo tokrat predstavljamo, ni spet neka izmišljena »raca«, pač pa dejanska novica.

Seveda je v reviji pred vami še veliko drugih člankov, ki so prav tako zanimivi. En takšnih je članek Briana, ki opisuje ESP32P4. V njem boste spoznali, kaj vse zna ta zmogljiv mikrokontroler in kako ga uporabiti v vaših napravah.

Vaše naprave je potrebno tudi napajati. In v kolikor jih napajate iz omrežne napetosti – ali pa, če so na vašem vezju napetosti, ki so celo višje od 230 V, potem morate prebrati članek izr. prof. Jankovca, ki se je v tokratnem članku lotil te tematike. Namreč, kako na tiskanem vezju poskrbeti, da bo vezje pravilno delovalo in da na njemu ne bo prišlo do neželenega iskrenja, plazme in drugih neprijetnosti. Ne vem, če ste vedeli, da je pojav plazme odvisen tudi od zračnega tlaka. Članek je zanimiv, zato vas vabim, da si ga preberete.

Z nekaterimi od vas smo se srečali na sejmu MOS v Celju. Hvala za vaš obisk in pogovore. Sejem je bil zanimiv.

Ali že veste, kaj pomeni velika številka v levem spodnjem kotu naslovnice?

Lep pozdrav!
Jure

REVIJA ZA ELEKTRONIKO,
AVTOMATIKO,
RAČUNALNIŠTVO
IN TELEKOMUNIKACIJE

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

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

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

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

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

Antivirusni program: PANDA security

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

Direktor:
JURIJ MIKELN, dipl.inž.

Tisk:
Tiskano v Sloveniji
Naklada do: 1.500 izvodov
ISSN 1318 4679

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

Cena za posamezni izvod je 5,50 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. Za revijo Svet elektronike se plačuje in obračunava 5% DDV.

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 pisanega 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,...

Dva tranzistorja v delovni točki

ONSEMI

Kaj neki si predstavljati pod tem izrazom: dva tranzistorja v delovni točki?

Kmalu boste izvedeli in videli, da je to zelo praktična rešitev tam, kjer je prostor na tiskanem vezju zelo omejen.

Podjetje onsemi je predstavilo t.i. BRT tranzistorje v enem majhnem SOT-563 ohišju, ki vsebuje tako PNP kot tudi NPN tranzistor. SOT-563 je res majhno ohišje saj ima dimenzije 1,5 x 1,1 mm.

BRT (angl. Bias Resistor Transistor) vsebuje en tranzistor z monolitnim prednapetostnim vezjem, sestavljenim iz dveh uporov: zaporednega baznega upora in bazno-emitorskega upora. Ti digitalni tranzistorji so zasnovani tako, da nadomestijo eno samo napravo in njeno zunanje prednapetostno vezje. BRT odpravlja te posamezne komponente z njihovo integracijo v eno ohišje. V seriji EMD4DXV6T1 sta dva komplementarna tranzistorja vgrajena v ohišje SOT-563, ki je idealno za površinsko montažo z nizko porabo energije, kjer je prostor na plošči omejen.

Tipične lastnosti EMD4DXV6T1:

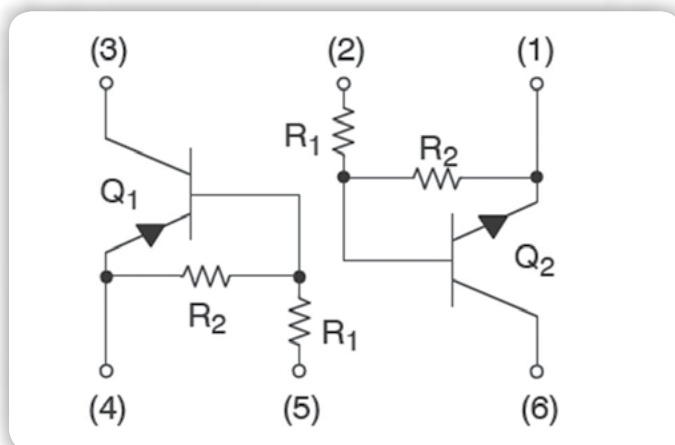
- Zmanjša prostor na tiskanem vezju
- Poenostavi načrtovanje vezij
- Zmanjša število komponent
- Predpona NSV za avtomobilske in druge aplikacije, ki zahtevajo posebne zahteve glede lokacije in sprememb nadzora; skladnost s standardom AEC-Q101 in podpora PPAP
- EMD4DXV6T1 je RoHS skladen.

Najvišje dovoljene vrednosti:

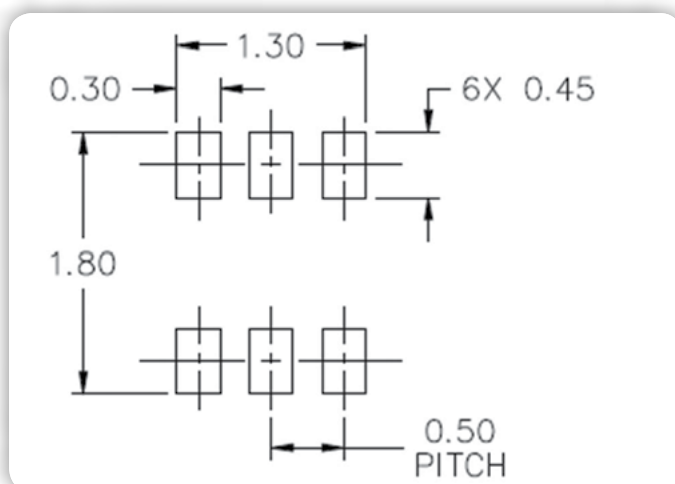
Meritev	Parameter	Oznaka	Vrednost	Enota
Kolektor-Baza	Napetost	VCBO	50	Vdc
Kolektor-Emitor	Napetost	VCEO	50	Vdc
Kolektor	Tok	IC	100	mAdc

Oba tranzistorja imata tipično ojačenje hFE 140 in razmerje uporov R1/R2 je tipično 0,21.

Priporočen razpored SMD priključkov vidite na sliki 2.



Slika 1: Notranja shema EMD4DXV6T1



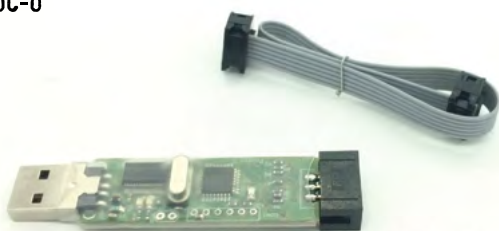
Slika 2: Priporočen razpored SMD priključkov

Več informacij o teh zanimivih BRT tranzistorjih najdete na www.onsemi.com.

<https://www.onsemi.com>



IDC-6



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

Progggy II

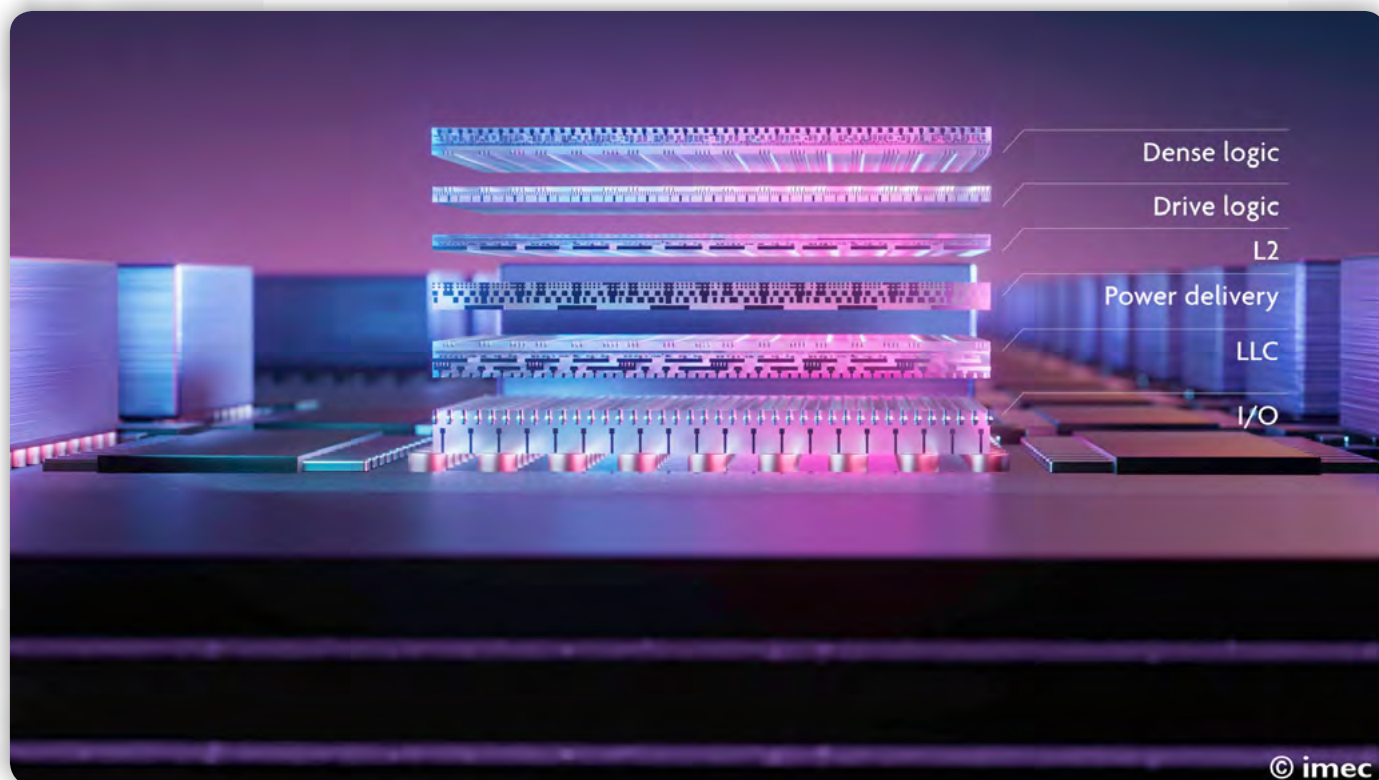
KODA: 5ELU0258/344, CENA: z DDV 24,90 EUR
PROGGY II JE USB AVR PROGRAMATOR.
MAJHEN, ZANESLJIV.



Podjetji Imec in EV Group sta predstavili hibridno spajanje rezin z 200-nanometrskim razmakom med povezavami

IMEC

Na konferenci IEEE Electronic Components and Technology Conference (ECTC) 2026 sta imec, vodilni svetovni raziskovalni in inovacijski center na področju naprednih polprevodniških tehnologij, ter EV Group (EVG), vodilni ponudnik opreme za proizvodnjo polprevodnikov in procesnih rešitev, predstavila robustno in visoko donosno tehnologijo hibridnega spajanja rezin z razmakom 200 nm med bakrenimi povezavami, ki je bila prikazana na testnem vzorcu.



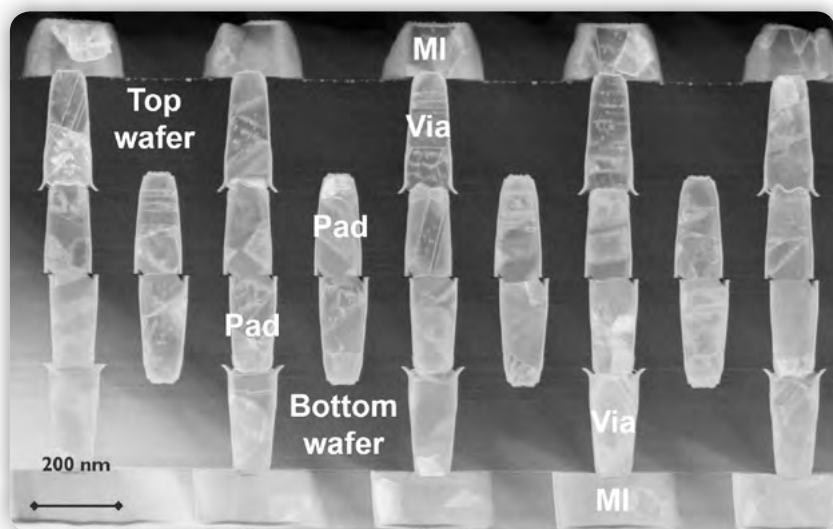
Slika 1: Primer možne razdelitve sistema na čipu (SoC) v skladu z imecovim paradigmo skaliranja CMOS 2.0. (vir: imec)

Poleg tega je bila z uporabo najnaprednejše opreme za spajanje rezin podjetja EVG dosežena rekordno visoka natančnost poravnave bakrenih kontaktnih priključkov. Imec in EVG nameravata nadalje razvijati strategijo hibridnega spajanja rezin, da bi podprla primere uporabe pri sestavljanju plasti logičnih in pomnilniških elementov, ki zahtevajo izjemno visoko gostoto medsebojnih povezav – kot je predvideno v imecovi paradigmi skaliranja CMOS 2.0.

Prihodnje arhitekture računalniških sistemov, zasnovane na podlagi paradigme skaliranja CMOS 2.0 podjetja imec, usmerjajo razvoj hibridnega spajanja rezin v smeri medsebojnih povezav z razmakom 200 nm. Pri CMOS 2.0 je sistem na čipu (SoC) razdeljen na heterogene funkcionalne plasti, ki so med

seboj ponovno povezane s pomočjo tehnologij 3D-povezovanja. Glede na namembnost CMOS 2.0 predvideva razdelitev logičnega dela systemskega čipa (SoC) na logični sloj z visoko zmogljivostjo in logični sloj z visoko gostoto. Takšno večplastno zlaganje logičnih slojev zahteva izjemno visoko gostoto medsebojnih povezav, kar lahko zagotovi le najnaprednejša tehnologija hibridnega spajanja med rezinami.

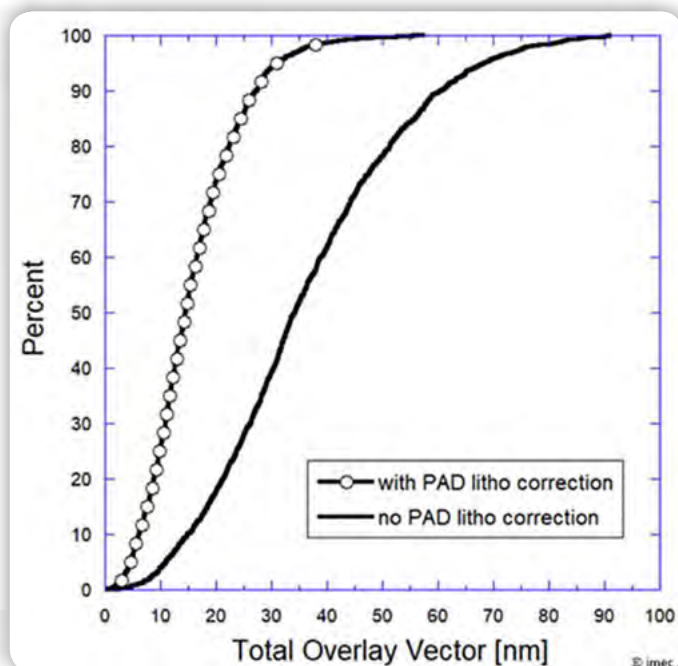
Podjetje Imec je predstavilo zanesljivo tehnologijo hibridnega spajanja rezin med seboj z razmakom med povezavami 200 nm, ki je bila dosežena na testnem vzorcu s štirimi sloji usmerljivih povezav, predhodno obdelanih na vsaki rezini pred spajanjem. Poleg tega je bil dosežen vektor prekrivanja med bakrenimi kontakti po spajanju pod 40 nm za 100 % čipov na celotni



Slika 2 – TEM-posnetek struktur v verižni povezavi na 200-nanometrski mreži šestkotnih kontaktnih ploščic z enako velikostjo hibridnih ploščic in 25-odstotno načrtovano gostoto bakra. (vir: imec/IEEE)

300-milimetrski rezini – to je svetovna novost. Najsodobnejši hibridni in fuzijski sistem za spajanje rezin podjetja EVG, GE-MINI® FB, je bil ključen za doseganje te izjemne natančnosti prekrivanja – kar je bistveno za zagotavljanje visokega električnega izkoristka.

Zsolt Tokai, raziskovalec pri imecu in vodja programa za integracijo 3D-sistemov: »Ta prelomni dosežek na področju hibridnega spajanja z majhnim razmakom smo dosegli s skupno optimizacijo vseh ključnih elementov imecovega procesnega toka hibridnega spajanja. Ti vključujejo med drugim uporabo SiCN kot dielektričnega materiala (kot je to prvi uvedel imec)



Slika 3 – Dejansko izboljšanje poravnave pri spajanju rezin, doseženo na rezinah z elektronskimi napravami. Rezultati so prikazani z in brez uporabe popravkov pred spajanjem s hibridno litografijo kontaktnih ploščic. (vir: imec/IEEE)

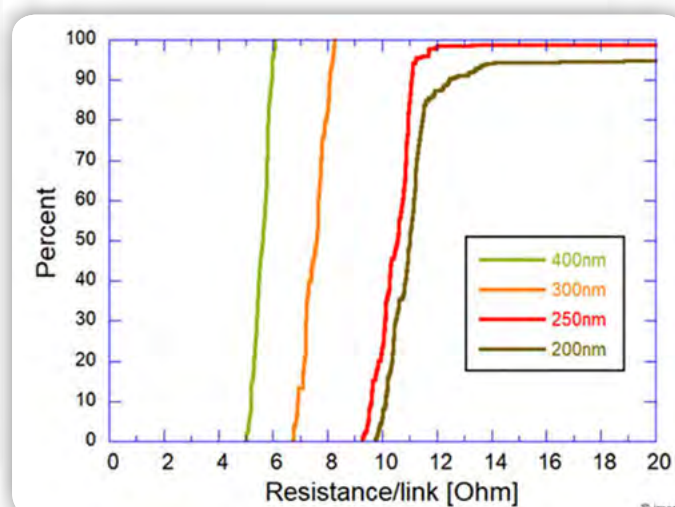
ter korak kemično-mehanskega poliranja (CMP) pred spajanjem.« Slednji je bil optimiziran za visoko enakomernost po celotni rezini, da se zagotovi izjemno ravne dielektrične površine, hkrati pa se doseže nadzorovana vdolbina v velikosti nekaj nanometrov za bakrene kontaktne ploščice. Visoko natančnost in nadzor prekrivanja, ki ju omogoča EVG-jevo orodje za spajanje rezine, sta dodatno olajšala izboljšana zasnova bakrenih kontaktnih ploščic in litografske popravke pred spajanjem.

»Še naprej razvijamo naš hibridni postopek spajanja rezin in uresničujemo načrt, ki predvideva razmik med povezavami precej pod 200 nm, da bi omogočili izvedbo najzahtevnejših primerov uporabe pri sestavljanju logičnih vezij z logičnimi vezji ter pomnilnikov z logičnimi vezji,« dodaja Zsolt Tokai. »To bo zahtevalo še boljšo natančnost prekrivanja, kar nameravamo nadalje raziskovati v sodelovanju z EVG.«

»Dolgoletno sodelovanje z imecom odraža pomembno vlogo, ki jo spajanje rezin še naprej igra pri razvoju polprevodniških naprav naslednje generacije,« je dejal Paul Lindner, izvršni direktor za tehnologijo pri EV Group. »V več kot treh desetletjih skupnega dela smo dokazali, kako lahko tesno sodelovanje med dobavitelji opreme in vodilnimi raziskovalnimi organizacijami, kot je imec, pripelje do pomembnih napredkov v procesni tehnologiji.« »Veselim se nadaljevanja tega dela, da bomo podprli prihodnje arhitekture naprav in okrepili sodelovanje v globalnem ekosistemu polprevodnikov.«

Rezultati predstavljenega hibridnega spajanja rezin so podrobno opisani v predstavitvi na konferenci ECTC 2026: »Tehnologija hibridnega spajanja rezin z razmakom med povezavami 200 nm«, S. Van Huylbroeck in sod. (Sekcija 26: Advanced Wafer-to-Wafer Hybrid Bonding).

<https://www.imec-int.com>



Slika 4 – Kumulativni grafikon izmerjene upornosti na povezavo za strukture z enako velikostjo kontaktnih ploščic in 25-odstotno gostoto bakra. (vir: imec/IEEE)

Avstralski znanstveniki dosegli preboj na področju shranjevanja energije in kvantnih baterij

CSIRO

Raziskovalci so razvili prvo kvantno baterijo, ki bi lahko utrla pot za polnjenje naprav na daljavo in izjemno hitro polnjenje električnih avtomobilov.

Avstralski znanstveniki so s prvo kvantno baterijo na svetu, ki dokazuje izvedljivost koncepta, naredili pomemben korak naprej na področju tehnologije shranjevanja energije. Podobno kot običajne baterije, se tudi ta kvantna različica polni, shranjuje in prazni energijo – in je prva, ki to počne.

Popolnoma delujoče kvantne baterije še ne obstajajo, vendar bi v prihodnosti lahko spremenile način, kako shranjujemo in uporabljamo energijo. Raziskava, ki so jo izvedli CSIRO, avstralska nacionalna znanstvena agencija, ter sodelujoči RMIT University in University of Melbourne, je bila objavljena v reviji *Light: Science & Applications* [1].



Dr. James Quach, vodja raziskav na področju kvantnih baterij pri CSIRO (vir: CSIRO)

Dr. James Quach, vodja oddelka za kvantno znanost in tehnologije pri CSIRO, je vodil ekipo, ki je razvila prototip. »Moja največja ambicija je prihodnost, v kateri bomo lahko električne avtomobile polnili veliko hitreje kot avtomobile na bencin ali pa naprave polnili brezžično na velike razdalje,« je dejal dr. Quach.

„Naše ugotovitve potrjujejo temeljni kvantni učinek, ki je popolnoma v nasprotju z intuicijo: kvantne baterije se polnijo hitreje, ko postanejo večje. Današnje baterije ne delujejo tako,“ je dejal.

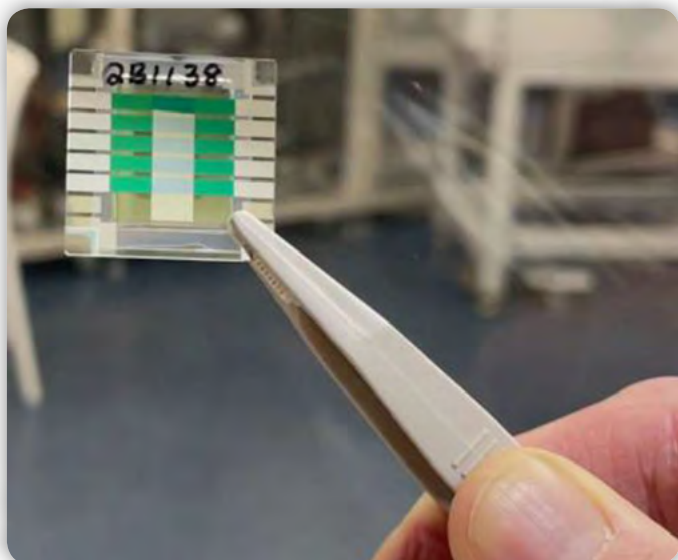
„Raziskava potrjuje navdušujoč potencial kvantnih baterij za doslej neznano učinkovito in hitro shranjevanje energije.“

Kvantne baterije izkoriščajo edinstvene lastnosti kvantne mehanike, kot sta superpozicija in prepletenost. Nasprotno pa današnje baterije v veliki meri temeljijo na kemijskih reakcijah.

Baterija, ki so jo razvili raziskovalci, ima večplastno organsko mikrovotlino in se brezžično polni z laserjem.



Čisti laboratorij CSIRO za razvoj prototipov kvantnih baterij (vir: CSIRO)



Prva popolnoma delujoča kvantna baterija na svetu, ki je bila razvita v okviru projekta »proof-of-concept« s sodelovanjem organizacije CSIRO ter Univerze v Melbournu in RMIT. (vir: CSIRO)

Ekipo je z naprednimi spektroskopskimi tehnikami potrdila obnašanje prototipa med polnjenjem, pri čemer se je izkazalo, da je shranjeno energijo ohranila šest redov velikosti dalj časa, kot je trajalo polnjenje.

Ta raziskava potrjuje ključne napovedi o teh revolucionarnih

napravah in ponuja vpogled v možno prihodnost, ki jo bo poganjalo kvantno shranjevanje energije. »Naša prototipna naprava omogoča hitro in prilagodljivo polnjenje ter shranjevanje energije pri sobni temperaturi, s čimer postavljamo temelje za energetske rešitve naslednje generacije,« je dejal dr. Quach.

»Čeprav nas na področju raziskav kvantnih baterij čaka še veliko dela, smo naredili pomemben korak k uresničitvi teh možnosti,« je dejal.

„Naslednji korak za kvantne baterije je zdaj podaljšanje časa shranjevanja energije. Če bomo premagali to oviro, bomo malo bližje komercialno uspešnim kvantnim baterijam.“

CSIRO išče zainteresirane potencialne razvojne partnerje.

Opomba uredništva: pri pripravi te novice smo pregledali veliko virov, ki potrjujejo avtentičnost teh raziskav, vendar pa dopuščamo možnost, da je novica proizvod UI.

Povzeto po:

- <https://www.csiro.au/en/news/All/News/2026/March/Quantum-battery-full-cycle>

Viri:

- 1: <https://www.nature.com/articles/s41377-026-02240-6#citeas>

<https://www.csiro.au>



 Tehniška založba Slovenije

JESENSKA AKCIJA:

ČAS ZA KNJIGO



naročila sprejemamo
na www.tzs.si
ter na tel:
01 479 02 24

MODRA ŠTEVILKA

080 17 90

Novi vakuumski miniaturni kristalni oscilator EX-423 za natančno sinhronizacijo v napravah z nizko porabo energije in napravah na baterijsko napajanje

Microchip Technology Inc.

Model EX-423, ki je bil za boljšo toplotno izolacijo obdelan v ultra visokem vakuumu, zagotavlja stabilnost in odlično delovanje na področju radiofrekvenčnega spektra

Podjetje Microchip Technology (Nasdaq: MCHP) je predstavilo miniaturni kristalni oscilator z vakuumsko zaprtim ohišjem (EMXO) EX423,[1] kompaktno rešitev za sinhronizacijo z nizko porabo energije, zasnovano za aplikacije, ki zahtevajo visoko stabilnost, natančnost in dolgoročno zanesljivost. EX423, ki temelji na portfelju EX421 tega podjetja, zagotavlja visoko RF zmogljivost v nizkoprofilnem ohišju velikosti 13 mm x 13 mm za naprave z omejenim prostorom in nizko porabo energije.

Model EX423, zasnovan za zahtevna okolja, je zaprt v ultra visokem vakuumu, ki zagotavlja optimalno toplotno izolacijo in prispeva k izboljšanju frekvenčne stabilnosti. Njegov kvarčni kristal je pritrjen s štiritočkovnim nosilcem, kar povečuje odpornost proti

udarcem in zmanjšuje občutljivost na pospešek, zaradi česar je primeren za sledenje GPS/GNSS, vojaške radijske postaje, medicinske naprave, seizmične sisteme Ocean Bottom Node (OBN), preskusno in merilno opremo ter satelitske komunikacije.

»Pri razvoju modela EX-423 smo se osredotočili na ključne parametre, ki jih razvijalci uporabljajo za oceno visokozmogljivih referenčnih oscilatorjev,« je dejal Randy Brudzinski, podpredsednik poslovne enote za frekvenčne in časovne sisteme v podjetju Microchip. »Zagotavljanje takšne ravni zmogljivosti v robustni napravi z majhnimi dimenzijami strankam omogoča poenostavitev zasnov brez poseganja v natančnost časovnega sinhroniziranja.«



EX423 združuje izjemno nizek fazni šum z natančnim nadzorom temperature, visoko kratkoročno stabilnostjo (Allanov odmik), hitrim zagonom in dolgoročno frekvenčno stabilnostjo. Naprava deluje v standardnem frekvenčnem območju 10–20 MHz, med ogrevanjem porabi 1 W, v stabilnem stanju pri +25 °C pa le 0,2 W, kar podaljšuje življenjsko dobo baterije in hkrati ohranja čisto, stabilno referenco v določenih pogojih delovanja.

Podjetje Microchip ponuja obsežen nabor sistemov za sinhronizacijo in merjenje časa, od oscilatorjev v obliki miniaturnih komponent prek majhnih vstavljaljivih kartic za sinhronizacijo do »multi-rack« sistemov za merjenje časa. Rešitve za sinhronizacijo podjetja Microchip, ki velja za pomembnega dobavitelja naprav povezanih z merjenjem časa, so zaupanja vredne, zanesljive in odporne. Za več informacij obiščite spletno stran Microchip o sistemih za sinhronizacijo in merjenje časa [2].

Cene in dobavljivost

Model EX-423 EMXO je zdaj na voljo za nakup. Za več informa-

cij ter tehnično ali prodajno podporo se obrnite na prodajnega predstavnika podjetja Microchip ali pošljite e-pošto na naslov: VOP-Support@microchip.com.

Viri:

- 1: https://www.microchip.com/en-us/products/EX-423?utm_source=pressrelease&utm_medium=pressrelease&utm_campaign=ex-423&utm_bu=fts
- 2: <https://www.microchip.com/en-us/products/clock-and-timing/systems>

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

<https://www.microchip.com>



TOSHIBA

Toshiba širi ponudbo 40-voltnih MOSFET-ov z N-kanalom, v majhnem S-TOGL ohišju

Toshiba

Toshiba širi ponudbo 40-voltnih MOSFET-ov z N-kanalom, ki ustrezajo standardu AECQ101, v majhnem ohišju S-TOGL z izboljšano toplotno prevodnostjo.

Omogoča kompaktno vgradnjo z visoko gostoto in izboljšano odvajanje toplote, s čimer se zmanjša velikost avtomobilske opreme in izboljša učinkovitost sistema.

Podjetje Toshiba Electronics Europe GmbH („Toshiba“) je na trg uvedlo model XPJ1R504PB, avtomobilski 40-voltni N-kanalni močnostni MOSFET z zmogljivostjo 120 A v ohišju S-TOGL™, s čimer je razširilo svojo ponudbo za 12-voltnne sisteme. Med ciljne aplikacije spadajo inverterji, polprevodniški releji, močnostna stikala in pogoni motorjev. Z vključitvijo tega 40-voltnega MOSFET-a v obstoječo ponudbo v S-TOGL™ ohišju, ki vključuje modela XPJR6604PB in XPJ1R004PB, je Toshiba razširila svojo ponudbo izdelkov, da bi zadovoljila različne aplikacije in zahteve glede zmogljivosti.



V zadnjih letih se je z napredkom elektrifikacije avtomobilske opreme povečala uporaba inverterjev in pogonov motorjev, kar je prispevalo k višji moči in večji učinkovitosti. Da bi se prilagodili tem trendom, morajo MOSFET-i zagotavljati tako nizke izgube moči kot tudi učinkovito odvajanje toplote. Model XPJ1R504PB v ohišju S-TOGL omogoča kompaktno vgradnjo z visoko gostoto in odlične toplotne lastnosti, s čimer zmanjšuje velikost avtomobilske opreme in izboljšuje učinkovitost.

Ker ta vrsta avtomobilske opreme deluje v širokem razponu temperaturnih pogojev, je zanesljivost spajkanih spojev ključnega pomena. Ohišje STOGL uporablja priključke v obliki galebkih kril, ki pomagajo razbremeniti stres pri vgradnji in s tem izboljšajo mehansko zanesljivost spajkanih spojev. Poleg tega ima ohišje konstrukcijo brez priključkov na vir tranzistorja, ter zunanje priključke, s čimer se zmanjša parazitska upornost in doseže upornost v prevodnem stanju ($R_{DS(ON)}$) 1,54 mΩ (maks.) pri napetosti med vrati in virom (VGS) 10 V.

Uporaba debelega bakrenega okvirja v STOGL ohišju zniža

prehodno toplotno impedanco med kanalom in ohišjem ($Z_{th(ch-c)}$) na 0,76 °C/W, s čimer se zmanjšajo izgube zaradi prevajanja toplote in omeji nastajanje toplote, kar izboljša splošno učinkovitost sistema. Poleg tega struktura z večjim številom izhodnih priključkov izboljša porazdelitev toka in omogoča visoko tokovno zmogljivost.

Toshiba bo še naprej razvijala avtomobilske MOSFET izdelke, prilagojene različnim uporabam in sistemskim zahtevam, s čimer bo prispevala k večji učinkovitosti.

Več informacij o modelu XPJ1R504PB najdete na spletni strani Toshiba: XPJ1R504PB | Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation | Evropa (EMEA) [1].

Vir:

- 1: <https://toshiba.semicon-storage.com/eu/semiconductor/product/mosfets/12v-300v-mosfets/detail.XPJ1R504PB.html>

<https://www.toshiba.com>



Preboj v učinkovitosti polprevodnikov: Bosch predstavlja tretjo generacijo SiC čipov

Robert Bosch GmbH

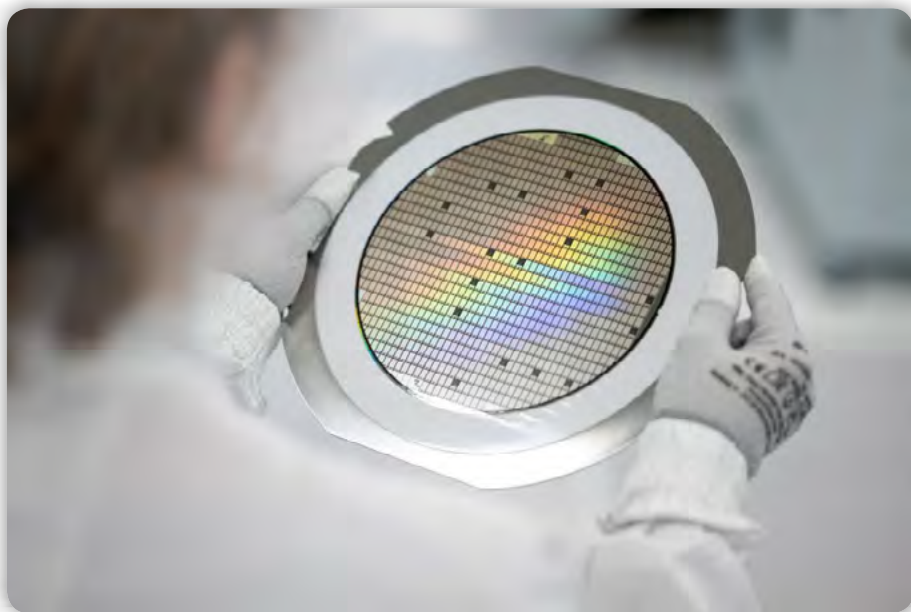
V svetovno proizvodno mrežo so vložili milijarde.

- Dr. Markus Heyn: »Našim strankam pomagamo, da na ceste pripeljejo še zmogljivejše in učinkovitejše električne avtomobile.«
- SiC čipi nove generacije podjetja Bosch zagotavljajo za 20 odstotkov večjo zmogljivost, s čimer povečujejo splošno učinkovitost pogonske elektronike.
- Bosch si prizadeva postati vodilni svetovni proizvajalec SiC čipov za elektromobilnost.
- Od začetka proizvodnje leta 2021 je podjetje Bosch po vsem svetu že dobavilo več kot 60 milijonov SiC čipov.

Čipi iz silicijevega karbida (SiC) so ključnega pomena za večjo učinkovitost električnih avtomobilov in povečanje njihovega dosega. Podjetje Bosch je razvoj teh čipov zdaj popeljal na novo raven: začelo je uvajati čipe iz silicijevega karbida tretje generacije in svetovnim avtomobilskim proizvajalcem dobavlja

vzorke. To pomeni, da bo v prihodnosti vedno več električnih vozil opremljenih z najsodobnejšimi SiC čipi tretje generacije





podjetja Bosch. »Polprevodniki iz silicijevega karbida so ključni dejavniki elektromobilnosti. Uravnavajo pretok energije in zagotavljajo čim večjo učinkovitost.« »Z našimi SiC čipi nove generacije sistematično širimo naše tehnološko vodstvo na tem področju in našim strankam pomagamo, da na ceste pripeljejo še zmogljivejša in učinkovitejša električna vozila,« pravi Markus Heyn, član uprave podjetja Bosch in predsednik poslovnega sektorja Bosch Mobility. »Naša ambicija je jasna: želimo postati vodilni svetovni proizvajalec SiC čipov.«

Bosch se tako uveljavlja na obetavnem trgu z visoko rastjo. Analize podjetja za tržne raziskave in svetovanje Yole Intelligence* napovedujejo, da bo svetovni trg močnostnih SiC polprevodnikov zrasel z 2,3 milijarde ameriških dolarjev v letu 2023 na približno 9,2 milijarde ameriških dolarjev do leta 2029, kar bo v glavnem posledica razvoja elektromobilnosti.

V svetovno proizvodno mrežo so vložili milijarde

Polprevodniki iz silicijevega karbida delujejo veliko hitreje in učinkoviteje kot običajni silicijevi čipi. Zmanjšujejo izgube energije in omogočajo večjo gostoto moči v elektroniki. Polprevodniki nove generacije podjetja Bosch ponujajo ne le tehnološko, temveč tudi ekonomsko prednost. »Naši čipi nove generacije zagotavljajo za 20 odstotkov večjo zmogljivost in so tudi precej manjši od prejšnje generacije,« pravi Heyn. »Ta miniaturizacija je ključ do večje stroškovne učinkovitosti, saj lahko na eni ploščici proizvedemo veliko več čipov. To pomeni, da imamo ključno vlogo pri širjenju dostopnosti visokozmogljive elektronike.« Odkar se je leta 2021 začela serijska proizvodnja prve generacije čipov, je Bosch po vsem svetu že dobavljal več kot 60 milijonov SiC čipov.

V zadnjih letih je podjetje Bosch pospešilo razvojno delo na področju SiC čipov in hkrati povečalo svojo proizvodno zmogljivost ter zmogljivosti čistih

prostorov. V okviru evropskih programov financiranja IPCEI (pomembni projekti skupnega evropskega interesa) za mikroelektroniko in komunikacijsko tehnologijo je podjetje v polprevodnike vložilo okoli 3 milijarde evrov. V svoji tovarni rezin v nemškem Reutlingenu razvija in proizvaja SiC čipe tretje generacije na sodobnih 200-milimetrskih rezinah. Septembra 2023 je Bosch pridobil drugi obrat za proizvodnjo SiC čipov v Rosevillu v Kaliforniji in ga trenutno opremlja z najsodobnejšimi, zahtevnimi proizvodnimi napravami. Podjetje vlaga dodatnih 1,9 milijarde evrov v obrat v ZDA, ki bo letos proizvedel in dobavljal prve SiC čipe – sprva kot vzorce za preskuse strank. »V prihodnosti bo Bosch svoje inovativne SiC čipe dobavljal iz teh dveh proizvodnih obratov v Nemčiji in ZDA,« pravi Heyn.

To bo prispevalo k bolj trdnim in odpornim dobavnim verigam v okviru hitro rastoče elektrifikacije avtomobilske industrije. Srednjeročno namerava Bosch svoje proizvodne zmogljivosti za SiC močnostne polprevodnike povečati na obseg v višini več sto milijonov enot.

Edinstveni »Boschev postopek« je ključ do uspeha

Podjetje Bosch s pomočjo edinstvenega proizvodnega znanja izdeluje čipe, ki so hkrati manjši in zmogljivejši. Podjetje je prilagodilo svoj postopek jedkanja, ki se uporablja že od leta 1994 in je v industriji znan kot »Boschev postopek«. Ta postopek, ki je bil prvotno razvit za senzorje, omogoča izdelavo zelo natančnih vertikalnih struktur iz silicijevega karbida. Ta zasnova znatno poveča gostoto moči čipov – odločilni dejavnik za vrhunsko zmogljivost tretje generacije.

*Power SiC 2024 poročilo, Yole Intelligence, 2024

<https://www.bosch-presse.de>



Zaznavanje gibanja na višji ravni: Panasonic industry razširja svojo ponudbo pir-senzorjev s serijo papirs+

Panasonic Industry

Panasonic Industry Europe napoveduje širitev svoje preizkušene ponudbe PIR-senzorjev za zaznavanje gibanja z uvedbo PaPIRs+, naslednje generacije široko uporabljane tehnologije PaPIRs.

PaPIRs+ je zasnovan za izpolnjevanje naraščajočih zahtev na področju avtomatizacije zgradb in pametne infrastrukture ter zagotavlja znatno izboljšano zmogljivost zaznavanja, hkrati pa ohranja preprostost in zanesljivost konvencionalnih rešitev s PIR senzorji. Na podlagi uveljavljene platforme PaPIRs sistem PaPIRs+ prinaša znatno izboljšanje zmogljivosti z na novo zasnovanimi piroelektričnimi elementi. Večje in optimizirane zaznavne strukture bistveno izboljšujejo absorpcijo infrardečega sevanja, kar omogoča do dvakrat večjo občutljivost v primerjavi s konvencionalnimi senzorji PaPIRs. To omogoča natančnejše zaznavanje celo najmanjših gibov na večjih razdaljah in širših območjih, hkrati pa zmanjšuje slepe točke.

Zaradi izboljšane zmogljivosti je PaPIRs+ še posebej primeren za aplikacije, kjer je kakovost zaznavanja ključnega pomena, kot so sodobno krmiljenje razsvetljave, sistemi za ogrevanje, prezračevanje in klimatizacijo ter rešitve za pametne stavbe. Hkrati pa ta tehnologija ostaja stroškovno učinkovita, saj omogoča znatno povečanje zmogljivosti ob le neznatnem vplivu na stroške sistema.

S pred kratkim predstavljenim novim modelom »Flat Wide Detection Type«, ki se ponaša z izjemno ploščato lečo in širokim vidnim poljem, Panasonic dokazuje, kako PaPIRs+ združuje visoko zmogljivost s sodobnim, neopaznim dizajnom. To omogoča nemoteno vključevanje v prostorsko omejena okolja, kot so pisarne, šole in stanovanjske stavbe, kjer morata estetika in funkcionalnost iti z roko v roki.

»PaPIRs+ ni namenjen nadomestitvi naše preizkušene tehnologije PaPIRs. Zasnovan je za njeno razširitev,« pojasnjuje Robert Spiegler, vodilni produktni menedžer pri podjetju Panasonic v Ottobrunnu v Nemčiji. »Klasični PaPIRs senzorji ostajajo odlična izbira za standardne aplikacije, kjer je potrebno zanesljivo zaznavanje gibanja.« S sistemom PaPIRs+ ponujamo dodatno visoko zmogljivo rešitev za stranke, ki potrebujejo večjo občutljivost, širše pokritje ali zahtevnejše zmogljivosti zaznavanja.

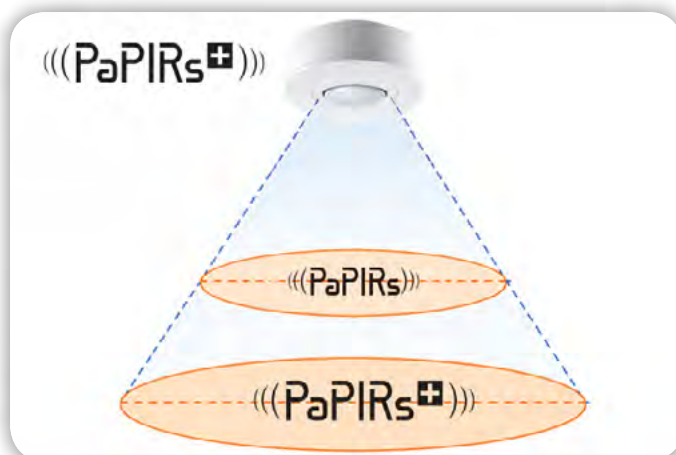
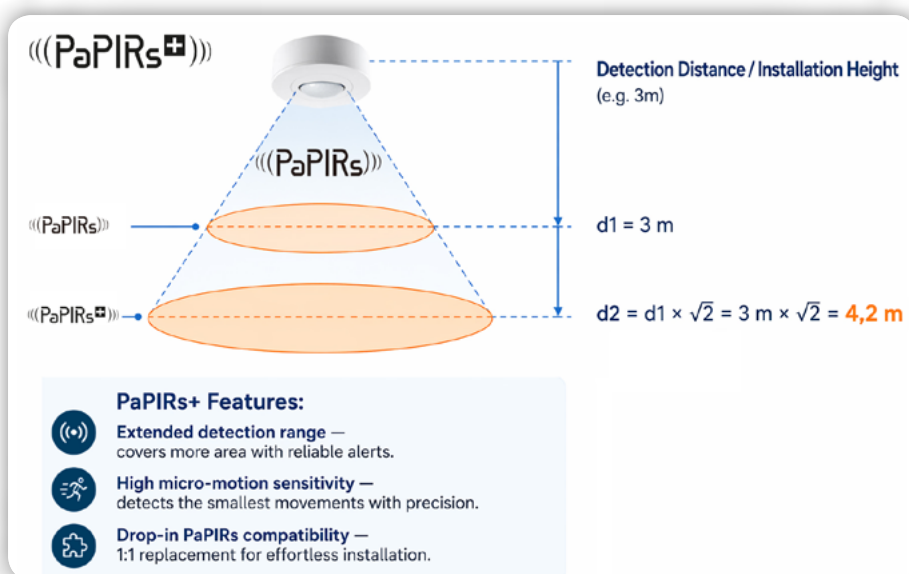
S tem korakom Panasonic še dodatno utrjuje svoj položaj kot vodilni ponudnik zanesljivih in visoko zmogljivih rešitev za za-

znavanje gibanja s PIR-senzorji, ki strankam omogočajo, da izberejo ustrezno raven zmogljivosti za svoje specifične potrebe pri uporabi.

Več informacij je na voljo na spletni povezavi:

- <https://industry.panasonic.eu/products/components/sensors/passive-infrared-motion-sensors-papirs>

<https://holdings.panasonic/global>



Inženirji izboljšujejo infrardeče naprave z uporabo sto let starih materialov

Stanford University

Inženirji so s ponovnim pregledom znanih polprevodnikov razvili cenovno ugodno rešitev za infrardeče oddajnike in senzorje, ki ponuja možnosti za uporabo na področju okolja, medicine in industrije.

Raziskovalci so združili nekatere najstarejše polprevodniške materiale – svinčev selenid in svinčev-kositrov selenid – s sodobno tehnologijo, kar je privedlo do nove vrste infrardeče diode in novega načina za nadzor infrardeče svetlobe.

Menijo, da bi njihovi dosežki lahko privedli do novih infrardečih senzorjev in tehnologij, ki bi se lahko uporabljali v različnih komercialnih in industrijskih aplikacijah.

Z združitvijo klasičnih materialov in inovativnega oblikovanja bi te tehnologije lahko postale cenovno dostopne, manjše, odporne na napake in relativno enostavne za proizvodnjo z uporabo obstoječih zmogljivosti.

Po desetletjih intenzivnih raziskav so presenečenja na področju polprevodnikov – materialov, ki se uporabljajo v mikročipih za nadzor električnega toka – redka. Vendar so inženirji materialov s Stanfordske univerze v dveh objavljenih člankih predstavili obetaven pristop k uporabi dobro raziskanega polprevodnika za izboljšanje infrardečih svetlečih diod in senzorjev. Praviijo, da bi ta pristop lahko privedel do manjših, bolj elegantnih in cenejših infrardečih tehnologij za uporabo v varovanju okolja, medicini in industriji.

»Starega psa smo naučili novih trikov,« je dejal glavni avtor Kunal Mukherjee, docent za znanost o materialih in inženirstvo na Stanfordski inženirski fakulteti [1], s čimer je poudaril pomen tega dela. »Tako imenovani IV-VI materiali, s katerimi delamo – svinčev selenid in svinčev-kositrov selenid – so stari že več kot sto let. »So med najstarejšimi polprevodniki, ki so jih doslej zabeležili. Uspelo nam je najti način, kako jih združiti s sodobno tehnologijo, da smo lahko izdelali novo vrsto infrardeče diode in na pomembne načine nadzorovali infrardečo svetlobo.«

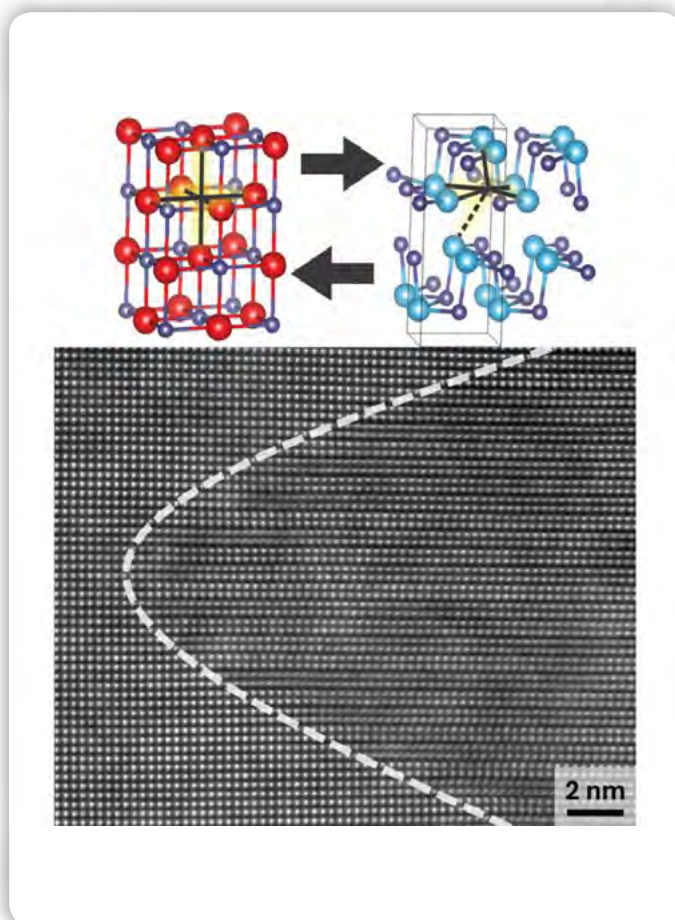
Nova dioda oddaja infrardečo svetlobo v zelenem območju daljših valovnih dolžin (4000–5000 nanometrov), kar je primerno za zaznavanje plinov v zraku (na primer toplogrednih plinov v ozračju) ali v medicinskih okoljih (na primer merilniki ogljikovega dioksida).

Nepričakovana prednost novega pristopa je, da so tako nastale polprevodne strukture »odporne proti napakam«. To pomeni, da ti materiali delujejo tudi, če niso izdelani z absolutno natančnostjo, kar je pri teh kristalih v nanometrskem obsegu skoraj nemogoče doseči. Takšna svoboda bi lahko znatno znižala stroške novih naprav.

Prav tako pa bi bilo te polprevodnike, ker so že dobro raziskani, mogoče proizvajati v nekaterih obstoječih obratih za proizvodnjo čipov, za proizvodnjo v komercialnem obsegu pa ne bi bila potrebna draga predelava proizvodnih zmogljivosti.

Pet let trajajoč projekt

S tehničnega vidika je izziv v tem, da se obnovljene materiale združi s sodobno tehnologijo. Vsi polprevodniki so sestavljeni iz kristalnih rešetk. Plasti teh različnih materialov se



Slika z atomska ločljivostjo, ki prikazuje tanko plast PbSnSe med prehodom med dvema urejenima fazama, kar spreminja način, kako svetloba potuje skozi material. Meja med obema fazama je označena s prekinjeno črto; vir: Pooja Reddy, <https://news.stanford.edu>

morajo med seboj elektronsko povezati, pri čemer uporaba lepil ni dovoljena. To ni lahka naloga.

Ti dve raziskovalni deli skupaj predstavljata pet let vztrajnega raziskovanja s pomočjo tehnike, znane kot epitaksija z molekularnim žarkom, pri kateri se zapleteni kristali gradijo atom za atomom, plast za plastjo.

»Potrebovali smo vsa ta leta, da smo ugotovili, kako te materiale pravilno gojiti, en atomski sloj za drugim,« je pojasnil soavtor Jarod Meyer, nekdanji podiplomski študent v Mukherjeejevem laboratoriju. »To pa je pomenilo, da je morala posebna oprema, kot je epitaksija z molekularnim žarkom, delovati neprekinjeno – vključno z nočnimi teki v laboratorij ob 2. uri zjutraj zaradi izpadov električne energije.«

Prva študija [2], objavljena v reviji »Advanced Optical Materials«, ki sta jo skupaj vodila Meyer in nekdanji podoktorski raziskovalec Leland Nordin, opisuje tehniko integracije in proizvodni postopek, s katerima so te stare polprevodniške materiale združili z drugimi pogostimi kristali, kot je galijev arzenid, ter tako ustvarili preprosto in učinkovito infrardečo platformo.

Pokazali so, da so diode presenetljivo svetle, kljub temu da imajo na kvadratni centimeter milijarde napak, imenovanih dislokacije. Sodobni polprevodniki takšne ravni napak redko prenesejo.

Drugi članek, objavljen v reviji Nano Letters [3] in pod vodstvom doktorske študentke Pooje Reddy, opisuje domiselno metodo za spreminjanje kristalne strukture, ki omogoča modulacijo in nadzor infrardeče svetlobe s pomočjo majhnih, a natančnih temperaturnih prilagoditev, zaradi katerih material prehaja med dvema dobro urejenima kristalnima strukturama.

»Večina raziskav na področju materialov s strukturno spreminljivostjo se osredotoča na prehode med neurejenimi in urejenimi stanji kristala,« je dejal Mukherjee in s tem poudaril glavni znanstveni dosežek članka. »Prehod med dvema urejenima stanjema ob ohranitvi vezave z galijevim arzenidom je pravzaprav najtežji del in glavna prednost te raziskave.«

Sprememba strukture vpliva na potek svetlobe skozi kristal, pri čemer se ta spreminja iz prosojne v neprosojno, kar omogoča vklop in izklop svetlobe, nadzor nad njeno jakostjo ali pa povzroča spremembe njene faze in polarizacije.

Kako naprej?

Večina tehnološkega razvoja na področju LED-ic se je osredotočala na vidno svetlobo. Nasprotno pa so se aplikacije infrardečega (IR) obsega – ki je za človeško oko neviden – razvijale počasneje, zato so današnje infrardeče tehnologije ponavadi okorne, drage in neelegantno zasnovane.

Mukherjee upa, da bo to spremenil, in napoveduje novo generacijo IR-naprav, ki bodo sodobne, cenovno konkurenčne in enostavne za proizvodnjo.

Inženirji lahko zdaj izkoristijo zmožnost integracije teh posodobljenih materialov z drugimi polprevodniki ter zmožnost povzročanja fizikalnih sprememb v kristalih za razvoj novih infrardečih naprav v valovnem območju do skoraj 10.000 nm.

Mukherjee je napovedal, da bi se ti senzorji lahko uporabljali za spremljanje okolja pri odkrivanju uhajanja plinov, v industrijskih in medicinskih postopkih, ki zahtevajo natančne infrardeče senzorje, ali v novih napravah za neinvazivno merjenje temperature, poleg drugih možnih področij uporabe.

»Infrardeča svetloba je bila v svetu LED-ic v preteklosti nekoliko spregledana, ker je ne vidimo, vendar bi lahko imela pomemben prispevek,« je dejal Mukherjee. »Upamo, da bodo ti dosežki vodili v novo obdobje napredka na področju infrardeče svetlobe.«

Avtorji prispevka v reviji »Advanced Optical Materials*« prihajajo z Univerze v osrednji Floridi. Med avtorji prispevka v reviji »Nano Letters*« so Arturas Vailionis, višji raziskovalec v organizaciji Stanford Nano Shared Facilities, ter raziskovalci z Univerze v Washingtonu.

Raziskavo, objavljeno v reviji »Advanced Optical Materials*«, so podprli Nacionalna znanstvena fundacija (NSF), NSF Quantum Foundry Univerze Kalifornije v Santa Barbari, štipendija za translacijsko raziskovanje TomKat Centra za trajnostno energijo, doktorska raziskovalna štipendija Laboratorija Geballe za napredne materiale ter Raziskovalni laboratorij vojaškega letalstva.

Del tega dela je bil opravljen v laboratorijih Stanford Nano Shared Facilities (SNSF) in Stanford Nanofabrication Facilities (nano@stanford) s podporo Nacionalne znanstvene fundacije.

Raziskava, objavljena v reviji Nano Letters, je bila podprta s strani Nacionalne znanstvene fundacije (National Science Foundation), Urada za raziskave kopenske vojske (Army Research Office), Agencije za napredne obrambne raziskovalne projekte (DARPA), štipendije Stanford Graduate Fellowship v znanosti in inženirstvu ter štipendije P.D. Soros Fellowship za nove Američane.

Pri tem delu je bila uporabljena tudi podpora Švicarskega nacionalnega znanstvenega sklada (SNSF).

Viri:

- 1: <https://engineering.stanford.edu/>
- 2: <http://doi.org/10.1002/adom.202503448>
- 3: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.nanolett.5c04974>

Povzeto po:

- <https://news.stanford.edu/stories/2026/03/infrared-leds-sensors-new-technology-research>

<https://earth.stanford.edu>



Microchip razširja dostop za razvijalce z brezplačnimi MPLAB® XC prevajalniki in razvojnim paketom MPLAB za strojno učenje

Microchip Technology Inc.

Neomejeno število namestitev in vgrajena orodja za optimizacijo omogočajo poenostavljeno in pospešeno uvajanje umetne inteligence v ugnezdene sisteme in v napravah na robu

CHANDLER, Ariz., July 8, 2026 — Podjetje Microchip Technology (Nasdaq: MCHP) je objavilo, da sta njegova prevajalnika MPLAB® XC Pro [1] in razvojni paket MPLAB Machine Learning (ML) Development Suite zdaj na voljo strankam brezplačno. Ta orodja omogočajo neomejeno število namestitev v individualnih in skupinskih okoljih ter razvijalcem zagotavljajo brezplačen dostop do naprednih možnosti optimizacije in integriranih delovnih tokov za strojno učenje ugnezdenih sistemov.

»Naš poudarek je na optimizaciji razvojne izkušnje za inženirje, ki uporabljajo Microchip-ova integrirana vezja,« je dejal Greg Robinson, podpredsednik podjetja Microchip zadolžen za poslovne enote razvojnih orodij, mikrokontrolerjev (MCU) in brezžičnih tehnologij. »Z odpravo licenčnih pristojbin in brezplačnim zagotavljanjem visoko zmogljivih orodij odpravljamo ovire za inovacije. Stranke lahko zdaj izkoristijo naše optimizirane prevajalnike in integrirane zmogljivosti strojnega učenja in učinkovito preidejo od zasnove do uvedbe v uporabo.«

MPLAB XC Pro prevajalniki, ki so bili doslej na voljo v okviru plačljivih licenčnih paketov, uporabljajo napredne tehnike za zmanjšanje velikosti kode, zmanjšanje porabe pomnilnika, izboljšanje hitrosti izvajanja ter generiranje visoko učinkovite, za arhitekturo optimizirane kode za ugnezdene aplikacije. Te zmogljivosti profesionalne ravni razvijalcem omogočajo poenostavitev ugnezdenega načrtovanja v celotnem portfelju 8-, 16- in 32-bitnih mikrokontrolerjev (MCU) in mikroprocesorjev (MPU) podjetja Microchip.

Brezplačno je na voljo tudi MPLAB Machine Learning Development Suite Model Builder, vtičnik za MPLAB ali Microsoft® Visual Studio® Code (VS Code®), ki se uporablja za ustvarjanje optimizirane kode za prepoznavanje senzorjev na področju umetne inteligence in interneta stvari (IoT). To razvijalcem omogoča razvoj in uvajanje celovitih ugnezdenih rešitev za strojno učenje ter prispeva k učinkovitemu uvajanju inteligence na robu omrežja na napravah z omejenimi viri. Z uvedbo



MPLAB ML v VS Code Microchip še dodatno utrjuje svojo zavezo, da razvijalcem pride naproti v njihovem izbranem razvojnem okolju ter jim zagotovi bolj prilagodljivo in enostavnejšo razvojno izkušnjo.

Prehod na ponujanje brezplačnih razvojnih orodij se razširja tudi na Microchipove MPLAB XC prevajalnike za funkcionalno varnost. Ti prevajalniki, ki so certificirani s strani TÜV SÜD, podpirajo varnostno kritične aplikacije in pomagajo zagotoviti skladnost z industrijskimi standardi funkcionalne varnosti, pri čemer je dokumentacija o certifikaciji in podpora na voljo za nakup, kadar je to potrebno.

Z brezplačnim prenosom lahko razvijalci zdaj začnejo z varnostno usmerjenim načrtovanjem brez vnaprejšnjih stroškov za licenco, pri čemer se pristojbine zaračunajo šele, ko je potrebna certifikacija.

Posodobitve in prednostna tehnična podpora za vprašanja v zvezi s prevajalnikom so vključene brez dodatnih stroškov. Za več informacij o celotni ponudbi razširitev VS Code podjetja Microchip obiščite spletno stran VS Code extensions [3].

Cene in dobavljivost

Prevajalniki MPLAB XC in razvojni paket MPLAB Machine Learning Development Suite so na voljo brezplačno. Za več informacij se obrnite na prodajnega predstavnika podjetja Microchip ali pooblaščenega distributerja po vsem svetu.

Viri:

- 1: <https://www.microchip.com/en-us/tools-resources/develop/mplab-xc-compilers>
- 2: <https://www.microchip.com/en-us/tools-resources/develop/mplab-machine-learning-development-suite>
- 3: <https://www.microchip.com/en-us/tools-resources/develop/mplab-tools-vs-code>

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

<https://www.microchip.com>



Miniaturni enkoder BGE16wd postavlja nove standarde za robustne natančne aplikacije v zahtevnih delovnih okoljih

EBE Elektro-Bau-Elemente GmbH

Miniaturni enkoder BGE16wd je ena najnaprednejših rešitev za zahtevna okolja nadzornih plošč, kjer sta natančnost in vzdržljivost najpomembnejši.

Zahvaljujoč drsnemu ležaju in zaznavanju vrtenja na podlagi HALL senzorja deluje brez obrabe in se ponaša z izjemno vzdržljivostjo tudi pri zahtevnih mehanskih obremenitvah. Model BGE16wd je bil nedavno nadgrajen na stopnjo zaščite IP65, kar zagotavlja optimalno zaščito pred prahom in curki vode, kar je odločilna prednost za uporabo v kmetijskih in gradbenih strojih, strojništvu, industrijskih krmilnih sistemih in medicinski tehnologiji.

Zaradi drsnega ležaja in brezstičnega magnetnega zaznavanja vrtenja prek HALL senzorja model BGE16wd nima klasičnih

točk obrabe. Niti stalne vibracije, udarci ali celo vandalizem ne vplivajo na njegovo delovanje. Ohišje iz in gred iz nerjavečega jekla dodatno povečujeta zaščito, medtem ko zatesnjena zadnja stran ohišja preprečuje vdor vlage in prahu tudi s te strani. Zato enkoder deluje zanesljivo tudi pri največji obremenitvi ter zmanjšuje čase izpada in podaljšuje intervale med vzdrževanji. Z zmogljivostjo do 256 A/B impulzov na obrat je model BGE16wd še posebej primeren za aplikacije, kjer je natančno pozicioniranje ali zaznavanje najmanjših premikov ključnega pomena. Na zahtevo je na voljo tudi različica s še višjo ločljivostjo do 10 bitov. Za še večjo natančnost pri upravljanju HMI

je na voljo možnost vgradnje zavore. Njen drsni ležaj zagotavlja enakomeren občutek in delovanje tudi med dolgotrajno uporabo. Kompaktna izvedba s premerom 16 mm omogoča uporabo v omejenih prostorih, na primer v podobnih kmetijskih strojih ali specialnih vozilih. Poleg tega je konstrukcija enkoderja zasnovana za dolgotrajno delovanje v zahtevnih pogojih – to je ključna lastnost, kadar je za koncepte krmiljenja in upravljanja potrebna zanesljiva povratna informacija.



Optimalna zaščita in enostavna integracija

Z zaščito IP65 prah, brizganje vode in zahtevni postopki čiščenja za model BGE16wd ne predstavljajo nobenega problema. Komponente iz nerjavečega jekla in robustno tesnjenje ga uvrščajo med najboljšo izbiro za uporabo na prostem ali v posebej zahtevnih notranjih okoljih. Prilagodljivo vgradnjo dodatno omogočajo različni premeri gredi ter vmesniki in priključki. Inženirjem v sektorju kmetijskih strojev ali na podobnih področjih, ki iščejo

zanesljive in zmogljive rešitve za preprečevanje izpadov strojev, model BGE16wd ponuja vsestransko in trajnostno rešitev. Kombinacija izjemne vzdržljivosti, zaščite in natančnosti omogoča avtomatizacijo in koncepte HMI, ki so pripravljeni na prihodnost, tudi v zahtevnih vsakodnevnih delovnih pogojih. Skratka: enkoder BGE16wd je idealna povezava med robustno konstrukcijo stroja in visoko natančnim krmiljenjem – odlična izbira za vsako zahtevno uporabo. -

O podjetju EBE Elektro-Bau-Elemente GmbH

Podjetje EBE Elektro-Bau-Elemente GmbH (blagovna znamka: EBE sensors + motion) s sedežem v Leinfelden-Echterdingenu blizu Stuttgarta razvija in proizvaja izdelke za proizvajalce originalne opreme (OEM) na področju senzorske tehnologije, komponent za vmesnike človek-stroj (HMI) ter aktuatorjev in mehatronike. Osredotoča se na senzorje in enkoderje, ki temeljijo na lastnih tehnologijah, namenjene industriji, gospodinjiskim aparatom, medicinski tehnologiji in mobilnosti. Ponudba senzorjev vključuje med drugim senzorje za merjenje ravni in kakovosti tekočin, senzorje položaja in kapacitivne sonde na dotik. Magnetni enkoderji EBE so optimizirani za zanesljivo delovanje v zahtevnih aplikacijah. EBE razvija in proizvaja tudi elektromagnete po meri strank ter robustna vrtljiva stikala, tipke in mehatronske sisteme.

Vir fotografije: EBE Elektro-Bau-Elemente GmbH
<https://www.ebe.de>



Rittal – The System.

Faster – better – everywhere.

RiLineX

THE POWER PLATFORM

Prihodnost distribucije električne energije

Več o distribuciji električne energije z RiLineX



ODKRIJTE

V času elektrifikacije in energetske preobrazbe je standardizacija ključ do zanesljivih sistemov. **RiLineX**, nova generacija **60 mm zbiralčnih sistemov**, prinaša odprto in proizvajalcem neodvisno platformo za učinkovitejši inženiring ter hitrejšo izdelavo elektro omar. Sistem omogoča preprostejšo montažo, večjo prilagodljivost in visoko stopnjo varnosti pri distribuciji električne energije, od industrijskih aplikacij do energije obnovljivih virov.

OHIŠJA

ELEKTRIČNI RAZVODI

KLIMATIZACIJA

IT INFRASTRUKTURA

PROGRAMI IN SERVIS

FRIEDHELM LOH GROUP

www.rittal.si



OMRON predstavlja nove SiC-MOSFET releje za visokonapetostno napajalne in za preskusne aplikacije Omron Corporation

Omron Corporation

Nove naprave G3VH z napetostjo 1.800 V in 3.300 V omogočajo učinkovito in lahkotno elektrifikacijo.

Podjetje OMRON Electronic Components Europe je predstavilo nove releje G3VH SiC-MOSFET z nazivnimi napetostmi 3.300 V in 1.800 V, ki ponujajo prednosti polprevodniškega preklapljanja moči pri napetostih zbiralnega vodnika in akumulatorja do 1.000 V in več.

Zaradi višjih nazivnih vrednosti ti releji zagotavljajo robustno in zanesljivo preklapljanje, saj projektanti sistemov uporabljajo višje napetosti, da bi povečali energetske učinkovitost ter izkoristili manjše in lažje žice ter priključke. Novi G3VH releji lahko delujejo nad običajnimi mejami najvišje napetosti za običajne polprevodniške releje, hkrati pa so trajnejše in fizično manjši od običajnih reed relejev. Običajno se uporabljajo v industrijskih pogonih in avtomatizaciji, v sončnih in vetrnih elektrarnah, v sistemih za shranjevanje energije (ESS) za odkrivanje napak v ozemljitvah ter v avtomatizirani preskusni opremi (ATE) za visokonapetostne močnostne polprevodnike s široko energijsko vrzeljo.

Reléji, ki vsebujejo zaporedno vezane MOSFET-e iz silicijevega karbida (SiC) z optično izoliranim gonilnikom vrat, brez težav obvladujejo visoke delovne napetosti v svojem kompaktnem 6-pin DIP-6 ohišju. Zaradi naravno nizkih notranjih kapacitivnosti, ki zagotavljajo čisto in učinkovito preklapljanje tudi pri visokih hitrostih, imajo releji čas vklopa 1 ms ali 2 ms, izklop pa lahko dosežejo v 0,2 ms.

S takšno zmogljivostjo naprave serije G3VH omogočajo hiter odziv na varnostne ukaze sistema ter krajše čase preskusnih ciklov v ATE aplikacijah. Medtem ko naravno visoka toleranca SiC na dV/dt zagotavlja stabilno preklapljanje tudi v zahtevnih pogojih, MOSFET-i prav tako prenesejo visoke delovne temperature in toplotne obremenitve, kar jim omogoča dolgo življenjsko dobo v vseh okoljih.

Nove naprave obsegajo dve seriji, med katerimi je tudi model G3VH-331, ki je namenjen za napetost 3.300 V, trajni obremenitveni prenese tok 300 mA in impulzni tok (I_{op}) 900 mA, s skupno upornostjo 3,5 Ω med priključki. Serija G3VH-181 z nazivno napetostjo 1.800 V lahko prenese do 30 mA neprekinjenega toka in 80 mA impulznega toka, pri upornosti 120 Ω .

Vse nove naprave G3VH so tipa 1a (SPST, običajno odprti kontakti) in se trenutno proizvajajo v različnih izvedbah ohišij za površinsko montažo in za THT vgradnjo.

Več informacij je na voljo na naslovu:

- <https://components.omron.com/eu-en/products/relays/G3VH>

<https://omron.eu>



Roj agentov umetne inteligence

Resnična zgodba je bolj zapletena, zanimivejša in tudi resnejša.



NEVARNOST IZ PRIHODNOSTI

Zadnji dve leti poslušamo o postkvantnem šifriranju, ki je odporno na kvantne računalnike, četudi so ti danes še vedno v plenica. A grožnja je realna, rešitve pa so matematiki pripravljali več desetletij.



MONITORPRO:

- Industrija 5.0
- IT v energetiki in IoT

Huawei Watch GT7 Pro | Google Pixel 11 Pro XL | funkcijske tipke
| UI in lastni čipi | podatkovni centri za UI | veliki jezikovni modeli
kot živa bitja | Android Auto in
Youtube | mala šola programiranja
po občutku

Monitor
www.monitor.si

Izbira industrijskih Ethernet kablov za optimalno delovanje v zahtevnih razmerah

DigiKey

Avtor: Jeff Shepard, članek urednikov pri podjetju DigiKey za Severno Ameriko

Industrijski Ethernet je pomembna tehnologija, ki lahko nadomesti počasna, razdrobljena zastarela omrežja z zelo hitro, poenoteno komunikacijsko hrbenico ter zagotovi determinizem v realnem času.

Pri uvajanju industrijskega Etherneta je treba upoštevati številne dejavnike, povezane z zanesljivo zmogljivostjo ožičenja. Ena od prvih odločitev se nanaša na razmerje med pričakovano hitrostjo omrežja in razdaljo.

Za aplikacije, ki zahtevajo pasovno širino do 100 MHz in hitrosti 1 Gbps na razdalji do 100 metrov, je potrebno ožičenje kategorije 5e. Kategorija 6 zagotavlja večjo hitrost in daljši doseg; podpira pasovno širino do 250 MHz, omogoča hitrosti 1 Gbps na razdalji do 100 metrov ter hitrosti 10 Gbps na krajših odsekih do 55 metrov.

Naslednja odločitev, ki vključuje še več svobode pri izbiri, se nanaša na to, kje in kako bo omrežje nameščeno ter kakšne bodo s tem povezane zahteve glede zmogljivosti in okoljskih pogojev. Ali aplikacija zahteva oklopljene kable? Kako je z ekstremnimi temperaturami, močnimi vibracijami in izpostavljenostjo olju, bencinu ali kemikalijam?

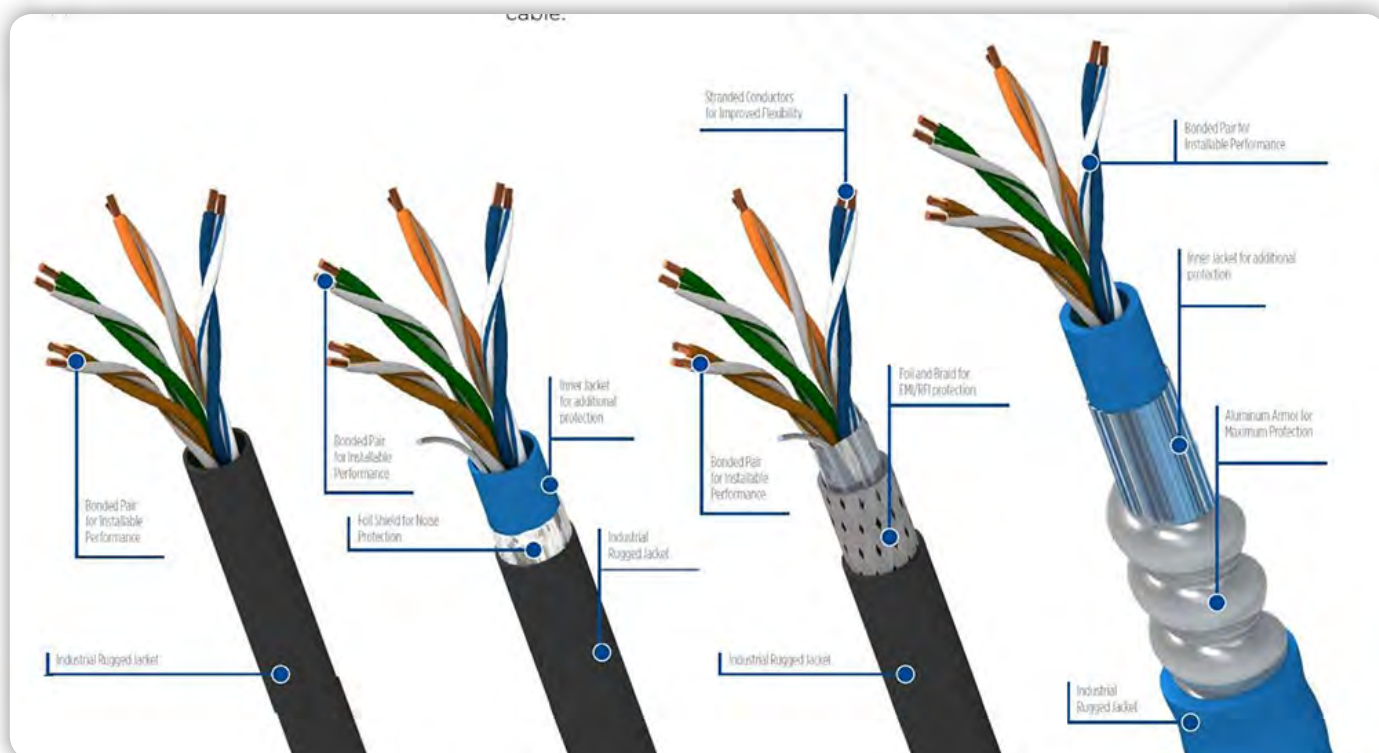
Ali bo kabel nameščen na prostem ali pa mora biti odobren s strani Uprave za varnost in zdravje v rudarstvu (MSHA) za uporabo v rudarstvu in zahtevnih okoljih? Kako je z zahtevami

glede varnosti in zanesljivosti znotraj ali v bližini visokonaletostne opreme, kot so industrijske omarice za krmiljenje motorjev, ter z obvladovanjem ekstremnih pogojev elektromagnetnih motenj (EMI)?

Okvir za izbiro Ethernet kabla

Podjetje Belden [1] je razvilo strukturiran okvir, ki ga lahko projektanti uporabijo za razumevanje zapletenosti izbire industrijskih Ethernet kablov DataTuff [2], da bi hitro in učinkovito našli optimalno rešitev za konkretne scenarije uporabe.

Najprej je treba upoštevati zahteve glede hitrosti prenosa podatkov. Aplikacije, kot so IoT senzorji in standardne IP kamere, potrebujejo od 10 do 100 Mbps. IP kamere z visoko ločljivostjo in krmilniki, ki uporabljajo protokole, kot so EtherNet/IP, PROFINET in Modbus TCP, zahtevajo do 1 Gbps. Hrbtenični kablji z visokim prometom pogosto zahtevajo povezljivost 10 Gbps. Kadar je potrebnih do 100 Mbps, podjetje Belden priporoča 2 parici Cat 5e. Za hitrosti do 1 Gbps naj projektanti uporabijo 4



Slika 1: Ključni konstrukcijski podatki štirih primerov industrijskih Ethernet kablov DataTuff podjetja Belden. (Vir slike: Belden)

parice Cat 5e, za hitrosti do 10 Gbps pa kable Cat 6a.

Nato je potrebno jasno razumevanje upogibanja in okoljskih dejavnikov, ki jim bo moral kabel vzdržati. To določa osnovne materiale in zgradbo kabla. Na primer, v okoljih z majhnimi vibracijami znotraj omar ali nadzornih sob lahko izvedba s trdnim prevodnikom zagotovi najvišjo stalno pasovno širino.

Na mestih z zmernimi vibracijami, kot so tovarniška območja, se lahko izkažejo za koristne kabli z zgradbo »Bonded-Pair« (podrobnosti so navedene spodaj). Poleg tega potrebujejo materiale, ki so odporni proti različnim vplivom, vključno z oljem in kemikalijami, grobim ravnanjem, obrabo, večjimi temperaturnimi nihanji in elektromagnetnimi motnjami, hkrati pa še vedno zagotavljajo zanesljivo povezljivost.

Kabli, ki so neposredno priključeni na industrijske robote in druge stroje, so lahko izpostavljeni močnim vibracijam. Zaradi tega je konstrukcija z vezano parico še toliko pomembnejša. Tretji vidik so možnosti ovojev, ki zagotavljajo potrebno raven zaščite za zanesljivo delovanje. V tem članku je predstavljenih nekaj najbolj iskanih možnosti. Celotna linija DataTuff vključuje obsežen izbor ovojev, med katerimi so:

- PVC, polietilen, FEP, FRNC/LSNH, PUR ali TPE
- Izvedbe za težke pogoje, z dvojnimi plaščem ali z aluminijastimi ojačitvami
- Plašči brez halogenov ali za nizko stopnjo dima in brez halogenov
- Na voljo so tudi izvedbe za zakopavanje ali uporabo na prostem, odporne proti bencinu ter za uporabo pri izjemno visokih in nizkih temperaturah

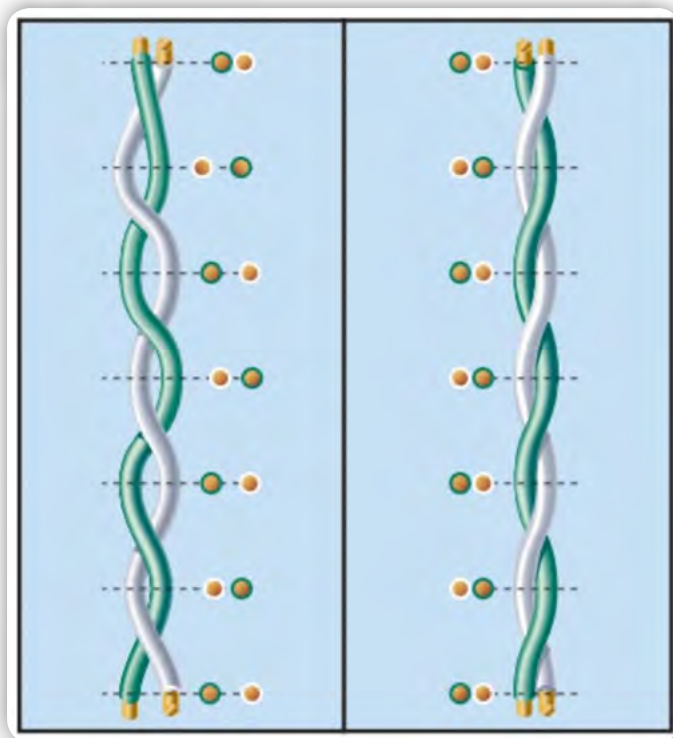
Nazadnje je v ohišju na voljo izbira med oklopljenim in neoklopljenim kablom. Serija industrijskih Ethernet kablov DataTuff ponuja več možnosti. V okoljih z majhnimi motnjami lahko neoklopljeni kabli (označeni kot U/UTP ali UTP) zagotovijo omejeno, a ustrezno odpornost proti motnjam.

Na lokacijah z zmernim nadzorom elektromagnetnih motenj (EMI) imajo kabli s folijskim oklopom (F/UTP) 100-odstotno pokritost z aluminij-poliestrskim trakom, ovitim okoli svežnja žic, skupaj s pocinkanim bakrenim odvodnim vodnikom. Kadar je potrebna največja odpornost proti visokofrekvenčnim in nizkofrekvenčnim motnjam, se lahko uporabijo kabli s kombiniranim oklopom iz pletenice in folije (SF/UTP ali folija + TC-pletanica). Združujejo notranji 100-odstotni folijski oklop z zunanjim oklopom iz pocinkane bakrene pletenice (običajno 70-odstotno pokritje) ter odvodno žico.

Prednosti vezanja

Pri večini kablov DataTuff se uporablja Beldenova patentirana konstrukcija kabla »Bonded-Pair«. Ta povezuje izolacijo prevodnikov kabelskih parov vzdolž vzdolžnih osi, da se izboljša zmogljivost povratne izgube (RL) za specifikacije, kot je ODVA za EtherNet/IP. Kabli so primerni za uporabo s protokolom CIP (Common Industrial Protocol) za izvajanje razširitev avtomatizacije, kot so CIP Safety, CIP Security in CIP Motion.

Uporaba kablov z vezanim parom v okoljih z močnimi vibracijami in upogibanjem lahko zagotovi izboljšano delovanje, vključno z ohranjanjem konstantnega in enakomernega razmika med prevodniki, kar omogoča boljše in doslednejše



Slika 2: Tehnologija »Belden Bonded Pair« (desno) zagotavlja enakomerno koncentričnost med prevodniki po celotni dolžini Ethernet kabla v primerjavi z slabo prepleteno konstrukcijo (levo). (Vir slike: Belden)

električno delovanje, vključno z nižjimi povratnimi izgubami (RL) in izboljšano kakovostjo signala (slika 2). Enakomerna sredica se ohrani tudi po upogibanju, zvijanju in vlečenju med namestitvijo in med delovanjem.

Dokaz o uspešnosti

Testi kablov z vezanimi pari in kablov z nevezanimi pari so pokazali prednosti pri namestitvah kategorije Cat 5e s frekvenco 350 MHz. Pri testu so simulirali vlečenje in upogibanje kablov, ki se pojavljata med običajnimi postopki namestitve. Primerjali so vrednosti povratne izgube (RL) kablov takoj po odvijanju z bobna in po postopku obremenitve med namestitvijo.

RL meri količino signala, ko se zaradi notranjih neskladij impedance odbija nazaj proti viru. Slaba vrednost RL povzroča popačenje podatkovnih tokov, poveča stopnjo napak v paketih in zmanjša splošno integriteto podatkov.

Rezultati testov so pokazali, da je pri kablu z nevezanim parom prišlo do poslabšanja RL za več kot 12 dB, medtem ko so Ethernet kabli Belden z vezanim parom pokazali le majhno ali pa sploh nobeno spremembo v zmogljivosti RL.

Izbire so dobre

Ne glede na zahteve aplikacije podjetje Belden ponuja ustrezno izbiro industrijskih Ethernet kablov DataTuff. Model 7930A [3] je na primer osnovna izvedba, ki uporablja štiri nevezane, nezaščitene prepletene pare (U/UTP) in podpira zmogljivost kategorije Cat 5e. Če izberete delno številko 7923A [4], je prav tako podprt standard Cat 5e z nezaščitnim 4-parnim kablom, ki za boljšo zmogljivost uporablja konstrukcijo vezanih parov.

Belden 7919A [5] 4-parni nevezani oklopljeni kabel kategorije 5e (F/UTP), ki ga lahko imenujemo tudi »basic plus«. Zasnovan je za okolja, ki zahtevajo dobro zaščito pred elektromagnetnimi motnjami (EMI), in ima celotno oklopno prevleko Beldfoil® s prepleteno pocinkano bakreno odvodno žico ter zunanjo ovojnico iz PVC-ja, ki je primerna za težke pogoje ter odporna proti olju in UV-sevanju. Zaradi certifikata MSHA se pogosto uporablja v rudarstvu.

Cat 6 lastnosti

Prehod na kategorijo Cat 6 omogoča večjo prepustnost podatkov in boljše dušenje šuma v standardnih omrežjih za avtomatizacijo proizvodnje. Nezaščiteni kabel kategorije Cat 6, ki ustreza kablu Cat 5e 7923A, je model 7927A [6] (za uporabo s trdnimi prevodniki) ali 7972A [7] (za uporabo s prožnimi/prepletenimi prevodniki).

Kabel Belden 7953A [8] ima enak celovit Beldfoil oklop kot model 7919A. Zagotavlja zmogljivost kategorije 6 s prepletenimi pari premera 23 AWG, notranjim PVC-ovojem in zunanjim PVC-ovojem, ki je odporen proti olju in soncu.

Več izzivov, več možnosti

Ne gre le za hitrosti prenosa podatkov; okoljski izzivi so lahko pomemben dejavnik v številnih industrijskih objektih, za kar podjetje DataTuff ponuja rešitve. Na primer, nezaščiten kabel Belden 7934A [9] kategorije Cat 5e ima zasnovo iz trdnih prevodnikov v obliki prepletenega para (UTP). Izdelan je z vodoodpornim polimernim gelom in trpežnim, soncu odpornim polietilenskim (PE) plaščem, ki je primeren za neposredno zakopavanje.

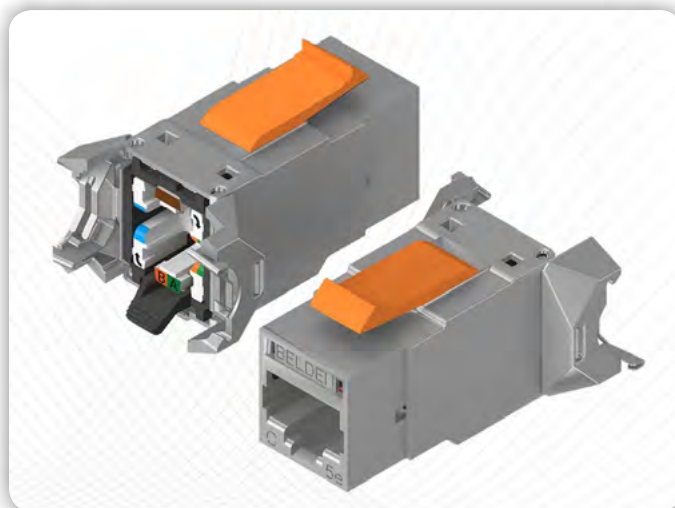
Če bo kabel nameščen na mestih, kot so zračni prostori, kjer vladajo ekstremne temperature, je izdelek s številko 7928A [10], ki zagotavlja zmogljivost kategorije Cat 5e, dobra izbira. Njegova nezaščiten izvedba vključuje konstrukcijo z vezanimi pari, notranja izolacija prevodnikov in zunanji plašč pa sta izdelana iz fluoropolimera tipa teflon (FEP), kar omogoča delovno temperaturo od -70 do +150 °C.

Za polaganje ob električnih kablilih je model 7958A [11] Cat 5e različica zgoraj omenjenega kabla 7953A Cat 6. Oba modela imata vezane pare, osrednjo membrano X-Spline za izolacijo parov med seboj, notranji PVC-plašč, celotno laminirano zaščito iz aluminija Beldfoil in poliestra ter zunanji industrijski PVC-plašč. Zaradi te konfiguracije z dvojnimi plaščem imata nazivno napetost 600 V za napeljavo poleg napajalnih kablov (AWM).

Poleg obsežne ponudbe industrijskih Ethernet kablov podjetja Belden ponuja DigiKey projektantom izbiro med Digi-Spool, neprekinjenimi bobni industrijskih Ethernet kablov Belden za velike inštalacije, ter odrezanimi kablili v dolžinah 150, 30 in 15 m za vzdrževanje, naknadne vgradnje in manjše inštalacije. Hitro in enostavno zaključevanje kablov je enako pomemben vidik pri uvajanju industrijskega Ethernet.

Zanesljivi, enostavni in vsestranski priključki

Zanesljivo, enostavno in vsestransko (REV) zaključevanje Ethernet kablov na terenu omogočajo Beldenovi industrijski



Slika 3: Vizualizacija sprednje in zadnje strani industrijskega priključka REVConnect RJ45 podjetja Belden. (Vir slike: Belden)

priključki REVConnect RJ45 [12] (slika 3). Edinstvena struktura za prebijanje izolacije zagotavlja zanesljivo povezavo, odpornost na zahtevne pogoje na terenu pa zagotavlja trajno zanesljivost.

To je preprosto, saj se za pripravo in zaključevanje kablov uporablja eno samo orodje za zaključevanje. Je vsestransko, saj so na voljo modeli za Cat 5e, Cat 6 in druge standarde. Poleg tega so na voljo oklopljene in neoklopljene različice, komplet konektorjev s stopnjo zaščite IP67 [13] ter pritrdilni elementi za montažo na DIN-tirnico [14].

Zaključek

Načrtovalci industrijskih omrežij potrebujejo široko paleto robustnih in visoko zmogljivih rešitev za Ethernet kabelsko povezovanje. Industrijski Ethernet kabli DataTuff podjetja Belden zagotavljajo vse, kar načrtovalci omrežij potrebujejo za raznolike in zahtevne operative scenarije. DigiKey ponuja kable DataTuff v različnih dolžinah, ki ustrezajo potrebam posameznih namestitev, industrijski priključki REVConnect RJ45 podjetja Belden pa lahko pospešijo namestitev in uvedbo omrežja Ethernet.

Viri:

- 1: <https://www.digikey.com/en/supplier-centers/belden>
- 2: <https://www.digikey.com/en/product-highlights/belden/datatuff-industrial-ethernet>
- 3: <https://www.digikey.com/en/products/detail/belden-inc/7930a-0101000/8120988>
- 4: <https://www.digikey.com/en/products/detail/belden-inc/7923a-0081000/8121796>
- 5: <https://www.digikey.com/en/products/detail/belden-inc/7919a-0101000/7008055>
- 6: <https://www.digikey.com/en/products/detail/belden-inc/7927a-0102000/8120984>
- 7: <https://www.digikey.com/en/products/filter/multiple-conductor-cables/473?s=N4IgjCBco-LQdIDGUBmBDANgZwKYBoQB7KAbXAGYBWE-AXQF86CAmUkAdgE42mBBWuoA>



- 8: <https://www.digikey.com/en/products/detail/belden-inc/7953A-0101000/7042038>
- 9: <https://www.digikey.com/en/products/detail/belden-inc/7934a-0101000/8120995>
- 10: <https://www.digikey.com/en/products/detail/belden-inc/7928a-0101000/7042046>
- 11: <https://www.digikey.com/en/products/detail/belden-inc/7958a-0102000/8121012>
- 12: <https://www.digikey.com/en/product-high-light/b/belden/revconnect-rj45-connectors>
- 13: <https://www.digikey.com/en/products/detail/belden-inc/E300501-010S1/8120785>
- 14: <https://www.digikey.com/en/products/detail/belden-inc/E100K22-009S1/21453914>



Priporočljivo branje:

- [Simplify Implementation of Single-Pair Ethernet Networking for Critical Time-Sensitive Applications](#)
- [Connectivity – The Backbone of Sustainable Automation](#)
- [How to Select Flat-Panel HMIs for Optimal Results in All Industrial Environments](#)
- [How to Implement Hybrid Control Networks in Industrial Applications](#)
- [How to Extend the Industrial Edge with SPE and PoDL](#)



<https://www.digikey.com>



PREDSTAVLJAMO

NAJPOPOLNEJŠI

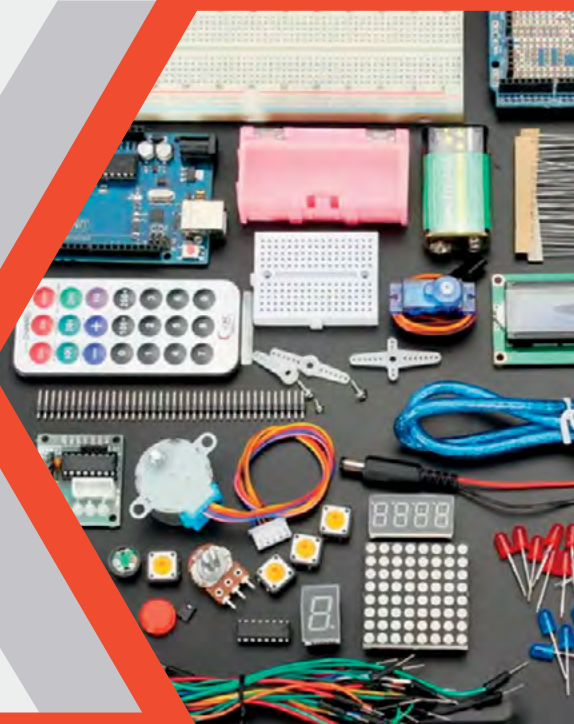
ARDUINO KIT

za nadebudne
programerje

VSEBUJE:

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

AX ELEKTRONIKA



Krmilniki BLDC in DC motorjev za varne avtomobilske aplikacije

RUTRONIK GmbH

Avtor: Martin Kurz, Field Application Engineer ABU pri podjetju Rutronik

Več moči na manjšem prostoru.

Majhni elektromotorji so ključni gradniki sodobnih arhitektur vozil – zlasti na področju udobja in termičnega upravljanja. Nove krmilne rešitve prinašajo prednosti glede prostora, varnosti in elektromagnetne združljivosti (EMC), hkrati pa podpirajo vse večjo funkcionalno kompleksnost.

V sodobnih vozilih majhni električni pogoni opravljajo širok spekter nalog – od hlajenja baterije in nastavljanja sedežev do krmiljenja loput in ventilatorjev (slika 1). Število pogonov se nenehno povečuje, zlasti v elektrificiranih arhitekturah, kjer je prostor pogosto omejen. Brezkrtačni enosmerni motorji (BLDC) postajajo vse bolj priljubljeni, saj zavzamejo manj prostora, delujejo učinkoviteje in zahtevajo manj vzdrževanja kot klasični DC motorji.

Hkrati se zaostrojujejo zahteve glede funkcionalne varnosti, kibernetske varnosti in elektromagnetne združljivosti (EMC). Poleg tega narašča potreba po kompaktnih, robustnih in visoko integriranih krmilnih rešitvah, ki so ekonomsko upravičene tako v razvojni fazi kot tudi pri serijski proizvodnji.

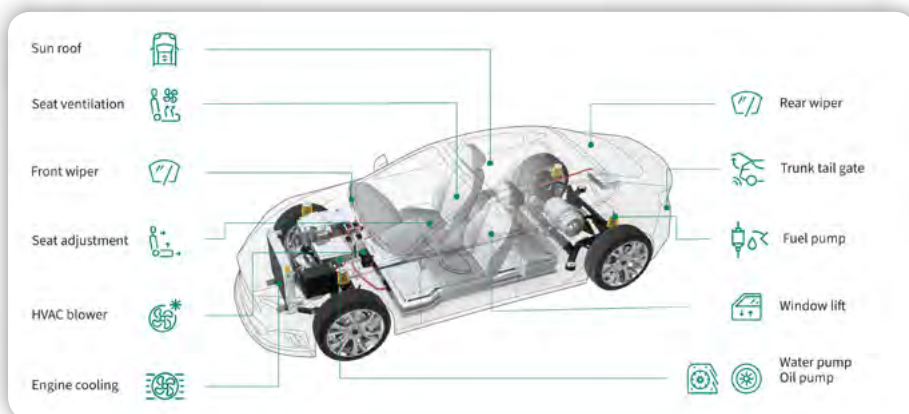
Prav tu pridejo do izraza najnovejše nadgradnje serije Infineon MOTIX MCU, predvsem gonilnik B6 mostiča (TLE995x) in gonilnik H-mostiča (TLE994x). Namenjeni so uporabi v številnih aplikacijah z majhnimi in srednje velikimi motorji v vozilih, kjer so kompaktna zasnova, stroškovna učinkovitost in funkcionalna varnost ključnega pomena.

Funkcionalna integracija za decentralizirano krmiljenje

Posebej pomembno področje uporabe predstavlja termično upravljanje električnih in hibridnih vozil. Za uravnavanje temperature baterije, močnostne elektronike in potniške kabine je potrebnih več manjših črpalk in ventilatorjev.

Ti sistemi so običajno nameščeni v prostorsko omejenih območjih, pogosto v bližini virov toplote ali v vlažnih okoljih. Zato zahtevajo kompaktne, robustne in zanesljive krmilne enote. Serija TLE995x predstavlja idealno platformo za te zahteve. Temelji na 32-bitnem jedru Arm Cortex-M23 (40 MHz, 0,98 DMIPS/MHz) s 72 kB Flash in 6 kB RAM pomnilnika. Poleg gonilnika motorja vključuje tudi napajalni sklop in komunikacijski vmesnik LIN v ohišju TSSOP-32 z dobrimi toplotnimi lastnostmi in tlorisom le 6 mm × 9 mm (slika 2).

Funkcije udobja, kot so električno nastavljivi sedeži, električni



Slika 1: Tipične uporabe krmilnika motorjev Motix MCU v avtomobilskem sektorju (vir: Infineon)

pomik stekel, strešna okna in pokrovi tovornega prostora, zahtevajo stroškovno optimizirane rešitve z vgrajenimi zaščitnimi in diagnostičnimi funkcijami. Le tako je mogoče zagotoviti zaznavanje blokad, omejevanje toka in sporočanje napak prek vodila LIN.

Popolnoma integriran LIN-vmesnik in diagnostične funkcije olajšajo integracijo sistema v obstoječe arhitekture vozil. Kljub manjši procesorski zmogljivosti v primerjavi s predhodnikom (TLE987x) TLE995x izpolnjuje visoke zahteve sodobnih krmilnikov motorjev. Pri tem pomagajo učinkoviti algoritmi, kot je vektorsko krmiljenje motorja (Field-Oriented Control – FoC) v dvocikličnem načinu delovanja, ki jih zagotavljajo programski partnerji.

Poudarek na varnostnih funkcijah

Glavna inovacija je usmerjena v integrirane varnostne in zaščitne mehanizme. Arhitektura je bila razvita v skladu s standardom ISO 26262 in izpolnjuje zahteve do ravni ASIL B.

Lastnost	TLE987x	TLE995x
CPU	ARM Cortex-M3, 40 MHz	ARM Cortex-M23, 40 MHz
Pomnilnik	Do 128 kB Flash, 6 kB RAM	72 kB Flash, 6 kB RAM
Varnost / zaščita	Osnovne funkcije	ISO 26262, ASIL B, TrustZone
Komunikacija	LIN	LIN
Merjenje toka	Integriran CSA + ADC	Integriran CSA + ADC
Uporaba	Splošno BLDC krmiljenje	Stroškovno optimizirano BLDC krmiljenje za osnovne aplikacije z manj zahtevnimi funkcijami

Tabela 1: Primerjava TLE987x in TLE995x

Jedro ARM podpira varno izvajanje operacij, omogoča implementacijo varne komunikacije ter vključuje varno izklopno pot za izhodno stopnjo.

Na področju kibernetske varnosti je uporabljena tehnologija ARM TrustZone. Ta zagotavlja, da se občutljivi podatki in procesi, ključni za varnost sistema, izvajajo v zaščitenem območju, ki je zaščiteno pred manipulacijami in nepooblaščenim dostopom.

Dodatne lastnosti:

- *Periferija za krmiljenje motorja: Enota CCU7 Advanced Timer Unit podpira simetrično in asimetrično generiranje PWM signalov ter je neposredno povezana z gonilnikom mostiča. Gonilnik vključuje tristopenjski sekvencer in zelo hiter sekvencer za časovno krmiljenje VDS prehodov. Tako je mogoče natančno nastavljati čase naraščanja in padanja signalov. Dvostopenjska črpalka naboja podpira 100-odstotni delovni cikel in omogoča vklop MOSFET-a za zaščito pred napačno polariteto.*
- *Ojačevalnik za merjenje toka: Omogoča diferencialne meritve napetosti prek zunanega šenta in je neposredno povezan z ADC. Merilno območje je nastavljivo, ojačevalnik pa zagotavlja visoko natančnost in minimalno temperaturno drsenje. Vključena je tudi zaščita pred prevelikim tokom.*
- *Diagnostika: Krmilnik ponuja obsežne diagnostične in zaščitne funkcije, integrirane v sistem MOTIX 32-bit Motor Control SoC. Med njimi so nastavljivo zaznavanje in izklop ob prenapetosti ali podnapetosti, zaznavanje in izklop ob prevelikem toku zunanjih MOSFET-ov ter zaznavanje odprtega bremena v izklopljenem stanju.*
- *12-bitni SAR ADC: Pretvornik omogoča napredne funkcije naknadne obdelave, kot so poprečenje in pragovne vrednosti. Poleg tega lahko samostojno zazna povratno elektromotorno napetost (back EMF) in jo interno posreduje sistemu.*

System-in-Package prinaša prednosti razvijalcem

Za aplikacije z višjimi zahtevami glede moči je na voljo rešitev TLE9954QSW40-33 v izvedbi System-in-Package (SiP). Združuje krmilnik motorja TLE9954 in šest MOSFET-ov OptiMOS 7 v enem samem ohišju ter predstavlja prvo popolnoma integrirano 12-voltno avtomobilsko rešitev za motorne aplikacije do približno 150 W.

Neposredna integracija močnostnih polprevodnikov z gonilnikom mostiča prinaša več tehničnih prednosti:

- *manjše parazitske induktivnosti med gonilnikom in MOSFET-i zmanjšujejo preklopne izgube in mrtve čase,*
- *manjše EMC emisije zaradi krajših povezav,*
- *manj zunanjih komponent, zlasti za proženje vrat MOSFET-ov in zaščitna vezja,*

- *kompaktnjša zasnova, ki omogoča uporabo manjših krmilnih enot.*

Ohišje meri le 9,5 mm × 9,5 mm in je namenjeno aplikacijam do približno 150 W, odvisno od toplotnih pogojev sistema. Pri tako visoki stopnji integracije ima toplotna povezava SiP-modula ključno vlogo pri celotni zmogljivosti sistema.

Programska oprema in razvojna podpora

Za serijo TLE995x je na voljo obsežen programski paket, ki vključuje komponente skladne z ASPICE in MISRA, gonilnike perifernih enot, vzorčne aplikacije in referenčne projekte. Dostop je omogočen prek platforme Infineon Developer Center. Za integracijo v aplikacije so na voljo tudi komercialne programske rešitve partnerskih podjetij. MOTEON in EONAS ponujata algoritme FoC ter dodatno programsko opremo za krmiljenje motorjev. Podjetje ihr GmbH zagotavlja LIN-protokolni sklad, optimiziran za TLE995x.

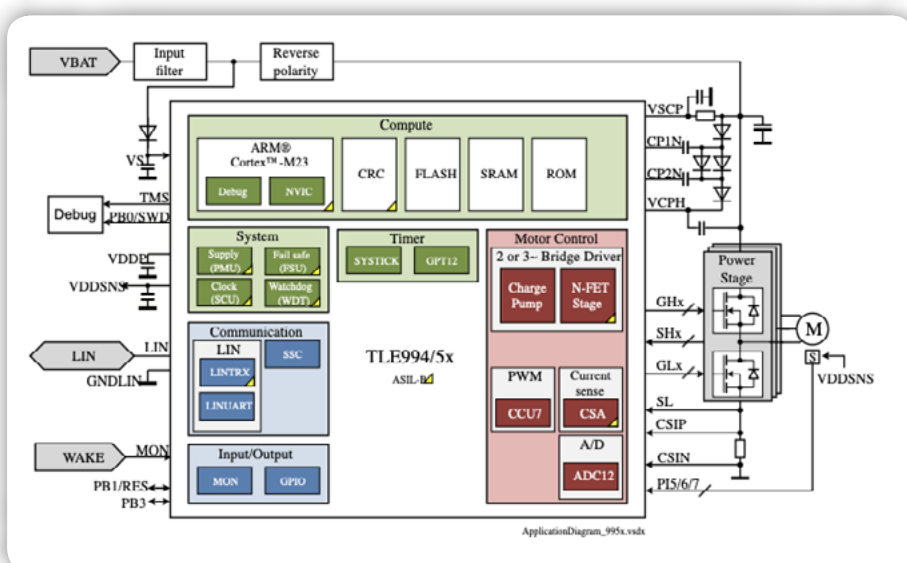
Ta podpora bistveno poenostavi razvoj robustnih krmilnih enot, ki izpolnjujejo vse relevantne standarde.

Različica SiP TLE9954QSW40-33 je trenutno v fazi vzorčenja, pri čemer prvi vzorci že potekajo pri kupcih. Serijska proizvodnja je predvidena za sredino leta 2026. Različici TLE995x in TLE994x sta v serijski proizvodnji že od junija. Za ocenjevanje so na voljo ustrezne smernice za načrtovanje in referenčne tiskaninske plošče.

V prihodnje bo mogoče pričakovati nadaljnje zaostrovanje zahtev glede funkcionalne varnosti, energetske učinkovitosti in povezljivosti. Zato Infineon že načrtuje razširitev portfelja na industrijske aplikacije (IFX995x, IFX994x).

Rešitve so namenjene razvijalcem, ki iščejo prostorsko in stroškovno učinkovite krmilnike majhnih pogonov, ne da bi pri tem sklepali kompromise glede varnosti, diagnostike ali elektromagnetne združljivosti.

<https://www.rutronik.com>



Slika 2: Blok diagram krmilnika TLE995x/4x (vir: Infineon)

Zaščita sistemov povezanih avtomobilov v realnem času

Microchip Technology Inc.

Avtor: Nelson Alexander, glavni inženir in strokovnjak za trženje izdelkov v poslovni enoti za digitalne signalne procesorje podjetja Microchip Technology

Ker so avtomobili vedno bolj povezani, je varnost postala glavna prednostna naloga proizvajalcev originalne opreme (OEM) in celotne dobavne verige. To je posledica potrebe po brezžičnih posodobitvah programske opreme, daljinski diagnostiki in naprednih sistemih za pomoč vozniku.

Vendar pa te nove zmogljivosti ustvarjajo tudi nove ranljivosti, ki lahko ogrozijo varnost in osebne podatke.

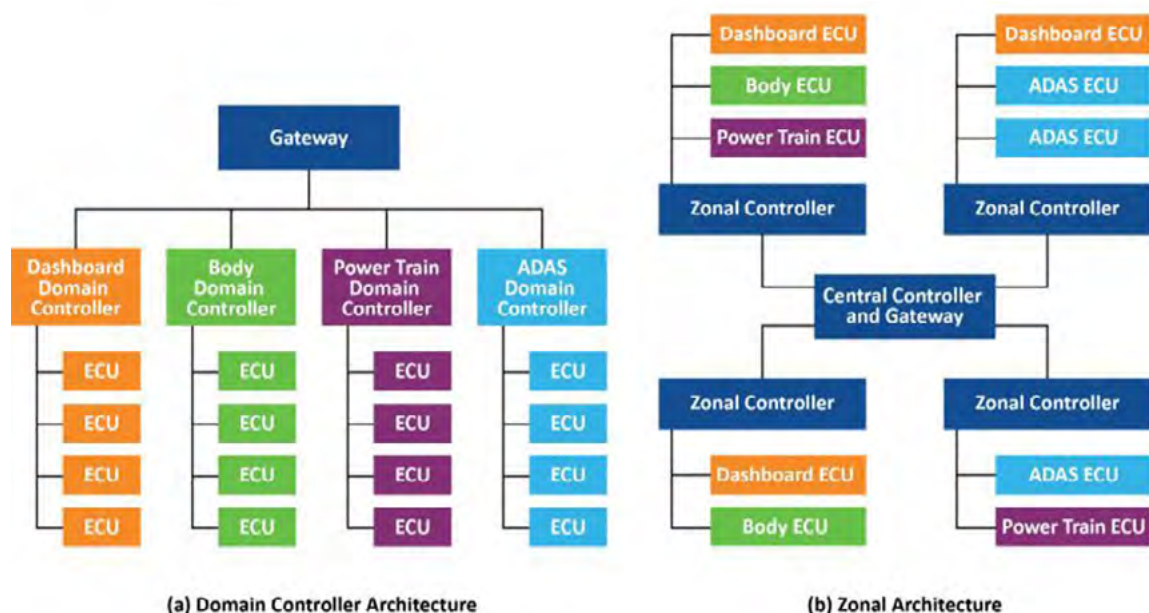
Trendi, ki vplivajo na varnost v avtomobilski industriji

Poudarek na varnosti se je povečal tudi zaradi prehoda s tradicionalne domenske arhitekture na consko arhitekturo. V domenski arhitekturi so elektronske krmilne enote (ECU) s podobnimi funkcijami med seboj povezane v podomrežje, kar povzroča nastanek številnih neodvisnih domen. Domene so bile razdeljene na pogonski sklop in menjalnik, krmiljenje karoserije, klimatsko krmiljenje itd., vsaka od domen pa je bila lahko razvita tako, da je izpolnjevala različne varnostne ravni glede na njeno kritičnost za vozilo. V konceptu con pa so ECU-ji povezani v omrežje z lokalnim conskim krmilnikom in prehodi. V conski arhitekturi so funkcije različnih domenskih krmilnikov združene v centraliziranem krmilniku. Ta združitev zmanjšuje tako stroške, kot tudi zapletenost sistema, zato se conska arhitektura vse bolj uveljavlja na račun domenske arhitekture. Ena od slabosti conske arhitekture je, da zahteva, da si ECU-ji iz različnih domen delijo komunikacijsko omrežje, kar pomeni, da morajo vsi ECU-ji v conski arhitekturi upoštevati višje varnostne standarde.

Da bi odpravili varnostne pomisleke v zvezi z avtomobili, vladne agencije in mednarodni organi za standardizacijo od proizvajalcev zahtevajo, da sprejmejo nove standarde, kot je ISO/SAE 21434, ter predpise, kot sta WP.29 R155/R156 Evropske gospodarske komisije Združenih narodov (UNECE), pa tudi druge podobne predpise, specifične za posamezne regije.

ISO 21434 je razmeroma nov standard za kibernetsko varnost v avtomobilski industriji. Osredotoča se na tehnične in procesne zahteve skozi celoten življenjski cikel izdelka. To vključuje organizacijske politike, procese razvoja izdelkov ter upravljanje varnostnih vprašanj skozi celoten življenjski cikel izdelka. Da bi zagotovili skladnost s standardi kibernetske varnosti v vozilih, je treba ta standard uvesti v celotni dobavni verigi, vključno s proizvajalci originalne opreme (OEM), dobavitelji prvega reda ter ponudniki programske opreme in polprevodniških komponent. 65 držav je doslej sprejelo UNECE R155 in R156, ki sta predpisa o kibernetski varnosti. Proizvajalci avtomobilov morajo ta predpisa upoštevati, da lahko svoja vozila dajo na trg v teh državah. Od julija 2024 sta predpisa R155 in R156 obvezna za vsa nova vozila, ki se proizvajajo.

Uredba UNECE se sklicuje na tehnične specifikacije standarda ISO 21434 in zahteva uvedbo sistema upravljanja kibernetske varnosti (CSMS). Ta sistem mora zajemati celotno življenjsko dobo avtomobila, od razvoja do konca življenjske dobe vozila.



Slika 1: Primerjava domenske in conske arhitekture

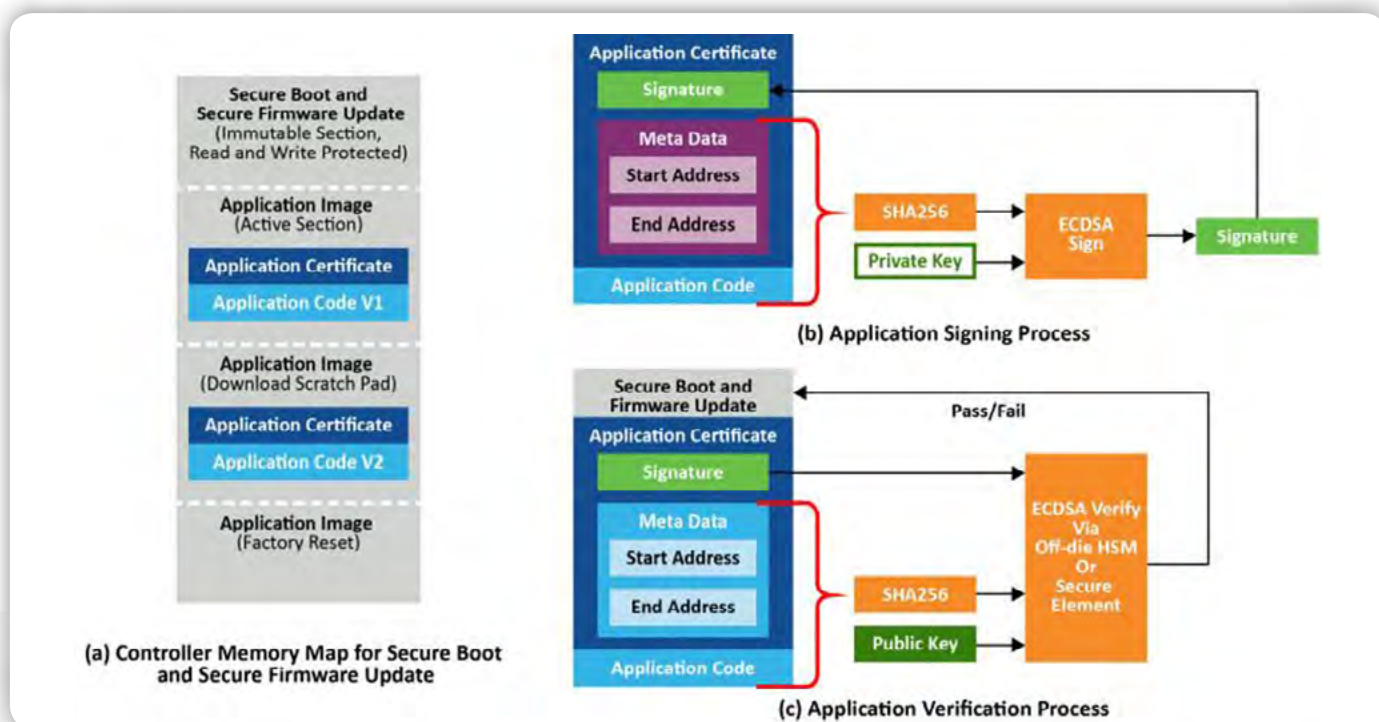
V tem obdobju CSMS zahteva spremljanje kibernetskih groženj in uvedbo postopka za njihovo ublažitev. V nekaterih primerih lahko ukrep za zmanjšanje tveganja vključuje pravočasno namestitev popravkov za ugnezdene programske opreme v ranljivi ECU enoti. Zato so posodobitve ugnezdene programske opreme prek brezžičnega omrežja (OTA) postale nujne v vseh vozilih, da se izpolnijo UNECE predpisi. Ugnezden sistem v ECU enoti mora omogočati varen zagon, varne posodobitve ugnezdene programske opreme in varno komunikacijo, da se zagotovi zanesljiva posodobitev ugnezdene programske opreme prek OTA. Eden od primerov uporabe, ki zahteva možnost posodobitve prek OTA in visoko raven avtentifikacije, je brezžično polnjenje osebnih naprav v potniški kabini. Konzorcij Wireless Power Consortium (WPC), ki upravlja s specifikacijo za brezžično napajanje Qi®, je zaskrbljen zaradi zlonamernih polnilnikov, ki lahko poškodujejo telefone in druge naprave. Standard Qi 1.3 in nedavni standard Qi 2.0 zahtevata, da se brezžični polnilniki za polnjenje z visoko močjo kriptografsko avtentificirajo pri napravi. Da bi omogočili to avtentifikacijo, morajo brezžični polnilniki, skladni s Qi standardom, imeti vgrajene certifikate za posamezne enote (Product Unit Certificates) v strojni opremi naprave. Ti certifikati so certifikati z javnim ključem, ki jih proizvajalci lahko pridobijo pri certifikacijskih organih, pooblaščenih s strani WPC. Polnilniki morajo imeti tudi varnostne elemente strojne opreme, ki ustrezajo stopnji zagotavljanja varnosti Common Criteria (CC EAL) ali visoki stopnji varnosti po standardu Joint Interpretation Library (JIL) in so sposobni izvajati avtentifikacijo na podlagi ECC podpisov, varno shranjevanje ključev ter varno shranjevanje X.509 certifikata.

Vidiki varnosti programske in strojne opreme

Funkcija varnega zagona je bistvena za vzpostavitev korena

zaupanja v ECU, saj varni zaganjalnik zagotavlja, da je ugnezdjena programska oprema, ki teče na napravi, avtentična in da z njo ni bilo nedovoljeno posegano niti med tovarniško proizvodnjo niti po njej. Zato je zaganjalnik odgovoren za zagotavljanje, da ugnezdjena programska oprema, ki teče, resnično izvira od proizvajalca originalne opreme (OEM) oziroma dobavitelja prvega reda (Tier 1). Del pomnilnika krmilnikov, v katerem je shranjen varni zaganjalnik, mora biti nespremenljiv (ali nepredelljiv), saj mora biti zaščiten pred zapisovanjem in se lahko programira le enkrat med začetnim tovarniškim programiranjem. Med postopkom vklopa krmilnik digitalnih signalov v realnem času zažene varni zaganjalnik, da preveri pristnost in celovitost slik aplikacij. Tako pristnost kot celovitost je mogoče preveriti z algoritmom digitalnega podpisovanja z eliptično krivuljo (ECDSA) in hash algoritmi. Slika 2B prikazuje korake za ustvarjanje aplikacije s podpisano sliko, slika 2C pa prikazuje postopek preverjanja aplikacije v realnem času z ugnezdenim krmilnikom digitalnih signalov. Slika 2C prikazuje uporabo hash funkcije SHA-256 za pridobitev povzetka in preverjanje koraka z uporabo algoritma ECDSA ter algoritma za preverjanje podpisov na eliptični krivulji P-256.

Funkcija varne posodobitve ugnezdene programske opreme se lahko nahaja v nespremenljivem delu krmilnika digitalnih signalov, ki deluje v realnem času in je odgovorna za komunikacijo s centralnim vmesnikom prek omrežja vozila, da se prejme nova slika aplikacije. Ker slika aplikacije vsebuje funkcionalno intelektualno lastnino vozlišča, morajo razvijalci razmisliti o uporabi šifriranja in avtentifikacije vozlišča prek komunikacijskega vmesnika, da se prepreči razkritje slike ugnezdene programske opreme. Slika 2A prikazuje zemljevid pomnilnika za krmilnik, ki ima funkcijo posodobitve ugnezdene programske opreme. Običajno morajo obstajati trije oddelki za aplikacije: oddelke za trenutno aktivno sliko, oddelke za prenos nove slike in oddelke za ponastavitev na tovarniške nastavitve, v katerem



Slika 2: Postopek varnega zagona in posodobitve ugnezdene programske opreme ter zemljevid pomnilnika krmilnika

se shrani privzeta slika kot mehanizem za obnovo po napaki. Posodobitev ugnezdene programske opreme mora prav tako preveriti pristnost in celovitost, tako kot varen zagonski postopek, ter mora izvajati politiko posodobitev, kot je zaščita pred povratkom na prejšnjo različico (anti-rollback), pri čemer se ugnezdjena programska oprema lahko posodobi le na novejšo različico. Posodobitev ugnezdene programske opreme mora vključevati tudi metodo obnovitve sistema, ki je koristna v določenih situacijah, na primer kadar slika aktivne aplikacije ali prenesena aplikacija ne opravi preverjanja pristnosti.

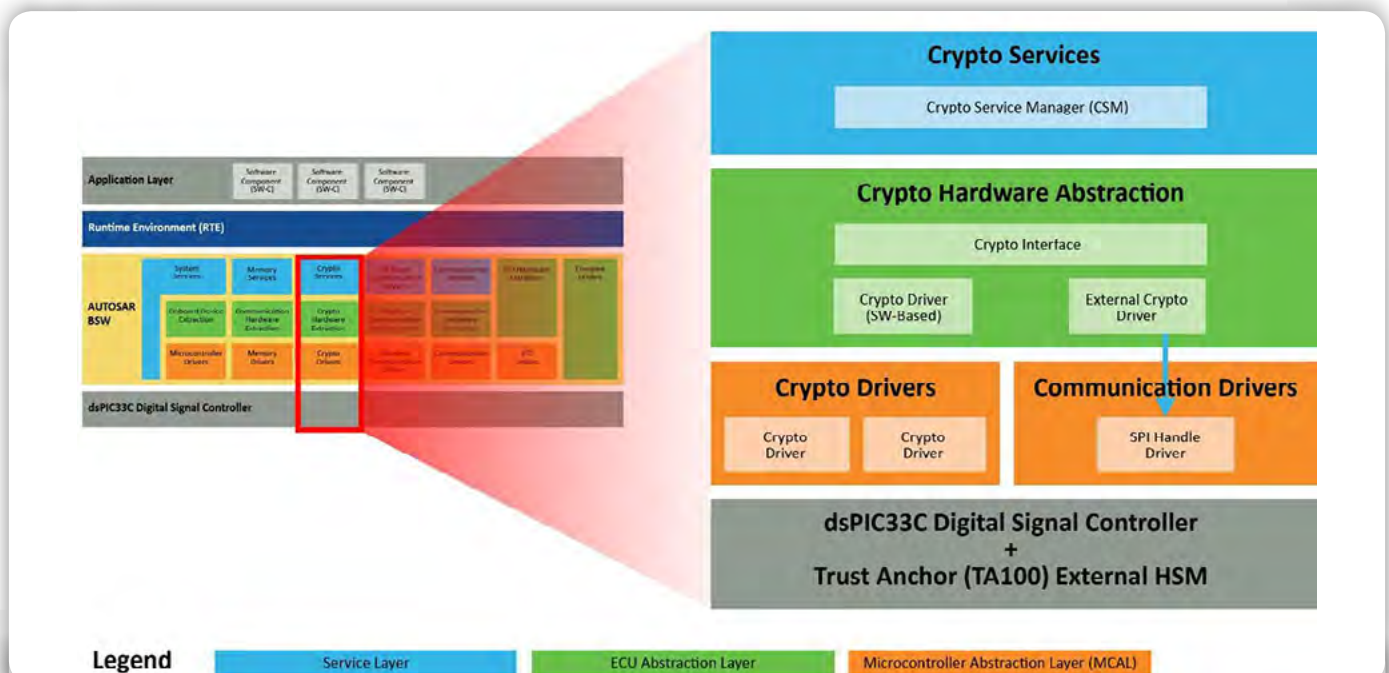
Za izvedbo zgoraj navedenih varnostnih primerov uporabe je priporočljivo uporabiti zunanji varnostni modul (HSM) v kombinaciji z mikrokontrolerjem (MCU) ali krmilnikom digitalnih signalov (DSC) z vgrajenimi varnostnimi funkcijami, ali pa uporabiti MCU/DSC z vgrajenim HSM v enem samem ohišju. MCU/DSC z vgrajenim HSM je prednosten, kadar vaša zasnova zahteva kompaktno obliko. Ugnezdene varnostne rešitve z DSC-ji na primer z dsPIC33 [1] podpirajo notranje in zunanje HSM-je. Oba pristopa so avtomobilski proizvajalci (OEM) široko sprejeli. HSM-ji delujejo kot varnostna enklava, v kateri so varno območje za shranjevanje ključev in moduli za kriptografske funkcije ločeni od glavnega sistema MCU/DSC. To zmanjša varnostno tveganje v primerjavi s situacijo, ko MCU shranjuje ključ v svojem notranjem pomnilniku. Varnostno opremljeni mikrokontrolerji (MCU/DSC) dopolnjujejo zunanji HSM z značilnostmi, kot so nespremenljiv varnostni zagonski pomnilnik, Flash pomnilnik za enkratno programiranje (OTP) in onemogočanje prehoda v način odpravljanja napak. ECU platforma, ki temelji na HSM in družini varnostno opremljenih mikrokontrolerjev, je lažje prilagodljiva, saj se lahko znotraj te družine mikrokontrolerjev prilagajate glede na zahteve po pomnilniku in funkcionalnosti.

Razvoj z zunanjim ali vgrajenim HSM-jem zahteva poglobljeno znanje o varnosti in preučevanje številnih konfiguracijskih nastavitev, da se izpolnijo varnostni scenariji uporabe aplikacije in ciljni varnostni profili. Zato je pomembno, da razvoj začnemo z ekosistemom orodij, ki vključuje strojno opremo za hitro izdelavo

prototipov in grafične konfiguratorje. Druga pomembna zadeva je varno programiranje ključev in zaupnih podatkov v HSM že v fazi proizvodnje, ne da bi pri tem prišlo do razkritja zaupnih informacij. Nekateri proizvajalci polprevodnikov za HSM so to težavo odpravili s ponudbo varne HSM predkonfiguracije. Predkonfigurirani deli znatno olajšajo izzive v proizvodnji.

Sodobne elektronske krmilne enote (ECU) so razvite v skladu s standardom AUTomotive Open System ARchitecture, splošno znanim kot AUTOSAR. Zato je za razvoj varnostnih scenarijev uporabe potrebno, da so HSM in varnostno opremljeni mikrokontrolerji/DSC-ji podprti s serijskimi programskimi komponentami AUTOSAR. AUTOSAR podpira izvajanje varnostnih ukrepov z zagotavljanjem več gradnikov.

Slika 3 prikazuje konceptualni diagram arhitekture AUTOSAR. Na dnu se nahaja fizični krmilnik digitalnih signalov (DSC) ali mikrokontroler (MCU), nad njim pa osnovna programska oprema (BSW). BSW je nadalje razdeljena na sloj storitev, sloj abstrakcije ECU in sloj abstrakcije mikrokontrolerja (MCAL). Nad tem se nahaja plast izvedbenega okolja (RTE), ki aplikaciji zagotavlja standardiziran vmesnik za dostop do spodnjih plasti ter omogoča komunikacijo med zgornjimi komponentami aplikacije, razporejanje BSW, upravljanje virov in instanc BSW. Na vrhu je aplikacijska plast razdeljena na programske komponente AUTOSAR (SW-C). Aplikacijski sloj bo sestavljen iz številnih programskih komponent, od katerih bo vsaka prispevala k eni od funkcij ECU. BSW ima standardni vmesnik za uporabo varnostnih funkcij, kot so kriptografske periferne naprave, sidra zaupanja in zunanji varnostni moduli (HSM). AUTOSAR standard razdeljuje izvedbo kriptografije na tri plasti: plast storitev, plast abstrakcije strojne opreme in plast abstrakcije mikrokontrolerja (MCAL). Na plasti storitev se nahaja upravitelj kriptografskih storitev (CSM). Aplikacijske komponente bodo komunicirale s CSM upraviteljem, da bodo lahko dostopale do osnovne kriptografske knjižnice in HSM ter načrtovale izvajanje kriptografskih funkcij. Kriptografski sklop je mogoče nastaviti tako, da uporablja



Slika 3: Kriptografske funkcije v AUTOSAR skladu

strojne kriptografske funkcije, ki so na voljo na DSC, ali zunanje kriptografske naprave, kot je na primer zunanji HSM. AUTOSAR sklad lahko vključi uporabo zunanjega HSM-ja z uporabo MCAL-ja za serijski periferni vmesnik (SPI) in ustreznega kriptografskega gonilnika, ki ga zagotovi proizvajalec HSM-ja. Osnovno varnostno funkcijo zagotavlja Crypto Stack, ki ima dostop do kriptografskih primitivov in upravljanja s ključi. AUTOSAR podpira tri protokole za varno komunikacijo: Secure Onboard Communication (SecOC), Transport Layer Security (TLS) in Internet Protocol Security (IPsec). SecOC je odprt standard, ki ga je opredelila organizacija AUTOSAR, in se prednostno uporablja za varno komunikacijo med ECU-ji. Uporablja se lahko prek omrežij CAN, Ethernet ali LIN. AUTOSAR BSW omogoča izvajanje primerov uporabe na področju varne diagnostike in zaznavanja vdorov. Dodatne primere uporabe, kot so varne posodobitve ugnedene programske opreme, je mogoče izvajati s pomočjo Crypto Stack-a.

Zaključek

Trend povezanih avtomobilov na trgu vzbuja zaskrbljenost glede zasebnosti in varnosti pri vladnih agencijah, proizvajalcih originalne opreme (OEM) in voznikih. Zato nove uredbe zahtevajo, da morajo avtomobili imeti celovito kibernetsko varnost za zaščito zasebnosti podatkov in izboljšanje varnosti. Kibernetska varnost je prizadevanje, ki se razteza po celotni dobavni verigi, od proizvajalcev originalne opreme (OEM) do dobaviteljev komponent. Razvijalci lahko uporabijo bodisi varnostni modul (HSM) v kombinaciji z varnostno opremljenim mikrokontrolerjem (MCU)

ali varnostnim krmilnikom (DSC) bodisi mikrokontroler (MCU) ali varnostni krmilnik (DSC) z vgrajenim HSM-jem v enem samem ohišju. Poleg tega razvoj poenostavljajo tudi orodja ekosistema, kot so orodja za hitro izdelavo prototipov, knjižnice in grafični konfigurator za HSM. Tudi serijske knjižnice AUTOSAR in podpora za konfiguracijo zmanjšujejo razvojni napor. Idealni ekosistem za avtomobilski DSC ali MCU zahteva celovito podporo za AUTOSAR, podporo za funkcionalno varnost po standardu ISO 26262, dokumentacijo za certificiranje funkcionalne varnosti ter varnostne knjižnice. Za informacije o podpori za AUTOSAR, avtomobilski kibernetski varnosti in funkcionalni varnosti po standardu ISO 26262 si oglejte avtomobilski ekosistem za DSC dsPIC33 [2].

Viri:

- 1: <https://www.microchip.com/en-us/products/microcontrollers-and-microprocessors/dspic-dscs/embedded-security-solutions>
- 2: https://www.microchip.com/en-us/solutions/automotive-and-transportation/automotive-products/microcontrollers-and-microprocessors/dspic-dscs?utm_source=article&utm_medium=article&utm_campaign=securingrealtime-systems&utm_bu=mcu16

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

<https://www.microchip.com>



Varnost s pomočjo strojne opreme, poenostavljena integracija

Varnostne infrastrukture »na ključ«, usklajene s CRA zahtevami

Ker povezani sistemi postajajo vse bolj zapleteni, je upravljanje varnosti naprav skozi celoten življenjski cikel enako pomembno kot zaščita med proizvodnjo in uvajanjem. Varnostno avtentifikacijsko integrirano vezje TA101 podjetja Microchip je zdaj na voljo v dveh platformah – TA101 TFLX (TrustFLEX) in TA101 TMNG (TrustMANAGER) –, ki poenostavljata uvajanje varnostnih ukrepov, skladnih z zakonodajo.

Te rešitve, zasnovane za uporabo v industriji, avtomobilski industriji, na področju SDV in IoT, zagotavljajo kriptografijo s strojno pospešitvijo, vključno z ECC P-521, Ed25519 in RSA-4K, ter varnostne ukrepe, skladne s standardoma CRA in IEC 62443.

TA101-TFLX omogoča varno shranjevanje ključev ter vnaprej določene in nastavljive primere uporabe, kot so varen zagon, avtentifikacija naprav in zanesljiva komunikacija, kar je idealno za ekipe, ki TA101 vključujejo v svojo lastno PKI.

TA101-TMNG razširja nadzor nad življenjskim ciklom s pomočjo storitev, upravljanjih v oblaku prek keySTREAM SaaS, in omogoča oddaljeno konfiguracijo, dodeljevanje poverilnic, menjavo certifikatov, prenos lastništva ter avtentificirane posodobitve ugnedene programske opreme, s čimer odpravlja potrebo po lastni PKI ali infrastrukturi za upravljanje življenjskega cikla.



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



Ime in logotip Microchip ter logotip Microchip so registrirane blagovne znamke podjetja Microchip Technology Incorporated v ZDA in drugih državah. Vse druge blagovne znamke so last njihovih registriranih lastnikov. © 2026 Microchip Technology Inc. Vse pravice pridržane. MEC2649A-SLO-09-26

Od podatkov do odločitev: kako strojno vid, inteligentno zaznavanje in umetna inteligenca na robu omrežja poganjajo pametno tovarno

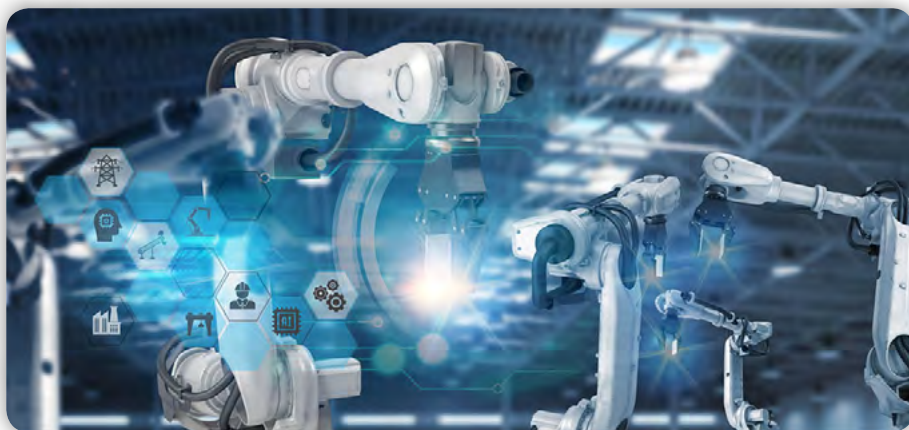
Renesas Electronics

Avtor: Suad Jusuf, direktor za trženje izdelkov

Proizvodnja se nahaja na prelomni točki. Nestabilnost globalnih dobavnih verig, naraščajoči stroški energije, pomanjkanje delovne sile ter vse višja pričakovanja glede kakovosti in prilagajanja izdelkov potrebam strank silijo tovarne, da na novo premislijo o svojem načinu delovanja.

Tradicionalna avtomatizacija, ki je optimizirana za predvidljivost in ponavljanje, se težko spopada z današnjo spremenljivostjo in hitrostjo sprememb.

Pametna tovarna predstavlja odločilni preobrat: proizvodna okolja, ki lahko v realnem času zaznavajo, interpretirajo in se prilagajajo. Osrednjo vlogo pri tem preobratu imajo tri tesno povezana tehnološka področja: strojni vid, inteligentno zaznavanje in umetna inteligenca na robu omrežja. Skupaj omogočajo tovarnam, da podatke ne le zbirajo, ampak jih pretvarjajo v spoznanja in ukrepe tam, kjer je to najbolj pomembno.



ki so bolj dovzetni in upoštevajo kontekst ter so sposobni učiti se iz podatkov, namesto da zgolj izvršujejo pravila.

Omejitve konvencionalne avtomatizacije

Klasični avtomatizacijski sistemi so odlični pri izvajanju vnaprej določene logike. Vendar so po naravi reaktivni. Ko pride do odstopanj v procesih, nihanj v kakovosti surovin ali poslabšanja delovanja opreme, je posredovanje pogosto ročno, zamudno in drago.

Med ključne dejavnike, ki pospešujejo prehod k pametnejši avtomatizaciji, spadajo:

- Večja raznolikost izdelkov, ki jo omogoča masovna prilagoditev
- Višja pričakovanja glede kakovosti, ki dopuščajo le majhno toleranco za napake
- Pomanjkanje usposobljene delovne sile na področju inženiringa in vzdrževanja
- Vse višji stroški izpadov, zlasti na visoko avtomatiziranih proizvodnih linijah

Za reševanje teh izzivov so potrebni avtomatizacijski sistemi,

Strojni vid: od pregleda do interpretacije

Strojni vid je eden najbolj opaznih stebrov pametne tovarne. Medtem ko so bili sistemi za vidno zaznavanje nekoč omejeni na osnovne preglede prisotnosti ali stroga merila za napake, so danes sposobni razlagati zapletene prizore in se prilagajati odstopanjem.

Pogled preko uspešno ali neuspešno

Tradicionalni, na pravilih temelječi sistemi za optično prepoznavanje delujejo dobro v strogo nadzorovanih pogojih, vendar pogosto ne delujejo dobro, ko se spremenijo svetlobne razmere, materiali ali oblika izdelkov. Sodobni pristopi na področju optičnega prepoznavanja vse pogostejše vključujejo tehnike, ki temeljijo na učenju in prepoznavajo vzorce, namesto da bi se zanašali na fiksne prage.

Ta razvoj omogoča strojem, da razlikujejo med sprejemljivimi odstopanji in dejanskimi napakami, se z minimalnim ponovnim usposabljanjem prilagodijo novim različicam izdelkov ter zagotovijo podrobnejše informacije za nadaljnje odločanje.

Širše vloge v proizvodnji

Strojni vid danes igra osrednjo vlogo pri:

- Zagotavljanju kakovosti med proizvodnjo, odkrivanju kozmetičnih, strukturnih in napak, ki nastanejo med montažo
- Vodenju robotov, kar omogoča prilagodljive postopke pobiranja in polaganja ter sestavljanja
- Sledljivosti, podpori serializaciji in skladnosti z zakonodajo
- Nadzoru varnosti, zaznavanju nevarnih razmer ali bližine ljudi

S tem, ko se obdelava približuje kraju zajema slik, postaja sistem za prepoznavanje slik odzivnejši in bolj odporen, kar sta ključni lastnosti za tovarniška okolja, kjer je pomembno delovanje v realnem času.

Intelligentno zaznavanje: vključevanje zavedanja v avtomatizacijo

Medtem ko strojni vid zagotavlja vizualni vpogled, intelligentno zaznavanje dopolni preostali del slike. Parametri, kot so vibracije, temperatura, tok, navor, tlak in akustika, razkrivajo, kaj se dogaja znotraj strojev in v procesih.

Od merjenja do pomena

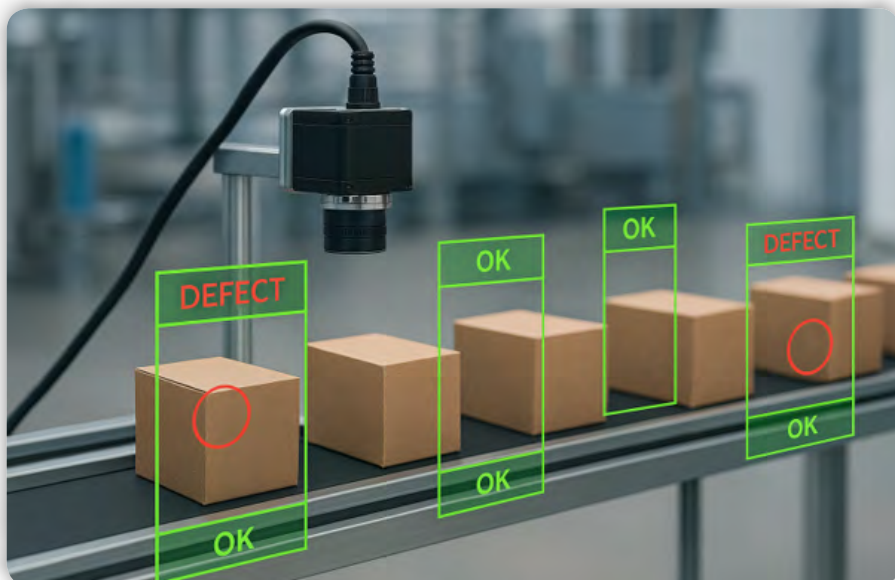
Pametni senzorji niso več pasivne komponente. Vse pogostejše vključujejo lokalno obdelavo in diagnostiko, kar jim omogoča filtriranje in kontekstualizacijo surovih signalov, zaznavanje neznatnih sprememb v vedenju ter zmanjšanje nepotrebnega prenosa podatkov.

Namesto da bi senzorji poročali o posameznih vrednostih, lahko zdaj opozarjajo na stanja, kot so zgodnja obraba, neuravnoteženost ali neučinkovitost.

Moč združevanja senzorjev

Pravo razumevanje procesov se pojavi šele, ko se združijo različne vrste senzorjev. S povezovanjem vizualnih podatkov s fizikalnimi in okoljevarstvenimi meritvami tovarne pridobijo veliko zanesljivejši in podrobnejši vpogled v delovanje.

Na primer, vizualna nepravilnost v kombinaciji z neobičajnimi podatki o vibracijah lahko kaže na obrabo orodja in ne na napako v materialu. Takšen celosten pristop zmanjša število lažnih alarmov in pospeši izvedbo korektivnih ukrepov.



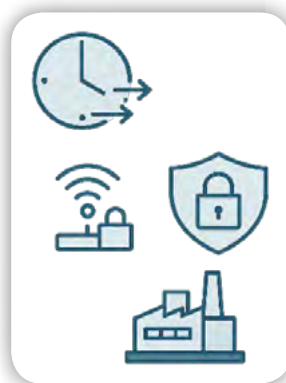
Edge AI: inteligenca na mestu dogajanja

Edge AI združuje strojni vid in inteligentno zaznavanje, kar tovarnam omogoča lokalno interpretacijo zapletenih podatkov, ne da bi bile odvisne od stalne povezave z oblakom.

Zakaj je delovanje na robu pomembno

Proizvodna okolja zahtevajo zmogljivosti, ki jih centralizirani sistemi težko zagotovijo:

- Sprejemanje odločitev z nizko zakasnitvijo za časovno kritično krmiljenje
- Operativna avtonomija v okoljih z omejeno povezljivostjo
- Suverenost nad podatki in zaščita intelektualne lastnine
- Prilagodljiva uvedba na več strojih in proizvodnih linijah



Edge AI te potrebe izpolnjuje tako, da logiko sklepanja in odločanja prenese neposredno v stroje.

Praktični vpliv na poslovanje

Z umetno inteligenco na robu (edge AI) postanejo tovarne v svojem delovanju pametnejše in proaktivnejše. Namesto da bi se sistemi odzivali na težave šele po njihovem nastanku, lahko vnaprej napovedujejo morebitne okvare in tako pomagajo preprečiti drage prekinitve delovanja. Procese je mogoče prilagajati tudi v realnem času, da se upoštevajo spremembe v materialih ali okoljskih pogojih, s čimer se zagotavlja dosledna kakovost in učinkovitost.

Poleg tega lahko sistemi, ki jih poganja umetna inteligenca, prepoznajo neobičajne vzorce in anomalije, ki niso bile izrecno programirane, kar omogoča zgodnejše odkrivanje težav.

Hkrati bolj intuitivne in odzivne interakcije med človekom in strojem izboljšujejo varnost in uporabnost v proizvodnji. Skupaj to predstavlja jasen prehod od reaktivnega nadzora k prilagodljivemu, samodejno optimiziranemu delovanju.

Zbliževanje: Ustvarjanje inteligence skozi integracijo

Največje koristi se pokažejo, ko so strojni vid, inteligentno zaznavanje in umetna inteligenca na robu omrežja zasnovani kot enoten sistem in ne kot ločene zmogljivosti.

Vzemimo za primer proizvodno linijo z veliko raznolikostjo izdelkov:

- *Strojni vid prepoznava neznatna odstopanja v kakovosti*
- *Pametni senzorji spremljajo mehansko in električno delovanje*
- *Edge AI te podatke medsebojno povezuje, da bi prepoznal nastajajoče težave*

Namesto da bi izdelke zavrgli ali ustavili proizvodno linijo, se sistem lahko prilagaja v realnem času, pri čemer ohranja kakovost in hkrati poveča zmogljivost.

Ta razpršena inteligenca poenostavlja tudi arhitekturo tovarn. Odločitve se sprejemajo blizu samega procesa, kar izboljša odzivnost in zanesljivost sistema.

Omogočanje prek ekosistemov in sodelovanja

Doseganje te ravni inteligence ni le tehnični izziv, temveč izziv na ravni sistema in ekosistema. Proizvajalci potrebujejo platforme, ki poenostavljajo integracijo med zaznavanjem, obdelavo podatkov, povezljivostjo in varnostjo, hkrati pa podpirajo dolge življenjske cikle izdelkov, ki so značilni za industrijska okolja.

Prav tu imajo tehnološki ponudniki, kot je Renesas, ključno vlogo »pomočnika«. Namesto da bi se osredotočali izključno na posamezne komponente, Renesas podpira širši razvoj pametnih tovarn s tem, da:

- *Zagotavljanje referenčnih arhitektur in okvirov za načrtovanje, ki zmanjšujejo kompleksnost sistema*
- *Omogočanje medsebojne povezljivosti med senzorji, procesorji in omrežji*
- *Podpora inteligentnim rešitvam na robu omrežja in varnostnim zmogljivostim, potrebnim za industrijsko uvajanje*
- *Tesno sodelovanje s partnerji in strankami za skrajšanje razvojnih ciklov*
- *Renesas kot spodbujevalec ekosistema*

pomaga proizvajalcem in sistemskim integratorjem, da se osredotočijo na reševanje operativnih izzivov, namesto da bi morali združevati različne tehnologije.

Načrtovanje trajnostnih pametnih tovarn

S pospeševanjem uvajanja imajo uspešne strategije pametnih tovarn več skupnih značilnosti:

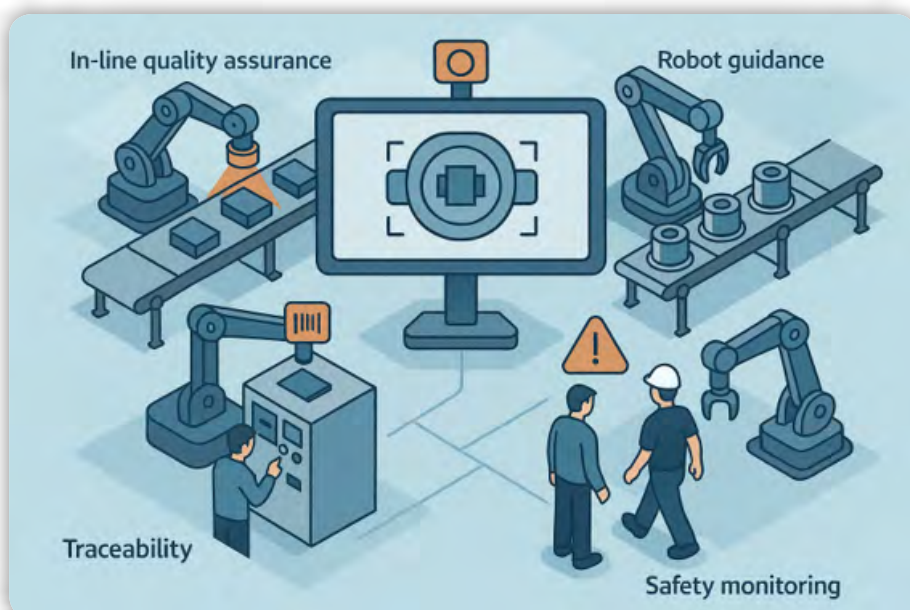
- *Skalabilnost, ki omogoča postopno dodajanje inteligentnih funkcij*
- *Medsebojna združljivost, izogibanje vezanosti na enega ponudnika*
- *Podpora skozi celoten življenjski cikel, vključno z dolgoročno razpoložljivostjo in vzdrževanjem*
- *Energetsko učinkovita zasnova, ki združuje zmogljivost in trajnost*
- *Pametne tovarne, zgrajene na teh načelih, so bolj pripravljene na prilagajanje ne le sedanjim izzivom, temveč tudi prihodnji negotovosti.*

Pot v prihodnost

Pametna tovarna ni opredeljena z eno samo tehnologijo, temveč s tem, kako tehnologije med seboj sodelujejo. Strojni vid daje strojem oči. Inteligentno zaznavanje zagotavlja pozornost. Umetna inteligenca na robu omrežja omogoča razumevanje.

S primerno opremo in podporo ekosistema lahko proizvajalci presežejo reaktivno avtomatizacijo in preidejo na sisteme, ki se nenehno učijo, prilagajajo in izboljšujejo. S tem pretvarjajo podatke v odločitve, tovarne pa v prožne in za prihodnost pripravljene obrate.

<https://www.renesas.com>



Varnost električnih naprav

- 2. del: Zračna razdalja

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
Avtor: Izr. prof. dr. Marko Jankovec
Email: marko.jankovec@fe.uni-lj.si

V prejšnjem prispevku smo spoznali osnovne koncepte električne varnosti ter definirali različne vrste izolacije, prenapetostne kategorije in stopnje onesnaženja. Tokrat si bomo ogledali, kako te podatke uporabimo pri praktičnem načrtovanju elektronske naprave.



Pri načrtovanju tiskanega vezja namreč ni dovolj, da med dvema potencialoma po občutku pustimo nekaj prostora. Kako torej določimo ustrezno razdaljo med dvema prevodnima deloma naprave, na primer med faznim in nevtralnim vodnikom, med primarno in sekundarno stranjo napajalnika ali med omrežnim delom vezja in ozemljenim ohišjem?

Pri običajnem načrtovanju tiskanih vezij se pogosto uporabljajo priporočila standarda **IPC-2221** [1], ki je generični standard za načrtovanje tiskanih vezij in določa splošna pravila, uporabljena skupaj z bolj specifičnimi standardi družine IPC-222x, na primer IPC-2222 za toga tiskana vezja ali IPC-2223 za delno ali polno fleksibilna vezja. Minimalna razdalja med dvema prevodnikoma je pri tem odvisna predvsem od največje napetosti med njima ter od načina izvedbe in zaščite prevodnikov. Različne zahteve veljajo za povezave na tiskanem vezju (B1–B4) in izpostavljenih prevodnih delih komponent (A5–A7), kot je prikazano na sliki 1. Standard ločeno obravnava povezave v notranjih plasteh večslojnega tiskanega vezja (B1), nezaščitene povezave na zunanji površini do in nad 3000 metri nadmorske višine (B2/B3), povezave, zaščitene s spajkalno kritino (B4), povezave, prekrita s trajno konformno zaščito (A5), ter priključke komponent brez zaščite (A6) ali prekrita s trajno konformno zaščito (A7).

Pri primerjavi vrednosti v tabeli 1 hitro opazimo precej zanimivosti. Najmanjše razdalje so dovoljene med povezavami v notranjih plasteh večslojnega tiskanega vezja (B1), saj so te popolnoma obdane z izolacijskim materialom in niso izpostavljene vplivom okolice. Pri napetostih med 301 in 500 V je tako

zahtevana razdalja med notranjimi povezavami le 0,25 mm, medtem ko mora biti med nezaščitnimi povezavami na površini vezja (B2) najmanj 2,5 mm. Razlika je torej kar desetkratna. Posebnost tabele je tudi **območje nad 500 V**. Tu standard ne podaja več posameznih napetostnih razredov, temveč določa, za koliko moramo razdaljo povečati za vsak dodatni volt nad 500 V. Za nezaščitene zunanje povezave B2 je ta prirastek 0,005 mm/V. Pri 600 V je tako zahtevana razdalja za nezaščitene zunanje bakrene povezave enaka.

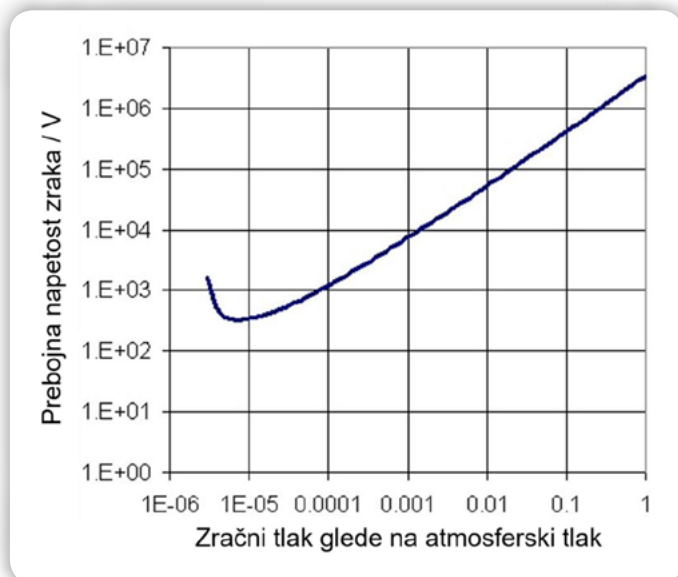
$$d = 2,5 \text{ mm} + (600 - 500) \text{ V} \cdot 0,005 \text{ mm/V} = 3,0 \text{ mm}.$$

Pri uporabi tabele je pomembno tudi, da kot napetost med prevodnikoma, pri izmenični napetosti uporabimo **vršno** in ne efektivne vrednosti. Omrežna napetost 230 V RMS ima na primer vršno vrednost približno 325 V, zato pri uporabi tabele 6-1 pade v območje 301–500 V.

Precej lahko pridobimo tudi z **zaščito prevodnih povezav**. Za povezave, zaščitene s spajkalno kritino (B4), so dovoljene precej manjše razdalje kot za nezaščitene povezave B2. Pri napetostih med 301 in 500 V se na primer zahtevana razdalja zmanjša z 2,5 na 0,8 mm. Pri tem pa moramo biti pozorni, da spajkalna kritina ščiti predvsem bakrene povezave na tiskanem vezju, ne pa nujno tudi spajkalnih spojev in priključkov komponent. Zato spajkalna kritina še ne pomeni, da je zaščiteno celotno sestavljeno vezje. Za nezaščitene priključke komponent je treba upoštevati zahteve kategorije A6, če pa po sestavljanju celotno vezje prekrijemo z ustrezno konformno zaščito, lahko pridejo v poštev kategorije A5 oziroma A7. Za-

Vršna napetost	B1	B2	B3	B4	A5	A6	A7
0–15 V	0,05	0,10	0,10	0,05	0,13	0,13	0,13
16–30 V	0,05	0,10	0,10	0,05	0,13	0,25	0,13
31–50 V	0,10	0,60	0,60	0,13	0,13	0,40	0,13
51–100 V	0,10	0,60	1,50	0,13	0,13	0,50	0,13
101–150 V	0,20	0,60	3,20	0,40	0,40	0,80	0,40
151–170 V	0,20	1,25	3,20	0,40	0,40	0,80	0,40
171–250 V	0,20	1,25	6,40	0,40	0,40	0,80	0,40
251–300 V	0,20	1,25	12,50	0,40	0,40	0,80	0,40
301–500 V	0,25	2,50	12,50	0,80	0,80	1,50	0,80
nad 500 V – dodatek na volt	0,0025	0,005	0,025	0,00305	0,00305	0,00305	0,00305

Tabela 1: Povzetek tabele 6-1 iz standarda IPC2221B, ki določa minimalne razdalje med prevodniki na tiskanem vezju. Vse razdalje so podane v mm



Slika 1: Paschenov zakon, ki določa prebojno napetost zraka na razdalji 1 m glede na zračni tlak

nimiva je tudi razlika B2 proti A6. Na istem opremljenem vezju je za napetostno območje 301-500 V za nezaščiten bakreno povezavo B2 zahtevanih 2,5 mm razdalje, medtem ko je zahtevana razdalja med nezaščitenimi priključki komponent A6 le 1,5 mm.

Prevej očitna razlika velja tudi za nezaščitenne prevodne površine, kjer je treba upoštevati predvideno **nadmorsko višino**, kjer se bo naprava uporabljala. Od kod izhaja ta dodatna zahteva? Prebojna napetost zraka je povezana s plazovito ionizacijo molekul v zraku pod vplivom električnega polja. Prosti elektroni se v električnem polju pospešujejo in med posameznimi trki z molekulami zraka pridobivajo energijo. Če je njihova energija ob trku dovolj velika, lahko molekulo ionizirajo, pri čemer nastanejo novi prosti elektroni. Ti se ponovno pospešijo in povzročajo nove trke z molekulami, kar lahko privede do plazovitega naraščanja števila nosilcev naboja in končno do električnega preboja.

Z nižanjem zračnega tlaka se gostota molekul zmanjšuje, zato se povečuje povprečna prosta pot elektronov med trki. Elektroni lahko na daljši poti v električnem polju pridobijo več energije, zato do preboja pride že pri nižji napetosti. Pri zelo nizkih tlakih pa se trend obrne, saj je molekul tako malo, da postanejo trki premalo pogosti za vzdrževanje procesa plazovite ionizacije. Ta pojav opisuje **Paschenov zakon** [2], po katerem je na sliki 2

Nazivna napetost	CAT I	CAT II	CAT III	CAT IV
≤50 V	0,33 kV	0,5 kV	0,8 kV	1,5 kV
≤100 V	0,5 kV	0,8 kV	1,5 kV	2,5 kV
≤150 V	0,8 kV	1,5 kV	2,5 kV	4 kV
≤300 V	1,5 kV	2,5 kV	4 kV	6 kV
≤600 V	2,5 kV	4 kV	6 kV	8 kV
≤1000 V	4 kV	6 kV	8 kV	12 kV

Tabela 2: Primeri vrednosti nazivnih impulznih napetosti glede na nazivno napetost med faznim in nevtralnim vodnikom. Povzeto po tabeli F.1 standarda IEC 60664-1

prikazana odvisnost prebojne trdnosti od zračnega tlaka.

Na prvi pogled bi lahko sklepali, da je problem določanja razdalj med prevodniki rešen: poznamo napetost, v tabeli poiščemo ustrezno minimalno razdaljo in jo prenesemo v pravila načrtovanja tiskanega vezja. Za večino povezav znotraj elektronskega vezja je tak pristop povsem uporaben. Težava nastane, kadar razdalja med dvema prevodnima deloma ne zagotavlja le pravilnega delovanja naprave, temveč predstavlja tudi **zaščito uporabnika pred električnim udarom**. V takem primeru razdalj ne smemo več obravnavati samo kot konstrukcijski razmik med povezavami, saj postanejo del varnostnega izolacijskega sistema naprave. Takrat moramo upoštevati pravila koordinacije izolacije, ki smo jih napovedali že v prejšnjem prispevku. Tu nastopi standard **IEC 60664-1** [3], iz katerega razberemo ustrezno **zračno** (angl. clearance) in **plazilno** (angl. creepage) razdaljo.

Zračna razdalja predstavlja najkrajšo pot med dvema prevodnima deloma skozi zrak, medtem ko je plazilna razdalja najkrajša pot med njima po površini izolacijskega materiala. To je lahko površina tiskanega vezja ali ohišja elementa, kot prikazuje slika 3.

Če imamo na ravnem tiskanem vezju dve vzporedni bakreni povezavi, sta lahko obe razdalji enaki. Pri nekoliko bolj zapleteni geometriji pa to ne velja več. Če med povezavama naredimo utor, se zračna razdalja skoraj ne spremeni, medtem ko se plazilna pot po površini izolacijskega materiala lahko precej podaljša. Pri tem ne smemo zanemariti poti po površini elementov, ki so na vezje prispajkani, kar pogosto otežuje varnostno načrtovanje vezij in zoži nabor ustreznih komponent.

V prejšnjem prispevku smo videli, da naprava med delovan-



Slika 2: Zračne (rumeno) in plazilne (rdeče) razdalje med levimi in desnimi priključki elementa na tiskanem vezju z zračno režo

jem ni izpostavljena le nazivni napetosti omrežja, temveč tudi **kratkotrajnim prenapetostnim sunkom**, ki so prvi ključni parameter pri določanju zračne razdalje. Velikost pričakovanih prenapetostnih sunkov je odvisna od **prenapetostne kategorije** (CAT I–IV). Iz nazivne napetosti napajalnega sistema in prenapetostne kategorije lahko glede na tabelo F.1 v standardu IEC 60664-1 določimo **nazivno impulzno napetost** U_{imp} (ang. rated impulse voltage); nekaj primerov najpogostejših napajalnih sistemov je prikazanih v tabeli 1.

Za običajno elektronsko napravo, priključeno na evropsko 230 V električno omrežje, ki spada v prenapetostno kategorijo CAT II, dobimo nazivno impulzno napetost 2,5 kV. Če bi bila naprava pri enaki omrežni napetosti del fiksne električne inštalacije in bi zato spadala v CAT III, bi morali že računati z impulzno napetostjo 4 kV.

Ko poznamo nazivno impulzno napetost, lahko iz tabele F.2

Zahtevana impulzna napetost	Minimalna zračna razdalja
0,8 kV	0,2 mm
1,5 kV	0,5 mm
2,5 kV	1,5 mm
4 kV	3,0 mm
6 kV	5,5 mm
8 kV	8,0 mm
12 kV	14,0 mm

Tabela 3: Primeri vrednosti minimalnih zračnih razdalj za nehomogena polja v okolju s stopnjo onesnaženosti PD2 do nadmorske višine 2000 m. Povzeto po tabeli F.2 standarda IEC 60664-1

standarda IEC 60664-1 določimo najmanjšo zahtevano zračno razdaljo. Standard pri tem razlikuje med homogenim in nehomogenim električnim poljem. Homogeno električno polje lahko pričakujemo predvsem med velikimi gladkimi elektrodami z ustrežno geometrijo, medtem ko je električno polje med povezavami, priključki komponent in drugimi prevodnimi deli na tiskanem vezju praviloma nehomogeno. Pri načrtovanju elektronskih naprav zato običajno uporabljamo manj ugodne vrednosti **za nehomogeno električno polje**.

Za naš primer 230 V naprave kategorije CAT II to pomeni najmanjšo zračno razdaljo 1,5 mm za osnovno izolacijo. Pri ojačeni izolaciji razdalje ne določimo preprosto tako, da dobljeno osnovno razdaljo pomnožimo z dve. IEC 60664-1 za prenapetostne sunke zahteva uporabo naslednje višje stopnje impulzne napetosti. V našem primeru zato namesto 2,5 kV uporabimo naslednjo standardno vrednost 4 kV, čemur ustreza zračna razdalja 3 mm. Rezultat je v tem konkretnem primeru sicer ravno dvakrat večji, vendar to ni splošno pravilo.

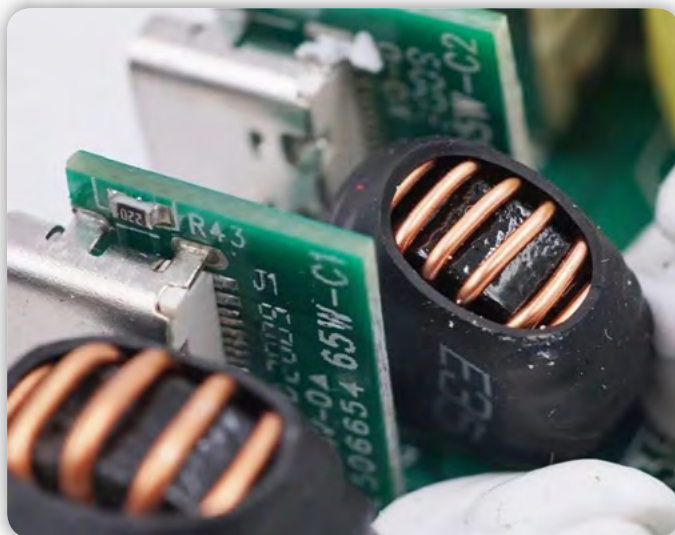
S tem pa zgodba še ni končana. Vrednosti v tabeli veljajo pri določenih atmosferskih pogojih. Kot smo videli pri Paschenovem zakonu, je prebojna napetost zraka odvisna tudi od zračnega tlaka in s tem nadmorske višine. Pri uporabi na večjih nadmorskih višinah je treba zaradi nižjega zračnega tlaka zračno razdaljo povečati s korekcijskim faktorjem, podanim v tabeli A.2 standarda IEC 60664-1. Tipične vrednosti so povzete v tabeli 3.

Vrednosti zračnih razdalj iz tabele F.2 veljajo za uporabo naprave do nadmorske višine 2.000 m. Če bi uporabo naše naprave predvideli do 4.000 m, bi bila potrebna zračna razdalja $3,0 \text{ mm} \cdot 1,29 = 3,87 \text{ mm}$.

Poleg kratkotrajnih prenapetostnih sunkov je treba preveriti tudi zahteve, ki izhajajo iz največje delovne vršne napetosti, začasni prenapetosti in ponavljajočih se vršnih napetosti. Tak primer so stikalni napajalniki, pri katerih lahko zaradi topologije pretvornika med primarjem in sekundarjem nastopajo ponavljajoče se napetostne konice. Če se izkaže, da je zaradi

Nadmorska višina	Korekcijski faktor za zračno razdaljo
2 000 m	1,00
3 000 m	1,14
4 000 m	1,29
5 000 m	1,48
6 000 m	1,70
10 000 m	3,02
20 000 m	14,5

Tabela 4: Primeri vrednosti korekcijskega faktorja za varnostne zračne razdalje glede na nadmorsko višino. Povzeto po tabeli A.2 standarda IEC 60664-1



Slika 3: Primer mehanskega pritrdjevanja komponent in uporabe dodatne izolacije za preprečevanje zmanjšanja zračnih razdalj

teh treba izbrati večjo zračno razdaljo, jo moramo upoštevati. Pri načrtovanju zračne razdalje ne smemo pozabiti, da zračna razdalja pomeni najkrajšo pot skozi zrak med dvema prevodnima deloma. Razdalja med bakrenima povezavama na tiskanem vezju zato še ne zagotavlja ustrezne zračne razdalje celotne naprave. Upoštevati moramo tudi priključke komponent, transformatorjev in konektorjev, hladilna telesa, vijake, kovinske dele ohišja ter vse druge prevodne dele, ki lahko skrajšajo pot skozi zrak. Tudi zato razdalj med povezavami po IPC-2221 ne moremo neposredno enačiti z zračnimi razdaljami, ki zagotavljajo varnostno izolacijo. Tak primer je prikazan na sliki 4, kjer so komponente zalepljene, da se ne morejo prosto premikati, in dodatno izolirane s termoskrčljivo cevjo, da se prepreči neposreden stik med prevodnimi deli in zagotovi zahtevana izolacijska razdalja.

Sedaj smo določili zahtevano zračno razdaljo, s čimer pa načrtovanje izolacije še ni končano. V naslednjem prispevku se bomo lotili še določanja plazilnih razdalj, kjer poleg napetosti pomembno vlogo igrata tudi stopnja onesnaženja in lastnosti izolacijskega materiala.

Literatura:

- [1] »IPC 2221C-2023 - Generic Standard on Printed Board Design«. Pridobljeno: 18. september 2026. [Na spletu]. Dostopno na: <https://webstore.ansi.org/standards/ipc/ipc2221c2023?srsId=A-U7gw4VfAy-DhIc7zrYt0oSDYkYIZICAQXAud-O6G6xQFMEdFIS2Dtw>
- [2] F. Paschen, »Ueber die zum Funkenübergang in Luft, Wasserstoff und Kohlensäure bei verschiedenen Drucken erforderliche Potentialdifferenz«, Annalen der Physik, let. 273, št. 5, str. 69–96, 1889.
- [3] »IEC 60664-1:2020 | IEC«. Pridobljeno: 10. julij 2026. [Na spletu]. Dostopno na: <https://webstore.iec.ch/en/publication/59671>



<https://fe.uni-lj.si>

Orange Pi Zero 3W in 4 Pro in Raspberry Pi Zero 2W za zahtevne!

Avtor: dr. Simon Vavpotič

Orange Pi orje ledino izboljšav in posodobitev računalnikov na eni ploščici tiskanega vezaja. Kakšna je zmogljivost miniaturnega Orange Pi Zero 3W? Zakaj njegov večji brat Orange Pi 4 Pro ni vedno boljša izbira?

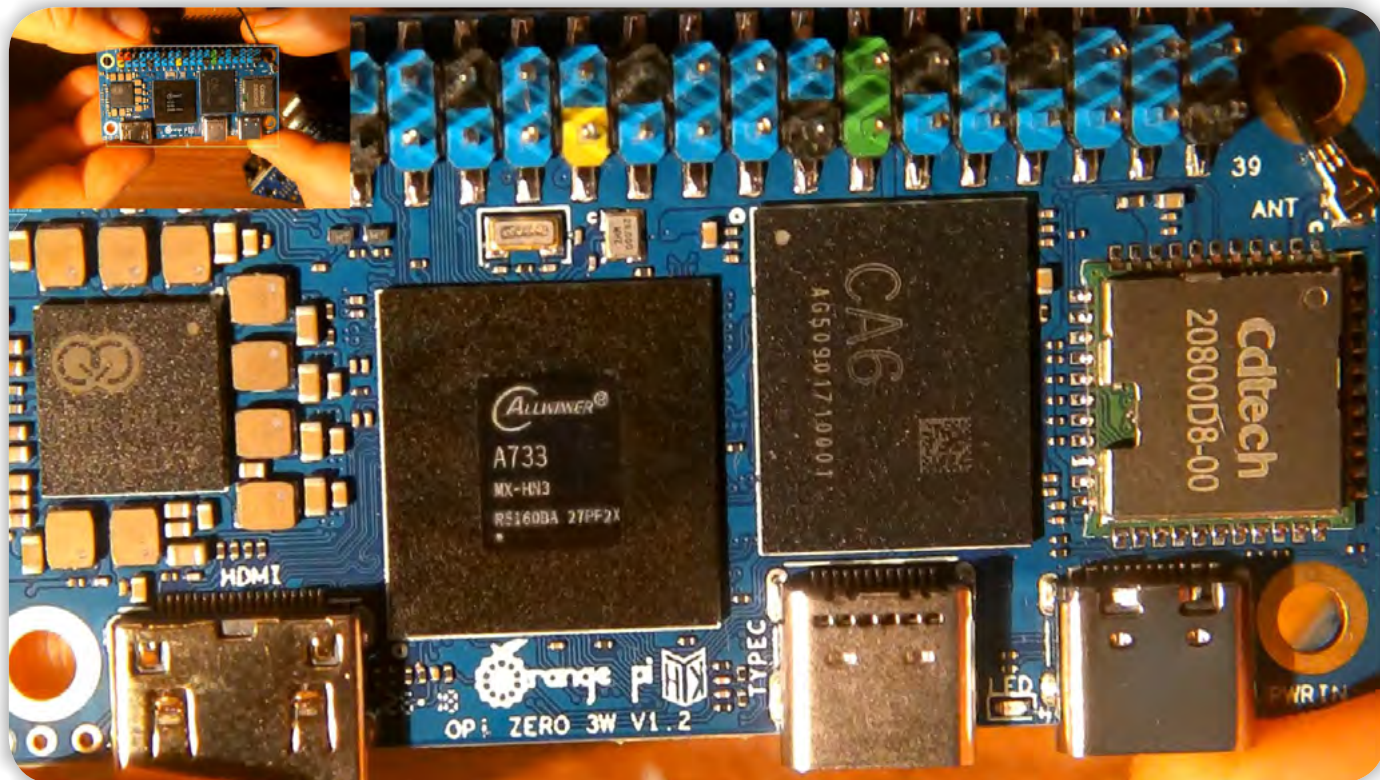
Računalnike na eni ploščici tiskanega že dolgo uporabljamo ne le kot namizne računalnike, ampak tudi kot krmilnike različnih naprav, kot so omrežna stikala in usmerjevalniki, omrežni pogoni (NAS), robotski krmilniki, krmilniki dronov s kamero ipd. Prav pri slednjih pa si želimo majhnih SBC z visoko zmogljivostjo.

Zero proti Zeru!

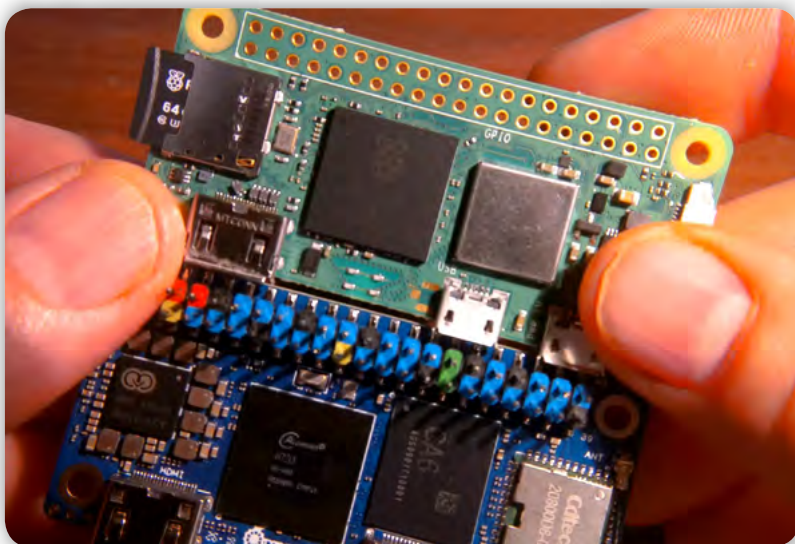
Ko smo lanskega novembra končno dočakali nadaljevanje miniaturnega Raspberry Pija Zero W, se je zdelo kot da proizvajalci v tako majhnem računalniku skoraj ne bi mogli ponuditi bistveno več, kot nekoliko okrnjeno arhitekturo danes že precej zastarelega Raspberry Pi 3. V enem čipu sta združena sistem v enem čipu (SoC) BCM2710A in 512 MB glavnega pomnilnika LPDDR4, na tiskanini sta tako le še enota za upravljanje s porabo moči (PMU) in brezžični Wi-Fi/Bluetooth modul. Zunanja Wi-Fi/Bluetooth antena je že serijsko priključena na računalnik, lahko pa jo odklopimo, če brezžičnih povezav ne potrebujemo. Računalnik ima tudi mini HDMI

priključek (ta je nekoliko večji od mikro HDMI, kot ga imata Raspberry Pi 4 in 5) ter dva mini USB 2.0 priključka, prek katerih ga lahko tudi napajamo. Poleg 40-polne razširitvene vtičnice sta na miniaturni ploščici le še priključek MIPI za digitalno kamero in ležišče za SD kartico.

Pri Orange Pi-ju so si zamislili nadaljevanje Raspberry Pi zgodbe kot izjemno zmogljiv 8-jedrni računalnik Orange Pi Zero 3W z do kar 16 GB RAM-a in izjemnim SoC Allwinner A733, ki poleg dveh zmogljivih procesorskih jader ARM Cortex-A76 in šestih varčnih jader ARM Cortex-A55, vsebuje tako nevronske procesne enote (NPU) s tremi Tera operacijami na sekundo (3 TOPS), kot tudi vhodni-izhodni procesor E902, ki lahko deluje neodvisno od procesne enote in operacijskega sistema, kar je še posebej uporabno pri implementaciji zahtevnih krmiljenj in komunikacijskih protokolov. Del SoC je tudi zmogljiva grafična procesna enota, ki omogoča prikaz na dveh monitorjih z ločljivostma do 4K pri 60 Hz. To je podobna zmogljivost, kot jo ima Raspberry Pi 5, medtem, ko Orange Pi 5 Max zmore ločljivost do 8K.



Slika 1: Orange Pi Zero 3W od blizu



Slika 2: Primerjava Raspberry Pi Zero 2W in Orange Pi Zero 3W

Podobnost ni zgolj naključna

Orange Pi Zero 3W je po videzu podoben Raspberry Pi Zero 2W in povsem enakih dimenzij, saj ima dva USB-C priključka in mikro HDMI priključek na istih mestih kot Raspberry Pi Zero 2W. Prav tako ga lahko napajamo iz enega od USB-C priključkov ali iz 40-polne razširitvene vtičnice. Od elementov, ki jih najdemo na obeh miniaturnih ploščicah je pomembno še ležišče za SD kartico. Od tu naprej pa lahko govorimo le še o podobnosti z Orange Pi 4 Pro. Kljub temu, da je trikrat manjši, ima enake PMU, SoC, RAM opcije (4 GB/6 GB/8 GB/12 GB/16 GB) in Wi-Fi/Bluetooth kontroler (Wi-Fi 6.0 in Bluetooth 5.4), ki predstavljajo srce računalnika. Namesto štirih priključkov tipa USB-A, od katerih je eden USB 3.0 in trije pa USB 2.0, ima le dva priključka tipa USB-C, od katerih je tisti na sredini USB 3.1, tisti na robu, ki je namenjen tudi napajanju, pa USB 2.0. Sredinski priključek omogoča tudi priklop drugega monitorja po standardu DisplayPort 1.4, vendar le prek ustreznega vmesnika USB-C na HDMI ali USB-C na DisplayPort, lahko pa ga povežemo tudi z USB postajo, prek katere so na voljo tudi dodatni USB priključki.

V nasprotju z Raspberry Pi Zero 2W, ima Orange Pi Zero 3W tudi priključke s spodnje strani. Najpomembnejši je 16-polni PCIe x1, vendar je le mehansko združljiv s tistim na Raspberry Pi 5, električno pa NE, zato ne moremo uporabljati številnih klobukov za Raspberry Pi 5 brez ustreznega vmesnika. Njegova prednost je zmogljivejša izvedba napajalnih priključkov, zato dodatek za priklop SSD ne potrebuje napajanja iz 40-polne razširitvene vtičnice, kot pri Raspberry Pi 5.

S spodnje strani takoj opazimo tudi miniaturni 2-polni priključek za ventilator na miniaturnem hladilniku, ki ga povežemo čez celotno dolžino ploščice in s spodnje strani privijemo s štirimi miniaturnim vijaki, a šele potem ko namestimo toplotno prevodne blazine na PSU, SoC in RAM. Z zgornje strani je tako izpostavljena zgolj 40-polna razširitvena vtičnica. S podnje strani sta še dva priključka za digitalno kamero in izhodni priključek MIPI za digitalni monitor ter ležišče za SD kartico.

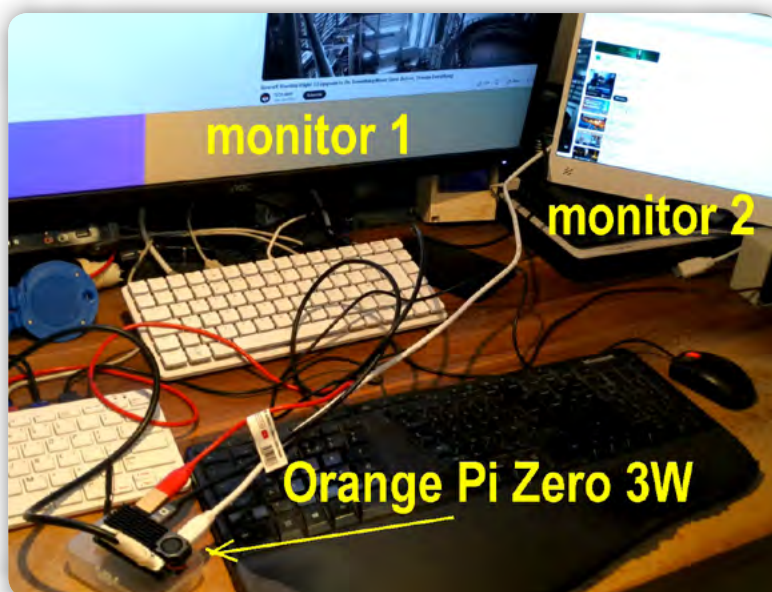
Natančni pregled tiskanine razkrije še 3 prazne kontakte na robu ploščice, kamor lahko prispajkamo 3-žilni ploski kabel, s katerim povežemo tipki za vklop in za nalaganje BIOS-a iz SD kartice. Omenimo še, da sta ob priključku PCIe x1 še mesti, kamor lahko v tovarni po naročilu kupca prispajkajo čipa UFS in/ali eMMC, ki ju lahko namesto SD kartice uporabljamo kot sistemski pogon, pri čemer je slednja še vedno na voljo. A, ker je cena Orange Pi Zero 3W že brez omenjenih čipov nekaj manj kot 100 evrov, pri Orange Pi zaenkrat še niso ponudili serijskih različic Orange Pi Zero 3W za potrošnike.

Kako deluje?

Orange Pi Zero 3W lahko z nekaj dodatki in hladilnikom uporabljamo tudi kot namizni računalnik z dvema monitorjema. Napajanje smo izvedli prek 40-polne razširitvene vtičnice, saj smo imeli na voljo zgolj USB 2.0 spojnik, ki smo ga povezali prek robnega USB-C priključka in nanj priključili tipkovnico, miško, zvočno kartico in omrežni vmesnik. Omrežni vmesnik smo izdelali iz 52Pi-jevega U5000 klobuka za Raspberry Pi 5, ki lahko deluje tudi kot do dva USB obeska (mi smo uporabili samo enega). Na sredinski USB-C USB 3.1 priključek smo nato povezali še USB-C na HDMI vmesnik za priklop drugega monitorja.

Z operacijskim sistemom Orange Pi OS (podrazličica Debian Linuxa) odlično deluje! Celo bolje kot na kot na Orange Pi 4 Pro, s katerim lahko preko edinega priključka HDMI povežemo zgolj 1 monitor. Grafika je tekoča in bistveno hitrejša, kot na primer na Raspberry Pi 4. Za več podrobnosti si oglejte video na YouTube kanalu <https://youtube.com@pcusbprojects>.

YouTube kanal: <https://youtube.com@pcusbprojects>
Spletna stran: <https://pcusbprojects.com>



Slika 3: Priklop dveh monitorjev hkrati

FPGA integrirana vezja in simulacije

Avtor: Klemen Bravhar

Email: bravhar.klemen@gmail.com

Dandanes si načrtovanja kompleksnih elektronskih vezij ne moremo predstavljati brez prehodnih simulacij, saj nam omogočajo podroben vpogled v odziv posameznih komponent glede na vhodne pogoje.

S simulacijami lahko natančno analiziramo obnašanje vsakega elementa znotraj novo nastalega vezja – od pasivnih komponent, kot so upori in kondenzatorji, do kompleksnejših aktivnih elementov, kot so tranzistorji in operacijski ojačevalniki.

Poleg tega simulacije bistveno skrajšajo razvojni cikel in do določene mere tudi znižajo stroške razvoja, saj v zgodnjih fazah projekta ni treba izdelovati fizičnih prototipov. Napake in pomanjkljivosti vezja je tako mogoče odkriti in odpraviti že v virtualnem okolju, preden se sploh začne postopek fizične realizacije. S tem se izognemo dragim iteracijam pri naročanju komponent, spajkanju in merjenju, ki bi sicer znatno obremenile tako časovni kot finančni okvir projekta.

Enako velja za vezja s programirljivimi logičnimi napravami (FPGA), kjer simulacije predstavljajo nepogrešljivo orodje v procesu načrtovanja. S prehodnimi simulacijami digitalnih vezij, opisanih v jeziku strojnem jeziku VHDL ali Verilog, lahko hitro in učinkovito preverimo logično pravilnost zasnove ter zagotovimo, da vezje deluje skladno z zahtevami specifikacije. Poleg funkcionalnega preverjanja nam simulacije omogočajo tudi analizo časovnih zamikov in morebitnih tveganj pri prenosih signalov, kar je ključnega pomena za zanesljivo delovanje pri visokih frekvencah.

Simulacijska orodja

Na trgu simulacijskih orodij za digitalna vezja najdemo širok nabor različnih rešitev, ki segajo od odprtokodnih in brezplačnih orodij, prek specializiranih simulatorjev za razvoj FPGA vezij, vse do naprednih profesionalnih orodij, ki so plačljiva. Vsaka od teh kategorij ima svoje prednosti in omejitve, zato je izbira ustreznega orodja odvisna od zahtev projekta, razpoložljivega proračuna in izkušenosti razvijalca.

Če se sprva osredotočimo na brezplačna orodja za simulacijo, velja omeniti, da imajo ta orodja določene omejitve. V večini primerov ne podpirajo mešanja jezikov, kot sta VHDL in Verilog znotraj istega projekta, kljub temu pa omogočajo simuliranje razvitega RTL opisa v enem samem strojnem jeziku. Najbolj popularno odprtokodno simulacijsko orodje za VHDL je **GHDL**, medtem ko se za Verilog najpogosteje uporabljata **Verilator** in **Icarus Verilog**. Verilator se od ostalih razlikuje po tem, da pretvori Verilog oziroma SystemVerilog kodo v C++ ali SystemC. Rezultat tega so izjemno hitre simulacije, ki so primerne za velike dizajne in avtomatizirano regresijsko testiranje. V obeh primerih potrebujemo tudi namenski pregledovalnik valovnih oblik (*waveform viewer*), ki nam vizualno predstavi časovni potek signalov skozi logična vrata in sekvenčna vezja. Najpogosteje se v ta namen uporablja

odprtokodno orodje **GTKWave**, ki bere standardne VCD in FST datoteke, ki jih generirajo omenjeni simulatorji. Novejša alternativa je **Surfer**, ki ponuja sodobnejši in preglednejši grafični vmesnik.

Ker se danes veliko razvojnega dela odvija tudi v oblaku, je mogoče vezje simulirati neposredno v spletnem brskalniku prek platforme **EDA Playground**, ki ne zahteva nobene lokalne namestitve. Platforma podpira več simulacijskih zaledij, vključno z GHDL, Icarus Verilog in Verilatorjem, poleg tega pa v plačljivi različici omogoča dostop tudi do nekaterih komercialnih simulatorjev, kot sta Aldec in Synopsys. Platforma je še posebej primerna za učenje, hitro preizkušanje idej in deljenje primerov kode z drugimi. Prav tako ne smemo pozabiti, da razvojno okolje **AMD Vivado** vsebuje vgrajen simulator, ki je del brezplačne WebPACK licence. Neposredno znotraj Vivado okolja je mogoče pognati simulacijo in si v integriranem grafičnem vmesniku ogledati časovni potek signalov, kar poenostavi razvojni tok pri delu s Xilinx oziroma AMD FPGA napravami.

Za profesionalne namene obstajajo plačljivi simulatorji, ki v industriji veljajo za t.i. **veliko trojko**: **Siemens Questa Sim** (prej znan kot ModelSim), **Cadence Xcelium** (naslednik Incisive oziroma NCSim simulatorja) in **Synopsys VCS**. Ta orodja poleg klasičnih simulacij ponujajo tudi številne napredne funkcionalnosti, kot so funkcionalna pokritost (*functional coverage*), merjenje pokritosti kode (*code coverage*), sočasna uporaba VHDL in Verilog oziroma SystemVerilog jezika znotraj istega projekta, podpora za napredne verifikacijske metodologije UVM in OSVVM, statična časovna analiza ter integracija z orodji za formalno verifikacijo. Poleg velike trojke obstajajo tudi druga komercialna orodja, kot so **Active-HDL** in **Riviera-PRO** podjetja Aldec, **Aeolus-DS** ter **MPSim**, ki so prav tako prisotni v določenih industrijskih segmentih.

Med plačljivimi simulatorji ima posebno mesto **ModelSim** oziroma **QuestaSim**, saj sta obe različici vključeni v priljubljeno FPGA razvojna okolja – ModelSim v **Intel Quartus Prime**, QuestaSim pa v **Lattice Radiant**. V okviru teh okolij sta orodji do določene mere brezplačni, a z omejitvami glede velikosti dizajna in nekaterih naprednih funkcionalnosti, ki so na voljo le v polni komercialni različici.

Metodologija simuliranja

Če zelo poenostavimo simulacijo nekega FPGA projekta, potrebujemo dve datoteki. V prvi opisujemo RTL funkcionalnost našega vezja, medtem ko v drugi datoteki opišemo potek vhodnih signalov – to datoteko poimenujemo **testno okolje** (ang. *Testbench*). Tudi testno okolje je zapisano v jeziku VHDL

oziroma Verilog, odvisno od izbranega simulatorja in projekta. Preprosto testno okolje najprej definira začetne pogoje vezja, kot so vrednosti taktnega signala, reset signal in začetne vrednosti vhodov. Temu nato sledi načrtovano spreminjanje stanj vhodnih signalov, ki se posredujejo v funkcionalnost opisano v prvi datoteki. Poleg tega lahko v testno okolje dodamo tudi **monitorje** oziroma **preverjevalnike** (*checkers*), katerih naloga je, da samodejno primerjajo dejanske izhodne signale iz funkcionalnega bloka s pričakovanimi vrednostmi, ki smo jih vnaprej določili. Na ta način simulacija ni le vizualni pregled valovnih oblik, temveč postane avtomatiziran postopek preverjanja pravilnosti delovanja vezja. V nadaljevanju bomo ta pristop simuliranja podprli s konkretnim primerom.

Poleg osnovnega pristopa se velja na kratko ozreti tudi na naprednejše verifikacijske metodologije, kot sta **UVM** (*Universal Verification Methodology*) in **OSVVM** (*Open Source VHDL Verification Methodology*) ter mnoge druge. UVM metodologija je zasnovana v jeziku SystemVerilog in v večini primerov podprta le v plačljivih komercialnih simulatorjih, kot so Questa, Xcelium in VCS. Nasprotno je OSVVM opisana v jeziku VHDL in predstavlja odprtokodno verifikacijsko metodologijo, ki je dobro podprta tudi v brezplačnem simulatorju GHDL. Obe metodologiji sta namenjeni strukturiranemu in ponovno uporabnemu načinu gradnje testnih okolij, kar je še posebej pomembno pri večjih in kompleksnejših projektih, kjer preprosto testno okolje ne zadostuje več. Ključna prednost omenjenih metodologij je uvedba konceptov, kot so naključno generiranje vhodnih podatkov (*constrained random verification*), merjenje funkcionalne pokritosti (*functional coverage*) ter modularna arhitektura testnih komponent, ki jih je mogoče prenašati med projekti.

Koraki simuliranja

V prejšnjem prispevku smo govorili o časovnih omejitvah neke RTL strukture, integrirane v FPGA vezje. Kot smo opazili, je bilo v primeru, ko je bila definirana frekvenca previsoka, Vivado okolje nezmožno časovno zapreti RTL strukturo. Da smo projekt uspešno časovno zaprli, smo frekvenco vezja znižali, nakar je Vivado okolje uspešno umestilo RTL strukturo v izbrano FPGA vezje. Časovni odziv vezja lahko preverimo tudi s simulacijskimi koraki, s katerimi hitro ugotovimo, ali kršimo časovne omejitve tipa *Setup* oziroma *Hold*.

Neko RTL strukturo lahko simuliramo v več korakih znotraj samega toka implementacije FPGA projekta:

1. Funkcionalna simulacija (pre-synthesis) Vedno ko začnemo z novim projektom, izvedemo funkcionalno simulacijo, s katero potrdimo, da zasnovana funkcionalna arhitektura pokriva vse projektne zahteve. V tej fazi simulacija poteka brez upoštevanja časovnih zakasnitev komponent in povezav – preverja se izključno logična pravilnost delovanja vezja. Gre za najhitrejši in najpogostejše izvajan tip simulacije, ki ga izvajamo skozi celoten razvojni proces.

2. Simulacija po sintezi (post-synthesis) Naslednji korak je simulacija po sintezi vezja, ki nam da dober vpogled v to, ali je bilo vezje pravilno sintetizirano in ali še vedno podpira zahtevano funkcionalnost. V tej fazi so že upoštevane nekatere časovne zakasnitve, ki izhajajo iz tehnološke knjižnice ciljnega FPGA vezja, medtem ko zakasnitve fizičnih povezav med komponentami še niso v celoti znane.

3. Simulacija po implementaciji (post-implementation)

V zadnjem koraku preverimo, ali je vezje po celotni implementaciji obdržalo pravilno funkcionalnost, ter ugotovimo, v kolikšni meri so zakasnitve fizičnih povezav in komponent vplivale na delovanje vezja. Ta simulacija je najpočasnejša, a hkrati tudi najbolj natančna, saj upošteva dejanske zakasnitve, ki izhajajo iz prostorske razporeditve elementov na integriranemu vezju (*place and route*). Prav v tej fazi je mogoče zanesljivo preveriti morebitne kršitve časovnih omejitev *Setup* in *Hold*.

Za vse tri korake simulacije lahko načeloma uporabimo eno in enako simulacijsko okolje (*testbench*), kar bistveno poenostavi razvojni proces in zmanjša količino potrebnega dela pri verifikaciji.

Primer simuliranja v okolju AMD Vivado

Za primer bomo izkoristili vezje iz prejšnjega prispevka [1], ki je predstavljalo dva sekvenčna elementa z verigo sto negatorjev med njima. Za simulacijo bomo uporabili razvojno okolje AMD Vivado, saj je enostavno za uporabo in vsebuje vse potrebno za izvedbo simulacije neposredno znotraj samega okolja. Za razliko od nekaterih drugih orodij, kot sta GHDL ali Icarus Verilog, pri Vivadu ni potrebno ročno generirati FPGA tehnoloških knjižnic, ki lahko zavzamejo tudi veliko prostora na računalniku.

```

1. library IEEE;
2. use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
3.
4. entity zakasnilni_cleni is
5. Port(
6.     clk      :in  STD_LOGIC;
7.     d_in     :in  STD_LOGIC;
8.     d_out    :out STD_LOGIC
9. );
10. end zakasnilni_cleni;
11.
12. architecture Behavioralof zakasnilni_
    cleni is
13. --Signali za registre
14.     signal reg_in  : std_logic := '0';
15.     signal reg_out : std_logic := '0';
16.
17. --Veriga signalov za negatorje
    (101 povezava za 100 negatorjev)
18.     signal chain :
        std_logic_vector(100 downto 0);
19.
20. -- ATRIBUT:Prepreči Vivadu,
    da bi optimiziral te negatorje stran
21.     attribute DONT_TOUCH :string;
22.     attribute DONT_TOUCH of chain :
        signal is«true»;
23.
24. begin
25.
26. --Vhodni D Flip-Flop(DFF)

```

```

27.     process(clk)
28. begin
29. if rising_edge(clk) then
30.     reg_in <= d_in;
31. endif;
32. end process;
33.
34. --Veriga100 negatorjev
35.     chain(0) <= reg_in;
36.
37.     gen_inv: for i in 0 to 99 generate
38.         chain(i+1) <= not chain(i);
39.     end generate;
40.
41. --Izhodni D Flip-Flop (DFF)
42.     process(clk)
43. begin
44. if rising_edge(clk) then
45.     reg_out <= chain(100); --Izhod
        zadnjega negatorja
46. endif;
47. end process;
48.
49.     d_out <= reg_out;
50.
51. endBehavioral;

```

Za simuliranje vezja je potrebno pripraviti tudi simulacijsko okolje, ki je prav tako opisano v jeziku VHDL. Simulacijsko okolje je podano v datoteki **tb_zakasnilni_cleni** in opravlja naslednje naloge:

- definira periodo oziroma frekvenco taktnega signala **clk**,
- določa potek vhodnega signala **d_in**,
- ob času nič nastavi začetne pogoje vezja,
- ob vsakem pozitivnem robu taktnega signala naključno spreminja vrednost signala **d_in**,
- v proceduri **apply_and_check** samodejno preverja, ali se izhodni signal ujema s pričakovano vrednostjo.

```

1. library IEEE;
2. use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
3.
4. entity tb_zakasnilni_cleni is
5. end tb_zakasnilni_cleni;
6.
7. architecture sim of tb_zakasnilni_cleni
8. is
9.     constant CLK_PERIOD : time := 100 ns;
        -- definiramo časovno periodo ure
10.
11.     signal clk          : std_logic := '0';
12.     signal d_in         : std_logic := '0';
13.     signal d_out        : std_logic;
14.     signal sim_done     : boolean := false;
15. begin
16.     uut: entity work.zakasnilni_cleni
        --povežemo našo VHDL funkcijo z
        simulacijskim datoteko
17.     port map (

```

```

18.         clk    => clk,
19.         d_in   => d_in,
20.         d_out  => d_out
21.     );
22.
23.     clk_process: process --
        generiramo periodo ure
24. begin
25.     while not sim_done loop
26.         clk <= '0';
27.         wait for CLK_PERIOD / 2;
28.         clk <= '1';
29.         wait for CLK_PERIOD / 2;
30.     end loop;
31.
32.     wait;
33. end process;
34.
35.     stim_process: process
36.         variable expected_d_out :
            std_logic := '0';
37.     -- ustvarimo process generiranja
        podatkov ter preverimo
        če so podatki pričakovani
        procedure apply_and_check
        (constant input_value : in std_logic)
38. is
39.     begin
40.         d_in <= input_value;
41.
42.         wait until rising_edge(clk);
43.         wait for 1 ns;
44.
45.         assert d_out = expected_d_out
46.             report »d_out does not
                match the expected one-clock
                delayed d_in value«
                severity error;
47.
48.         expected_d_out := input_value;
49.
50.     end procedure;
51. begin
52.     wait for CLK_PERIOD / 4;
53.
54.     apply_and_check('0');
55.     apply_and_check('1');
56.     apply_and_check('1');
57.     apply_and_check('0');
58.     apply_and_check('1');
59.     apply_and_check('0');
60.     apply_and_check('0');
61.     apply_and_check('1');
62.
63.     sim_done <= true;
64.
65.     assert false
66.         report »Testbench completed
            successfully«
            severity note;
67.

```

```

68.
69.     wait;
70.     end process;
71.
72. end sim;
73.

```

Kot je bilo že omenjeno, bomo naš primer podprli z vsemi tremi simulacijskimi koraki v procesu razvoja FPGA vezja: funkcionalno simulacijo, simulacijo po sintezi in simulacijo po implementaciji.

Preden preidemo na samo simulacijo, na kratko opišimo vmesnik AMD Vivado okolja. Na Slika 1 so označena naslednja področja:

Rdeči kvadrat – prikazuje korake toka implementacije FPGA projekta (*Flow Navigator*), kjer so razvidni posamezni koraki od sinteze do generiranja bitnega toka,

Zeleni kvadrat – predstavlja orodno vrstico za upravljanje simulacije, ki vsebuje ukaze za ponovni zagon simulacije, nastavitve časa trajanja, začasno ustavitev in nadaljevanje simulacije ter ostale možnosti,

Moder kvadrat – prikazuje grafični pregledovalnik valovnih oblik (*waveform viewer*), kjer lahko vizualno pregledamo časovni potek vseh signalov v vezju.

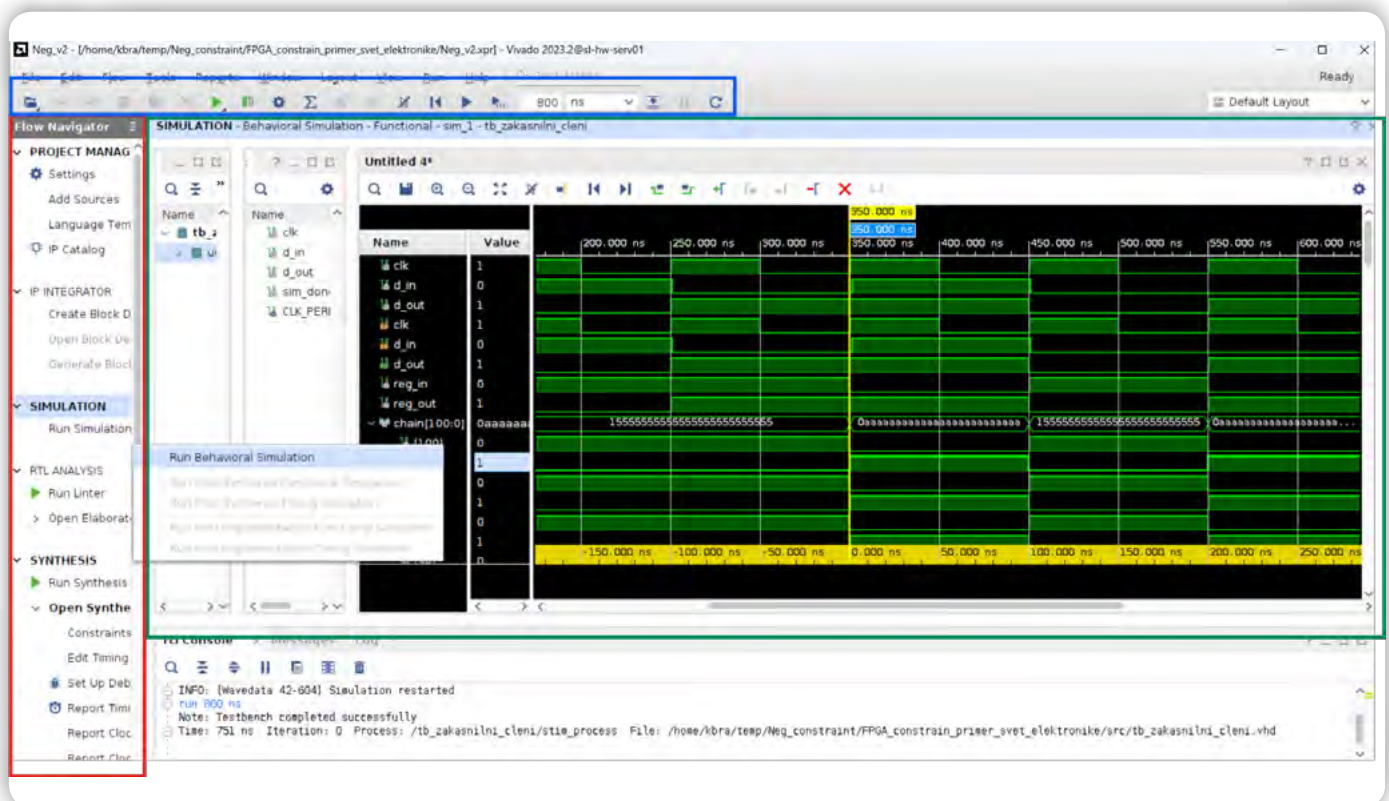
Funkcijska simulacija

Če želimo izvesti katero koli od zgoraj omenjenih simulacij, v razdelku **SIMULATION** kliknemo **Run Simulation**, nakar nam orodje ponudi izbiro med razpoložljivimi možnostmi. Pri tem je pomembno upoštevati, da za izvedbo simulacije po

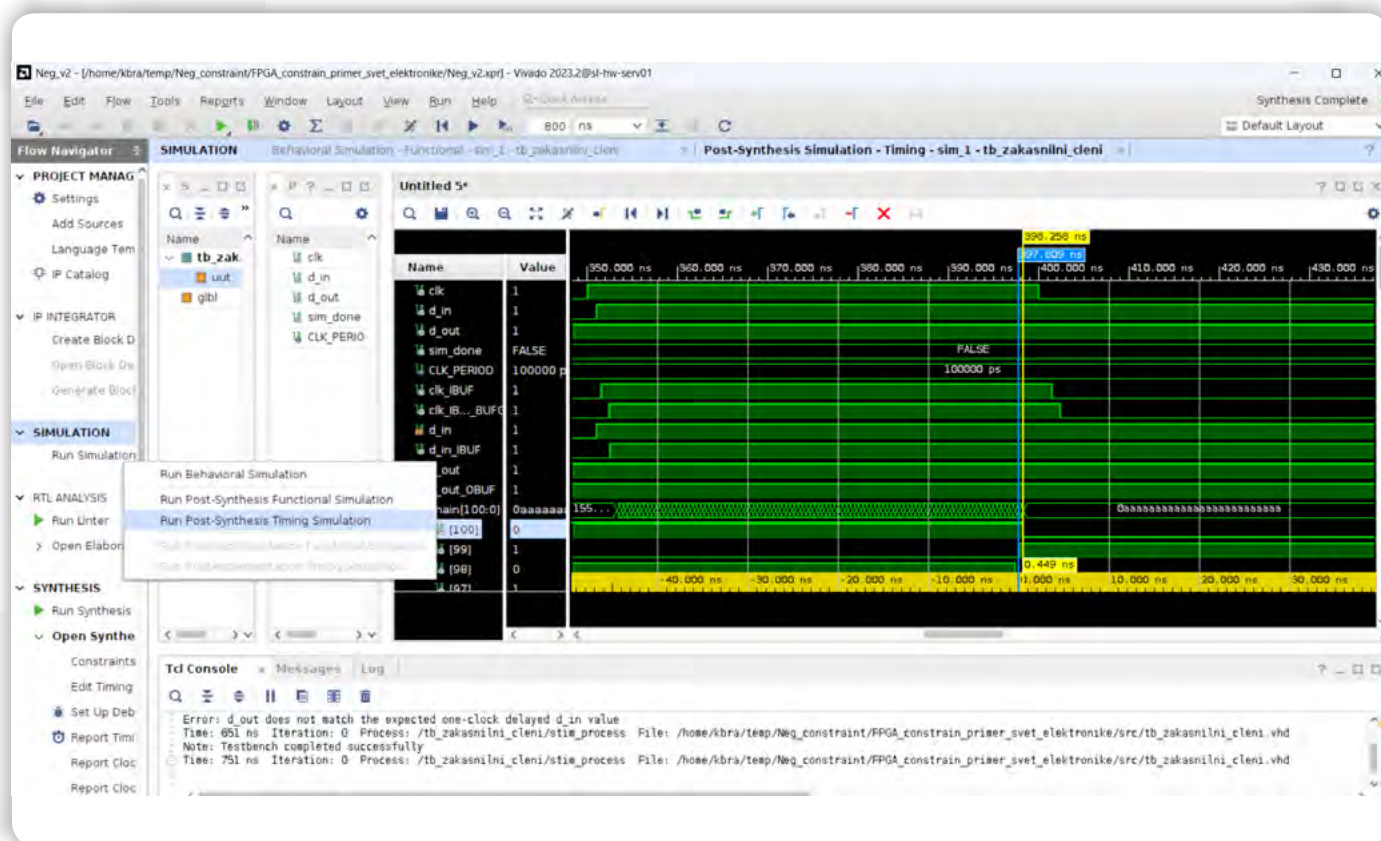
sintezi oziroma simulacije po implementaciji moramo predhodno uspešno zaključiti ustrezne korake – sintezo oziroma implementacijo. V nasprotnem primeru orodje omenjenih simulacij ne bo ponudilo oziroma jih ne bo dopustilo izvesti. Če želimo preveriti zgolj logično pravilnost vezja brez časovnih zakasnitev, izberemo možnost **Behavioral Simulation**, ki ne zahteva predhodne sinteze ali implementacije.

Preden poženemo simulacijo, moramo datoteko **tb_zakasn timer.vhd** dodati v projekt kot simulacijsko datoteko (*simulation source*). To storimo z desnim klikom na razdelek **Simulation Sources** v projektnem drevesu in izberemo **Add Sources - Add or Create Simulation Sources**.

Funkcionalna simulacija Slika 1 ne upošteva časovnih zakasnitev posameznih elementov, kar pomeni, da prehod signala skozi logično vezje – v našem primeru verigo negatorjev – poteka neskončno hitro oziroma brez kakršne koli zakasnitve. Drugače povedano, negirano stanje vhodnega signala se prenese na izhod v istem trenutku, kar je jasno razvidno iz časovnega grafa. Ta pojav imenujemo tudi **idealna oziroma funkcionalna zakasnitev** (ang. *zero delay*), kjer simulator predpostavlja, da so vse logične operacije trenutne in brez fizikalnih omejitev. Takšen pristop je koristen predvsem v zgodnjih fazah razvoja, ko nas zanima izključno logična pravilnost vezja in ne njegova dejanska časovna usklajenost. Funkcionalna simulacija je tudi najhitrejša od vseh treh simulacijskih korakov, saj simulator ne potrebuje podatkov o fizičnih lastnostih ciljnega FPGA vezja. Prav zaradi tega jo izvajamo kot prvi korak v procesu verifikacije – šele ko smo prepričani, da je logično delovanje vezja pravilno, nadaljujemo s simulacijo po sintezi in simulacijo po implementaciji, kjer so časovne zakasnitve že upoštevane.



Slika 1: Opis AMD Vivado okolja ter funkcijska simulacija našega vezja



Slika 2: Simulacija po sintezi. Kot je razvidno grafa logična vezja oziroma LUT pridelajo 482 ps zakasnitve. Toda moramo omeniti, da v tem primeru niso uporabljene komponente, ki so del izbranega FPGA vezja.

Post Sintezna Simulacija

Naslednji korak v procesu je simulacija po sintezi, katere namen je funkcionalno potrditi, da je bilo naše RTL-opisano vezje pravilno interpretirano in obdelano s strani FPGA-orođja. Z drugimi besedami, preverimo, ali orodje naš opis v jeziku RTL razume enako, kot smo si mi zamislili delovanje vezja. Za simulacijo uporabimo isto simulacijsko datoteko *tb_zakasnilni_clen.tb* kot pri predhodni simulaciji, vendar se tokrat kot izvorna datoteka za logično funkcijo ne uporabi naš izvorni RTL-opis, temveč netlist, ki ga orodje samodejno generira ob koncu sinteznega koraka. Netlist je natančen opis vezja na nivoju logičnih vrat, ki direktno odraža, kako bo vezje realizirano na FPGA vezju.

Simulacijo po sintezi lahko izvedemo takoj, ko orodje uspešno zaključi sintezo. Z dvema klikoma v meniju izberemo eno od dveh možnosti: »Run Simulation ☐ Post-Synthesis Functional Simulation« ali »Run Simulation ☐ Post-Synthesis Timing Simulation«. Obe možnosti zažene simulacijo na podlagi netliste, razlikujeta pa se v tem, koliko podrobnosti sta pri tem upoštevani.

Pri možnosti *Post-Synthesis Functional Simulation* se preverja zgolj logično delovanje vezja, brez upoštevanja časovnih zakasnitev, ki nastanejo zaradi fizičnih lastnosti elementov. Ta način simulacije je hitrejši in zadostuje za osnovno funkcionalno preverjanje. Pri možnosti *Post-Synthesis Timing Simulation* pa orodje v simulacijo vključi tudi časovne zakasnitve posameznih elementov, kar daje bistveno bolj realistično sliko dejanskega obnašanja vezja. Kot je razvidno s Slike 2, povzroči že en sam negator 0,482 ns zakasnitve na svojem izhodu glede

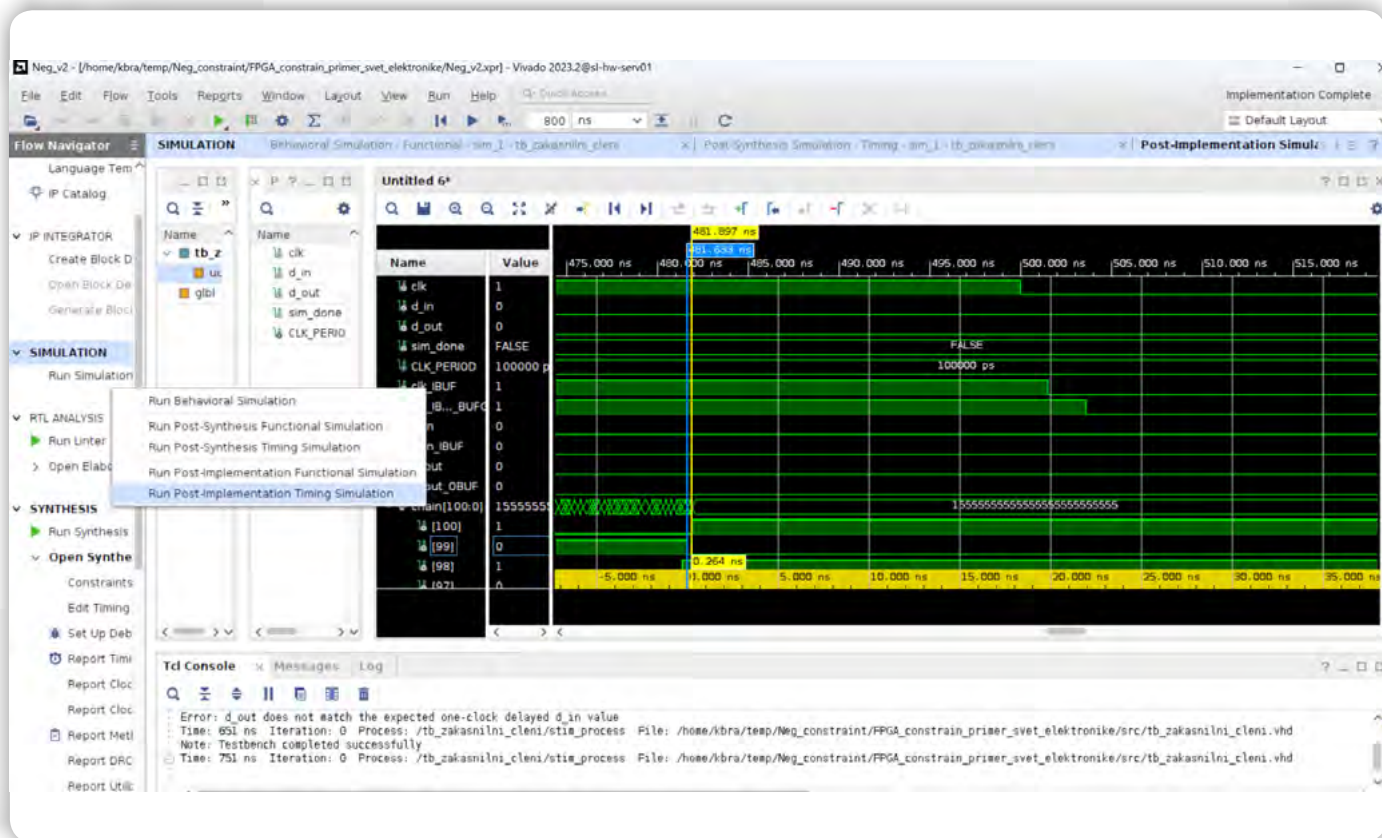
na prihod signala na vhod. Te zakasnitve so posledica fizikalnih lastnosti tranzistorjev v logičnih elementih znotraj FPGA vezja ter imajo pri visokih frekvencah delovanja lahko pomemben vpliv na pravilno delovanje celotnega sistema (to lahko preverite če frekvenco v simulacijski datoteki spremenite na 100 MHz s spremembo spremenljivke `constant CLK_PERIOD : time := 100 ns;` na 10ns).

Post Implementacijska simulacija

Zadnja simulacija, ki nam da boljši vpogled v delovanje RTL strukture, je na voljo, ko orodje zaključi vstavitve (ang. *Implementation*) naše RTL strukture v izbrano FPGA vezje. Podobno kot pri sintezni simulaciji nam orodje tudi tukaj ponudi možnosti »Run Simulation - Post-Implementation Synthesis Functional Simulation« ali »Run Simulation - Post-Implementation Synthesis Timing Simulation«.

Funkcionalnost obeh simulacij je enaka, kot je bilo opisano v razdelku o sintezni simulaciji, z razliko, da je v tem primeru sintetizirano vezje implementirano na tehnologijo izbranega FPGA vezja. S simulacijo »Post-Implementation Synthesis Functional Simulation« preverimo, ali je funkcionalnost ostala nespremenjena, medtem ko s simulacijo »Post-Implementation Synthesis Timing Simulation« preverimo, ali so zakasnitve dovolj majhne, da funkcionalnost ostane nespremenjena glede na izbrano vhodno frekvenco.

Za naš primer bomo ponovno zagnali le simulacijo »Post-Implementation Synthesis Timing Simulation«. Kot je razvidno s slike



Slika 3: Slika prikazuje zakasnitev logičnih komponent, ki so del izbranega FPGA vezja

3 in iz pripadajoče simulacije, lahko vidimo, da so se časovne zakasnitve nekoliko izboljšale (negator v tem primeru proizvede zakasnitev 0,285 ns), saj je orodje med implementacijo preslikalo sintetizirano vezje na realne komponente. Za simulacijsko datoteko smo še vedno uporabili isto datoteko kot na začetku, z razliko, da je orodje za simulacijo uporabilo novo generirano *netlist* datoteko, pridobljeno po implementaciji.

Zaključek

V tem prispevku smo spoznali tri ključne simulacijske korake v procesu razvoja FPGA vezja v okolju AMD Vivado: funkcionalno simulacijo, simulacijo po sintezi in simulacijo po implementaciji. Vsak izmed teh korakov nam ponuja drugačen vpogled v delovanje našega vezja in služi drugačnemu namenu v procesu verifikacije.

Funkcionalna simulacija je najhitrejši in najpreprostejši korak, ki nam omogoča preverjanje logične pravilnosti vezja brez upoštevanja časovnih zakasnitvev. Simulacija po sintezi nas prepriča, da je orodje naš RTL-opis pravilno interpretiralo in pretvorilo v ustrezno logično strukturo, hkrati pa nam z različico s časovnimi zakasnitvami že pokaže prve realistične ocene obnašanja vezja. Simulacija po implementaciji pa nam da najbolj natančen vpogled, saj so zakasnitve v tem koraku določene na podlagi dejanskih fizičnih komponent izbranega FPGA vezja – kot smo videli v našem primeru, je negator po implementaciji dosegel zakasnitev zgolj 0,285 ns, kar je boljše od 0,482 ns, izmerjenih po sintezi.

Opisani postopek verifikacije je dober primer tega,

zakaj je simulacija nepogrešljiv del razvojnega procesa. Namesto da bi napake odkrivali šele na fizičnem vezju, jih z ustrezno kombinacijo simulacijskih korakov zaznamo že v zgodnji fazi razvoja, kar bistveno skrajša čas razvoja in zmanjša tveganje za napake v končnem produktu. Posebej pri visokih frekvencah delovanja, kjer imajo časovne zakasnitve velik vpliv na pravilno delovanje sistema, se natančna simulacija pokaže kot nujna, ne zgolj priporočljiva.

Reference

- [1] https://github.com/klemenkmedenko/FPGA_simulation_primer_svetelektronike



NAROČNIŠKA AKCIJA

NAROČI SE NA REVJO

AKCIJSKA CENA
OB LETNI NAROČNINI Z DARILOM

Letna naročnina na revijo Računalniške novice
(21 številčk) skupaj z darilom za samo **33,50 €**

Akcija velja do razprodaje zalogi! Promidna NE velja za podaljšanje naročnine oz. za naročnike, ki so že bili naročeni na revijo v zadnjih 2 letih.

T: 01 620 88 00 M: naročnine@stromboli.si

IZBERI DARILO:

- USB ključek
- PowerBank
- ali Bluetooth slušalke

USB ključ Aparit A1555 128 GB 3.2

PowerBank Joyroom JR-PB19 19.000mAh

Bluetooth slušalke Joyroom AKC JR-F13

NAROČI SE ZDAJ

Računalniške novice
www.racunalniske-novice.com

Računalniške novice
SPLETNI NAKUPI V DOMI
LIMETNE INTERESIRANOSTI

Računalniške novice
PODATKI TVORIMO
HISTORIČNO PODJETJE

Praktične izkušnje z novim mikrokontrolerjem ESP32P4 podjetja Espressif (1. del)

Avtor: Brian Millier
email: bmillier@circuitcellar.com

Že od izida ESP8266 mikrokontrolerja z Wi-Fi-jem se podjetje Espressif intenzivno ukvarja z razvojem svojih mikrokontrolerjev z Wi-Fi-jem. Rezultat tega je celotna družina ESP32 naprav, ki vse vključujejo neko obliko podpore za Wi-Fi in Bluetooth.

Nekatere najnovejše naprave, kot je ESP32C6, podpirajo tudi Matter in Zigbee protokola. Nekateri člani družine ESP32 še vedno uporabljajo 32-bitno jedro mikrokontrolerja Xtensa LX7, medtem ko novejši modeli uporabljajo RISC-V jedro. Mnoge takšne naprave imajo dvojno jedro mikrokontrolerja, nekatere pa vsebujejo le eno jedro.

Novi mikrokontroler ESP32P4 se močno razlikuje od preostalih članov družine ESP32. Menim, da je ESP32S3 z dvojnimi jedrom mikrokontrolerja Xtensa verjetno najzmogljivejši mikrokontroler z vgrajenim Wi-Fi-jem, ki ga bo podjetje Espressif kdajkoli izdelalo. Pri modelu ESP32P4 je podjetje Espressif odpravilo vse funkcije radijske komunikacije in se namesto tega osredotočilo na razvoj precej zmogljivejšega konvencionalnega mikrokontrolerja. Nekateri privrženci ESP32 so nezadovoljni, ker je podjetje Espressif ohranilo oznako družine ESP32 za napravo, ki se ne ujema z vsemi drugimi mikrokontrolerji ESP32 z RF-zmogljivostjo, jaz pa sem bil preprosto vesel, da so ponudili zmogljivejši mikrokontroler.

V tem članku bom opisal svoje prve izkušnje z ESP32P4. Uporabil bom različne razvojne plošče, ki sem jih kupil za namene preizkušanja. V vseh primerih pa dejstvo, da gre za relativno novo napravo podjetja Espressif, pomeni, da je najbolj celovita programska podpora na voljo le z uporabo Espressifovega orodnega niza IDF. Arduino IDE intenzivno uporabljam za štiri različne družine mikrokontrolerjev, z Espressif IDF pa nimam neposrednih izkušenj. V tem članku bom na kratko predstavil večino zmogljivosti ESP32P4 in posebej izpostavil tiste, ki jih trenutno podpira Arduino IDE v različici 2.3.10. Iz preteklih izkušenj pa vem, da večina funkcij ESP32, ki so prvotno podprte le v IDF, postane dostopna skupnosti Arduino v manj kot enem letu.

Lastnosti ESP32P4

ESP32P4 vsebuje dvojedrni RISC-V MCU, ki lahko deluje s taktom 400 MHz. Torej je v bistvu dvakrat hitrejši od ESP32S3. Podobno kot nekateri drugi ESP32 modeli vsebuje tudi enojedrni, počasnejši MCU, ki deluje s taktom 40 MHz. V razvojnem okolju Arduino IDE se s počasnim mikrokontrolerjem pravzaprav ne ukvarjate, čeprav domnevam, da je vključen v različne načine globokega spanja, kar zadeva prebujanje glavnega mikrokontrolerja v določenih časovnih intervalih ali ob spremembah stanja GPIO priključkov.

ESP32P4 ima približno 50 % več pomnilnika SRAM kot ESP32S3, in sicer 768 KB. Razvojne plošče, ki sem jih kupil, vsebujejo 16

ali 32 MB Flash pomnilnika in so opremljene z 32 MB PSRAM pomnilnika.

Po mojem mnenju je velika izboljšava večje število GPIO priključkov. Na voljo jih je 55, od katerih se jih 5 uporablja tudi za povezovanje. Na voljo je običajen nabor funkcionalnih blokov, ki jih najdemo v družini ESP32:

- 5x UART-i plus en low-power UART (za delovanje v načinu spanja)
- 4x SPI portov
- 2x I2C plus en Low Power I2C
- I3C port. Slišal sem za ta novi protokol, vendar zaenkrat še ni veliko možnosti za njegovo uporabo.
- 3x I2S porti. Uporablja se za avdio z visoko frekvenco vzorčenja in visoko ločljivostjo
- USB High-speed, Full-speed, OTG
- USB Serial/JTAG krmilnik
- LEDC PWM krmilnik (8 kanalov)
- 2x PWM krmiljenje motorja
- Daljinsko krmiljenje periferije (4 kanali)
- 11x Timerjev različne dolžine, celo do 52-bitov
- 2x ADCs (12-bit) plus Low Power ADC (za delovanje v načinu spanja)

Poleg teh standardnih funkcij za priključevanje perifernih naprav sta na voljo tudi dva MiPi priključka. To sta zelo hitra serijska priključka, namenjena komunikaciji s TFT-zasloni (priključek DSI) ter komunikaciji s kamerami visoke ločljivosti (priključek CSI). To predstavlja prednost v primerjavi z drugimi mikrokontrolerji iz družine ESP32, ki s TFT zasloni komunicirajo na enega od naslednjih dveh načinov:

- **SPI port.** ESP32S3 ima več SPI vmesnikov, zato to deluje v redu, vendar je lahko nekoliko počasno. TFT knjižnico je treba nastaviti tako, da ustreza priključku zaslona.
- **Paralelni način.** Ta način je hiter, vendar porabi veliko GPIO priključkov ESP32S3 mikrokontrolerja. Poleg tega bo treba TFT knjižnico nastaviti tako, da bo ustrezala načinu priključitve zaslona na ESP32 prek tega velikega števila GPIO priključkov.

Ker ima ESP32P4 namenske MiPi-vmesnike, ne izgubite dostopa do GPIO priključkov, ki bi se sicer uporabljali za TFT zaslon. To pomeni tudi, da je v knjižnicah gonilnikov za TFT zaslon manj omejitev pri konfiguraciji GPIO priključkov. To velja tudi za MiPi CSI vmesnik, ki se uporablja za kamero.

Pri projektih, ki jih razvijam, skoraj ne potrebujem varnostnih



Slika 1: Waveshare ESP32-P4-WI-FI6

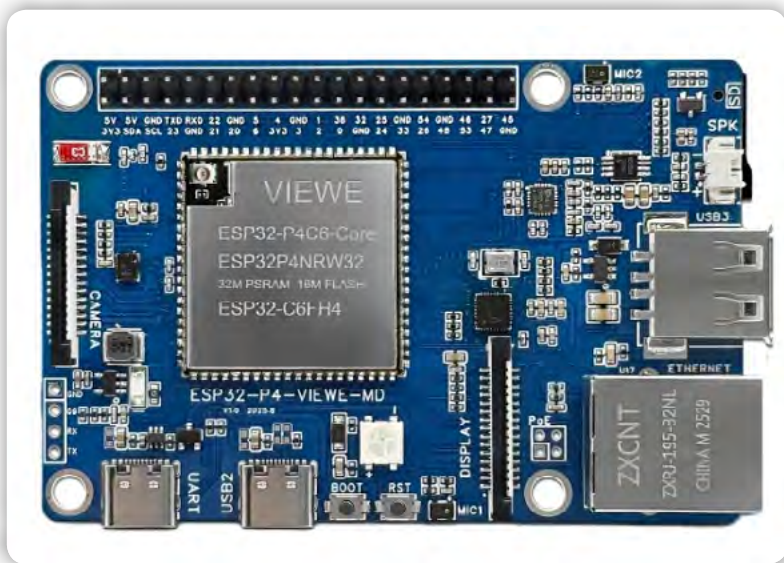
ukrepov, vendar pa ESP32P4 ponuja celoten nabor šifrirnih funkcij: AES, ECC, RSA, SHA pospeševalnike, periferno enoto za digitalni podpis, generator resnično naključnih števil itd.. V bistvu gre pri ESP32P4 za mikrokontroler, ki je dovolj zmogljiv, da ga lahko uvrstimo med sisteme na čipu (SoC), in vključuje praktično vso periferno opremo, potrebno za številne aplikacije. Medtem ko mnogi SoC-i (kot je na primer Raspberry Pi) podpirajo le operacijski sistem Linux, je ESP32P4 namenjen programiranju »bare-metal« v jeziku C++.

Omeniti moram, da Arduino IDE v tej zgodnji fazi še ne podpira mnogih naprednih perifernih funkcij ESP32P4. Vendar pa je v preteklosti podpora Arduina za katero koli funkcijo zaostajala za Espressifovim IDF le za približno 6 mesecev. Zdi se, da ni preveč težko zasnovati »ovoj« okoli različnih gonilnikov naprav Espressif IDF in jih narediti »prilagojene za Arduino«. Osebo precej rajši uporabljam standardne gonilnike naprav za Arduino kot mehanizem gonilnikov Device Tree, ki se uporablja v sistemu Linux.

Razvojne plošče

Na voljo je že široka paleta razvojnih plošč ESP32P4. Izbral sem tri razvojne plošče, ki ustrezajo različnim projektnim potrebam:

- **Waveshare ESP32-P4-WI-FI6.** Ta razvojna plošča



Slika 2: ViewE ESP32-P4-Pi-VIEWE

ima enako fizično obliko kot razvojni komplet Espressif ESP32S3, vendar ima 4 priključke manj. Glej sliko 1.

- **ViewE ESP32-P4-Pi-VIEWE.** Ta plošča ima enako obliko kot enoploščni računalnik Raspberry Pi. Opremljena je z Wi-Fi-jem, Ethernetom, USB-jem in 40-pin, dvojnim 0,1-palčnim priključkom za GPIO. Glej sliko 2.
- **M5 Stack TAB5.** Ta modul dejansko ne spada v isto kategorijo kot ostala dva, saj ima 5-palčni zaslon na dotik, veliko več zunanjih perifernih naprav ter je opremljen s torbico in izbirno LiPo baterijo, ki se lepo namesti na zadnjo ploščo. Slika 3 prikazuje zadnjo stran modula z vgrajeno izbirno LiPo baterijo.

Čeprav ESP32P4 nima vgrajenih zmogljivosti za Wi-Fi ali Bluetooth, imajo vse tri zgoraj navedene plošče/moduli vezje, ki to omogoča. Podjetje Espressif je to pomanjkljivost odpravilo z možnostjo priključitve ESP32C6 mikrokontrolerja na ESP32P4, ki deluje kot koprocesor za Wi-Fi/Bluetooth 5 (LE). Ta zamisel bo znana tistim, ki uporabljajo Raspberry Pi RP2040 mikrokontrolerje ali STM mikrokontrolerje, ki uporabljajo Wi-Fi/Bluetooth Infineon CYW43439 modul ali drugi enakovredni modul.

Modul Wi-Fi koprocesorja lahko priključite na več načinov – prek SPI, I2C ali UART vmesnika. Zato je treba Wi-Fi/Bluetooth knjižnico vašega gostiteljskega mikrokontrolerja ustrezno konfigurirati. Običajno se uporablja SPI vmesnik, vendar s tem ostane na voljo en SPI vmesnik manj za druge namene.

Podjetje Espressif je razvilo lastno razvojno ploščo ESP32P4, ki omogoča priključitev procesorja ESP32C6 prek SDIO vmesnika na ESP32P4 plošči. SDIO vmesniki se običajno uporabljajo za SD kartice in omogočajo hiter prenos podatkov. Kadar je ESP32C6 procesor vgrajen na ESP32P4 razvojno ploščo, je že vnaprej programiran kot podrejeni procesor za Wi-Fi/Bluetooth. Vse tri plošče, ki jih predstavljam v tem članku, uporabljajo ESP32C6 za Wi-Fi in SDIO vmesnik za medsebojno povezavo obeh. Če uporabljate standardne funkcije API-ja Arduino ESP32 WiFi in ste kot ciljni mikrokontroler izbrali ESP32P4, bo prevajalnik ustvaril kodo, ki podpira podrejeni Wi-Fi procesor ESP32C6. Zato je dejstvo,

da Wi-Fi upravlja ločena naprava, za uporabnikovo aplikacijo neopazno. V preteklosti sem uporabljal ESP-Now protokol, vendar firmware, ki je bil naložen na podrejeni ESP32C6 procesor, tega protokola trenutno NE podpira. To se v prihodnosti morda spremeni, vendar bo odvisno od možnosti ponovnega programiranja ESP32C6 (konektorja za programiranje morda nimajo vse razvojne plošče).

Cenim, da je podjetje Espressif zagotovilo standardiziran način upravljanja funkcije Wi-Fi koprocesorja. SDIO vmesnik je hiter in ne bi smel preveč poslabšati hitrosti Wi-Fi-ja ali odzivnosti. Nasprotno pa pri Arduino Uno Q delovanje Wi-Fi v celoti upravlja sistem na čipu (SoC) podjetja Qualcomm. STM Arm mikrokontroler, ki je procesor v »realnem času« na Uno Q, mora za komunikacijo s sistemom na čipu Qualcomm uporabljati protokol RPC (remote procedure call). Ta metoda ni tako pregledna kot Wi-Fi API za ESP32P4 in je precej počasnejša.



Slika 3: M5 Stack TAB5

Še en pomemben vidik, ki je skupen tem trem ESP32P4 razvojnim ploščam, je način, kako obravnavajo SD kartice. Prejšnje ESP32xx razvojne plošče so pogosto vsebovale vtičnico za uSD kartice, ki je bila običajno priključena na SPI vmesnik ESP32. Ta vmesnik pa ni niti približno tako hiter kot delovanje uSD kartice v načinu SDIO. Poleg tega, čeprav lahko SPI vmesnik v teoriji podpira več naprav (z uporabo posameznih CS linij), v praksi večina knjižnic za SD kartice ne bo delovala skupaj z drugimi SPI napravami, če si delijo isti SPI vmesnik. Pri ESP32P4 je vtičnica za uSD kartico priključena na drugačna SDIO vrata kot tista, ki jih uporablja Wi-Fi koprocesor ESP32C6, zato ne bo prišlo do konfliktov med knjižnicami.

Ker so zaslon, kamera in SD kartica priključeni prek namenskih vmesnikov, ima ESP32P4 na voljo veliko prostih GPIO priključkov za vaše lastne potrebe.

Za razliko od M5Stackovega TAB5, drugi dve razvojni plošči ESP32P4, predstavljeni v tem članku, nimata vgrajenega TFT zaslona. Obe pa imata DSI vtičnico, ki omogoča priključitev zunanjega TFT zaslona prek FPC kabla (fleksibilno tiskano vezje). Čeprav obe plošči vsebujeta DSI vtičnico in uporabljata MiPi DSI vmesnik ESP32P4, iskanje ustreznega zaslona in prave knjižnice za zaslon ni preprosto. To je področje, na katerem bo vaša izbira programskih orodij odločilna za to, kako (ali sploh) boste lahko priključili ustrezen zaslon. O tem bom podrobneje spregovoril, ko bom podrobneje opisal posamezne razvojne plošče.

Ponovil bom, kar sem že omenil v številnih svojih člankih, ki obravnavajo mikrokontrolerje, programirane z uporabo Arduino IDE. To, da v razdelku »Primeri za razvojno ploščo ESP32P4« vidite primere programov, še ne pomeni, da vsi delujejo ali da so bili sploh preizkušeni. Vključitev teh primerov pomeni le, da je nekdo ta primer preizkusil na katerem od ESP32xx mikrokontrolerjev, morda z uporabo perifernega čipa, ki je na določen način priključen. V naslednjih poglavjih bom za vsako ploščo navedel ustrezne primere za Arduino, ki sem jih sam preizkusil.

Waveshare ESP32P4-WiFi6 plošča stane 12,50 €. ESP32-P4-Pi plošča proizvajalca Viewe stane 16 €. M5 Stack TAB5 plošča spada v drugo kategorijo, saj vsebuje 5-palčni TFT-zaslon na dotik, številne periferne naprave in je opremljena z ohišjem. Stane 54 €.

Waveshare ESP32-P4-WIFI6

Ta razvojna plošča s 40-pinskim DIP priključkom je najbolj primerna za vgradnjo na tiskano vezje ali prototipno ploščo, kadar so potrebna zunanja vezja. Med vsemi tremi ploščami je najcenejša. Tako, kot vse tri plošče, ima vgrajeno USB-C vtičnico, ki omogoča napajanje in deluje kot serijski vmesnik. Ima 32 MB Flash pomnilnika.

Čeprav so DSI vtičnice na videz podobne, niso vse enake. Ta plošča uporablja 22-pin DSI vtičnico z visoko gostoto in razmakom 0,5 mm. Čeprav sam nisem kupil ločenih TFT DSI zaslonov opažam, da so ti pogosto opremljeni z več FPC kabli, ki ustrezajo dvema različnima tipoma DSI vtičnic (ki jih najdemo na različnih generacijah enoploščnih Raspberry Pi računalnikov). To je nekaj, na kar morate biti pozorni, če si zaslon nabavite

sami. Vendar pa podjetje Waveshare ponuja to razvojno ploščo z več različicami kompletov: komplet B vsebuje kamero, 10,1 palčni zaslon na dotik in majhen zvočnik. Vsi potrebni FPC kabli so vključeni v ta komplet. Čeprav je ta komplet cenovno ugoden, se mi je zdelo, da je 10,1 palčni zaslon za moje namene prevelik. Poleg tega je podpora knjižnic Waveshare za zaslon, ki se uporablja v tem kompletu, namenjena izključno orodju Espressif IDF, ki ga sam ne uporabljam. Zato moji načrti za to ploščo ne bi vključevali TFT zaslona.

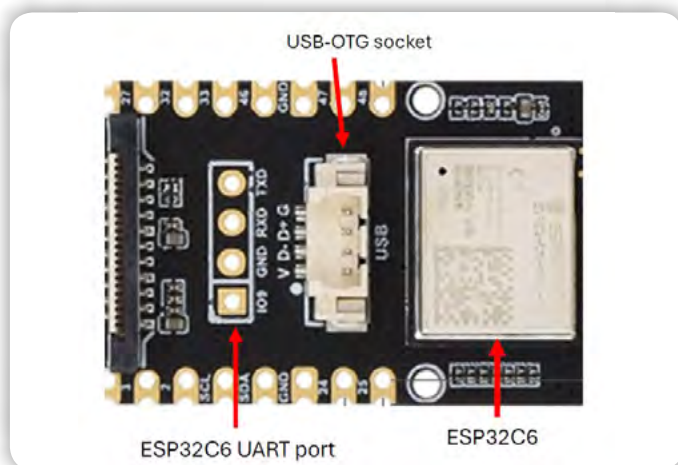
Na voljo je tudi 22-pinski CSI-priključek za kamero. Običajna kamera za Raspberry Pi (OV5647) bi tu delovala, vendar je nisem imel pri roki, da bi jo preizkusil. Ta plošča vsebuje vgrajen MEMS mikrofonski ojačevalnik za pogon majhnega zvočnika. Mikrofonski ojačevalnik ni označen in je analogen (tj. ne deluje po standardu I2S). Vgrajen je ES8311 kodek, ki upravlja z mikrofonom in hkrati zagotavlja avdio izhodni signal za ojačevalnik NS4150B. Ta kodek je podprt v Espressif IDF, primeri podjetja Waveshare pa so na voljo izključno v IDF formatu. Phil Schatzmann je napisal Arduino knjižnico za ES8311, ki je na voljo na GitHubu na naslovu:

- <https://github.com/pschatzmann/arduino-audio-tools>



Te knjižnice še nisem preizkusil s to ploščico. Vtičnica za zvočnik na spodnji strani ploščice je združljiva s konektorjem MX1.25 2P (2-pin).

Wi-Fi koprocesor ESP32C6 na tej ploščici ima vgrajeno lastno SMD anteno, zato na njej ni uFL konektorja za zunanjo anteno. Uporabljam najnovejšo različico Arduino IDE 2.3.10 z najnovejšim paketom podpore za Espressif ESP32 3.3.10 ploščo. Ta Waveshare plošča ni bila med izbirami ESP32 plošč, zato sem uporabil vnos »ESP32P4 Dev Module«. Nisem imel nobenih težav pri zagonu skice »AdvancedWebServer« iz kategorije »Primeri za ESP32P4«. Upoštevajte, da ESP32C6 podpira Bluetooth 5 (LE), ne podpira pa starejše Bluetooth UART serijske storitve. Na sliki 4 je prikazan 4-pin konektor za UART vmesnik ESP32C6, ki se lahko uporabi za ponovno programiranje ESP32C6.



Slika 4: 4-pin konektor za UART vmesnik EPS32C6

Vtičnica za uSD kartico na tej plošči je povezana z enim od SDIO priključkov (SDIO Slot 1) na ESP32P4. Ko sem v meniju Arduino Board izbral »ESP32P4 Dev Module«, nisem imel nobenih težav pri pravilnem delovanju skice »SDMMC_Test« iz kategorije »Examples for ESP32P4«. SDIO Slot 1 vrata imajo fiksno dodelitev GPIO pinov, zato konfiguracija GPIO pinov ni problem.

Dejstvo, da sta oba primera delovala takšna, kot sta bila, kaže, da je podjetje Waveshare ti dve periferni napravi priključilo natanko tako, kot je to storilo podjetje Espressif pri svoji razvojni plošči ESP32P4.

Za enega od mojih projektov sem želel uporabiti dva I2C ADC-ja s fiksnim naslovom. Preveril sem, da sta obe I2C vrati ESP32P4 podprti v Arduinu. Za njuno inicializacijo na pinih 2, 3 ter 7 in 8 sem uporabil naslednje ukaze:

```
Wire.begin();
Wire.setPins(2,3);
Wire1.setPins(7,8);
Wire1.begin();
```

Ta Waveshare plošča vsebuje čip CH343P za pretvorbo USB v UART. Zato v meniju Arduino Tools nastavite možnost »USB-CDC ob zagonu« na »Onemogočeno«. To bo omogočilo, da bodo standardni ukazi Serial.print() pošiljali podatke v program za serijski terminal na vašem računalniku.

Ta plošča podpira USB-OTG 2.0. Za dostop do tega vmesnika potrebujete kabel, ki prilagaja JST-1,25 x 4 konektor na plošči na ženski USB-A konektor. MX1,25-4-Pin konektor za kabelski adapter je označen na sliki 4. Te kable lahko najdete na Amazonu, če iščete »JST 1,25 x 4 USB«.

Slika 5 prikazuje razpored priključkov te plošče. Na voljo je 27 GPIO priključkov, od katerih nobenega ne uporabljajo naprave, kot so DSI zaslon, kamera ali vtičnica za SD kartico.

ViewE ESP32-P4-Pi

Ta plošča se v nekaterih lastnostih razlikuje od Waveshare plošče. Ima obliko Raspberry Pi in podoben GPIO priključni konektor. Za razliko od Waveshare plošče ta uporablja modul

VIEWE ESP32-P4-Core, ki vsebuje tako čip ESP32P4 kot tudi čip ESP32C6. To je velik pravokotnik, ki je prikazan na sliki 2. Ta modul vsebuje priključek u.FL za zunanjo anteno. Čeprav na tiskanem vezju ni vgrajene »patch« antene, se med GPIO konektorjem in DSI konektorjem nahaja majhen rdeč modul. Čeprav je sam del označen s C3, je na tiskanem vezju označen kot ANT1 in predstavlja privzeto anteno. Bil sem prijetno presenečen, ko sem se s to ploščico uspel povezati s svojim Wi-Fi usmerjevalnikom (10 m stran). Uporabil sem isti skic »AdvancedWebServer« iz kategorije »Primeri za ESP32P4«, kot sem ga uporabil pri plošči Waveshare.

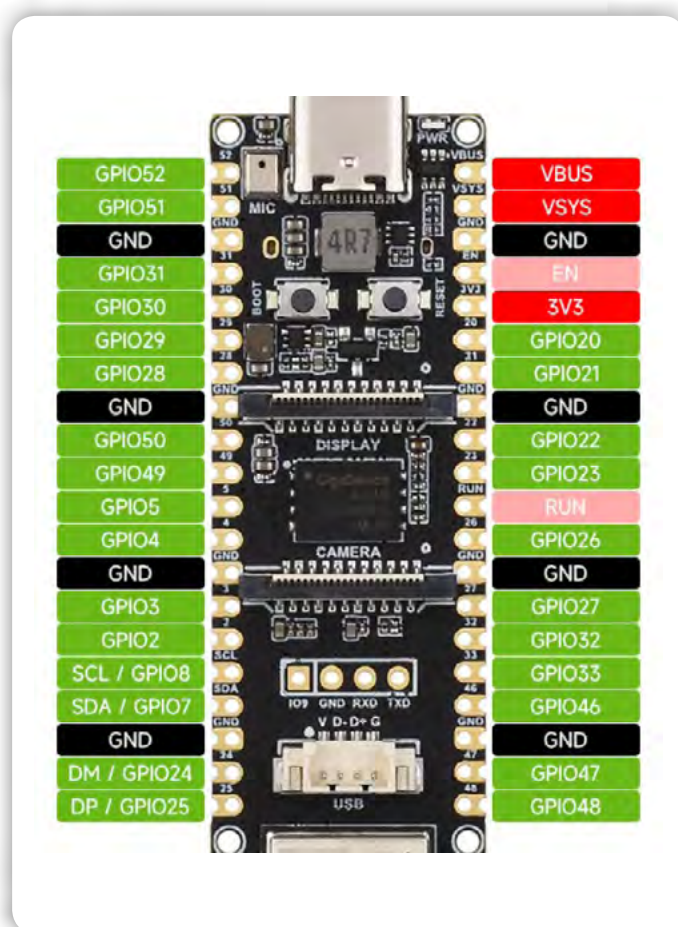
Za razliko od drugih dveh plošč ta plošča vsebuje RJ45 konektor, ki podpira Ethernet vmesnik s hitrostjo 100 Mbps. Čip Ethernet PHY-ja je Wiznet IP101GRI. ViewE ima stran na GitHubu, ki vsebuje večino tehničnih podatkov o plošči:

- VIEWESMART (VIEWESMART) · GitHub: <https://github.com/VIEWESMART>



Za večino vgrajenih perifernih naprav, vključno s tem Ethernet vmesnikom, so na voljo primeri. Vsi primeri so na voljo v programskem formatu Espressif IDF, program ViewE pa ne ponuja knjižnic ali primerov za Arduino.

Tako kot Waveshare plošča tudi ta plošča podpira avdio funkcionalnost. Za avdio izhod uporablja kodek ES8311 I2S, ki mu sledi NS4150 ojačevalnik. Vendar pa v nasprotju z Waveshare ploščo



Slika 5: Razpored priključkov plošče Waveshare ESP32P4-WiFi6

vsebuje tudi ločen kodek ES7210 I2S za 2 vgrajena mikrofona. ES7210 je 24-bitni analogno-digitalni pretvornik (ADC) z visoko ločljivostjo, ki lahko obdeluje do 4 avdio vhode. ViewE ta čip označuje kot napravo za odpravo odmeva. Ta čip proizvaja podjetje Everest Semiconductors, v njihovem tehničnem listu pa ni omenjena nobena zmogljivost za odpravo odmeva, čeprav je v napravi prikazan DSP blok.

Podjetje Espressif samo uporablja te kodeke na svojih ploščah in je zanje napisalo gonilnike v IDF formatu. Podjetje ViewE ponuja primerne programe za oba kodeka v Espressif IDF formatu. V najnovejšem paketu podpore za ESP32 ploščo podjetja Espressif (različica 3.3.10) ni nobenih primerov skic za Arduino za nobenega od kodekov. Domnevam, da bi knjižnica ES8311 avtorja Phila Schatzmanna, omenjena v poglavju o Waveshare, delovala tudi na tej plošči. Konektor za zvočnik je zelo majhen in se priključi na MX1.25 2P (2-pin) konektor.

Tako kot Waveshare plošča ima tudi ta MiPi DSI konektor za TFT zaslon. Vendar gre pri tej plošči za 15-pin konektor z razmakom 1 mm, ne pa za 22 pin konektor z razmakom 0,5 mm, kot je na Waveshare plošči. Ta 15 pin konektor je širši od 22 pin konektorja, zato je verjetnost, da bi se zmedli in priključili napačen FPC kabel, zelo majhna. Tako kot pri drugih vgrajenih perifernih napravah ViewE ponuja nekaj programov v Espressif IDF za testiranje zaslona. Eden je poimenovan »color_panel_JD9165«, pri čemer je J9165 pogost čip za krmljenje LCD zaslonov. Drugi primer je namenjen za upravljanje 7 palčnega zaslona s pomočjo priljubljenega grafičnega okvira LVGL. Nisem kupil ustreznega zaslona, saj ne uporabljam Espressif IDF in zato nisem mogel preizkusiti primerov ViewE TFT.

Tako kot Waveshare plošča tudi ta vsebuje MiPi CSI konektor za kamero. Gre prav tako za 15 pin konektor z razmakom 1 mm. ViewE ponuja tudi demonstracijski program Espressif IDF za kamero. Domnevam, da bi tu delovala tudi običajna kamera za Raspberry Pi, vendar je nisem imel pri roki, da bi jo preizkusil.

Konektor za uSD kartico na tej plošči je povezan z enim od SDIO priključkov na ESP32P4. Ko sem v meniju »Arduino Board« izbral »ESP32P4 Dev Module«, nisem imel nobenih težav pri pravilnem delovanju skice »SDMMC_Test« iz kategorije »Examples for ESP32P4«. Opazil sem sicer, da prva uSD kartica, ki sem jo vstavil – kartica Sandisk s kapaciteto 32 GB, formatirana v sistemu FAT32 – ni bila prepoznana. Druga kartica, Kingston s kapaciteto 32 GB, formatirana v sistemu FAT32, je delovala brez težav.

ViewE plošča podpira tudi USB-OTG-2.0. Ta plošča vsebuje standardni ženski USB A konektor. V trenutnem paketu podpore za Espressif ESP32 ploščo niso vključeni nobeni primeri uporabe USB-OTG, namenjeni za ESP32P4. Obstaja knjižnica za Arduino, ki jo je ustvaril Tanaka Masayuki in jo lahko najdete z uporabo upravitelja knjižnic Arduina (Arduino Library Manager) tako, da poiščete »ESPUSBhost«. Poskusil sem zagnati nekaj primerov, vendar mi to ni uspelo. Opazil sem, da naprava, priključena na ta USB-A konektor, ni prejemale napajanja, zato mora biti potrebno še kaj drugega, da se

USB vmesnik na tej plošči aktivira. V shemi pa nisem našel ničesar. Omeniti moram, da je ista knjižnica delovala pravilno, takšna kot je bila dobavljena, ko sem jo uporabil na svojem 4D Systems ESP32-P4-70CT zaslonu. Ker nimam veliko izkušenj z USB-OTG na mikrokontrolerjih ESP32, ne bi obupal nad USB-OTG vtičnico zgolj zaradi svojih omejenih izkušenj.

V prodajni brošuri ViewE sta omenjena vmesnik RS485 UART in CAN vodilo. Vendar na shemi ne vidim nobenega znaka za čip gonilnika RS485. Na plošči je sicer 4-pin UART konektor, vendar je neposredno povezan z mikrokontrolerjem ESP32C6, vgrajenim v modul VIEWE ESP32-P4-Core, in je verjetno namenjen za programiranje mikrokontrolerja ESP32C6.

Ta plošča vsebuje RGB LED WS2812, priključen na GPIO35. Arduino knjižnica »Freenove WS2812« je sicer pogosto uporabljena, vendar se ne prevaja za ESP32P4 zaradi sklicevanja na periferno napravo RMT. Tudi večina drugih knjižnic za WS2812 uporablja blok RMT za ESP32. ESP32P4 ima periferno napravo RMT, vendar paket podpore za Arduino ESP32 plošče podjetja Espressif očitno ne vključuje bloka RMT za ESP32P4.

Ta plošča vsebuje 6-osni MEMS IMU QM18658A na naslovu I2C 0x6A. Na spletni strani ViewE na GitHubu je na voljo primer v formatu Espressif IDF z imenom »03-attitude«. Knjižnica za Arduino za to IMU je na voljo na naslovu:

- *QM18658 - Arduino Libraries*



QM18658_Basic.ino primer deluje, če spremenite vrstico 37 takole:

```
bool success = imu.begin(7, 8);
// SDA is 7 , SCL is 8 on ViewE board
```

Ta plošča vsebuje CH340C čip za pretvorbo med USB in UART. Zato v meniju »Arduino Tools« nastavite možnost »USB-CDC on Boot« na »Disabled«. S tem boste omogočili, da standardni ukazi Serial.print() pošiljajo podatke v program za serijski terminal na vašem računalniku.

To razvojno ploščo bi priporočil, če vas zanima priključevanje »hat« razširitvenih modulov za Raspberry Pi in/ali če imate izkušnje z Espressif IDF.

M5Stack TAB5

Ta razvojna plošča je opremljena s 5-palčnim DSI zaslonom na dotik z ločljivostjo 1280 x 720 in je vgrajena v plastično ohišje. Vsebuje številne dodatne perifernih čipe, ki presegajo tiste, ki jih najdemo na samem ESP32P4. Ohišje je zasnovano tako, da omogoča vgradnjo izbirnega LiPo akumulatorja, kar ceno poveča le za 5 €. Akumulator z napetostjo 7,4 V in kapaciteto 1900 mAh pa vendarle štrli iz zadnje strani ohišja. Ko sem prejel TAB5, sem spoznal, kako bogata s funkcijami in vsestranska je ta naprava – kar pomeni, da bo za njeno ustrezno predstavitev potreben še en celoten članek. Preberite si naslednjo številko revije Svet Elektronike, da boste izvedeli, kaj sem odkril.



**BREZPLAČNA
POŠTNINA!**

POSEBNA PONUDBA

Ob nakupu knjige vam pripada
BREZPLAČNA poštnina





programming has never been easier

Smo uradni zastopnik za ELNEC v Sloveniji!

BeeProg3



70-0074



BeeProg4



BeeProg4C



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

 AX ELEKTRONIKA