

SE
353

REVIIJA ZA ELEKTRONIKO, AVTOMATIKO, RAČUNALNIŠTVO IN TELEKOMUNIKACIJE

svet ELEKTRONIKE

ISSN 1318-4679



9 771 318 467 014



letnik XXXIII
julij/avgust 2026
številka 353
cena:
5,50 €



**OMRON je predstavil
DC rele za visoke tokove**



**Poenostavite fotovoltaične
rešitve za napajanje brez
priključitve na omrežje**



**Doma narejen
tester baterij**

Uvod v FPGA Arhitekturo (2)

**Simulator EZNECPro
in HF antene (3. del)**

**Merilnik frekvence
z generatorjem impulzov**

Današnji
najnovejši
izdelki so
jutrišnje
inovacije



digikey.si/new



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 Dopust
Jurij Mikeln

NOVICE

- 5 OMRON je predstavil DC rele za visoke tokove namenjen prostorom za shranjevanje in polnilni infrastrukturi
<https://omron.eu>

PREDSTAVLJAMO

- 6 Razširitev napajanja v sistemih s specifikacijo USB PD 3.1
Avtor: Fernando Gonzalez
<https://www.microchip.com>
- 10 Poenostavite fotovoltaične rešitve za napajanje brez priključitve na omrežje z vgrajenimi polnilniki/inverterji
Avtor: Rolf Horn
<https://www.digikey.com>

PROGRAMIRANJE

- 14 Uvod v FPGA Arhitekturo (2)
Avtor: Klemen Bravhar
- 20 Simulator EZNECPro in HF antene (3. del)
Avtor: Boštjan Tovšak
- 31 Merilnik frekvence z generatorjem impulzov
Avtor: Mag. Vladimir Mitrović
- 38 Python in MikroPython – 6. del
Avtor: dr. Simon Vavpotič

SAMOGRADNJA

- 44 Doma narejen tester baterij
<https://www.instructables.com>

OMRON je predstavil DC rele za visoke tokove

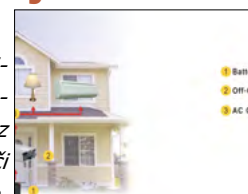
Nova serija G9KD omogoča preklopni tok 150 A pri napetosti 1500 V in je primerna za kompaktno in praktično zamenjavo kontaktorjev. Podjetje OMRON Electronic Components Europe je predstavilo priročne releje za vgradnjo na tiskano vezje, namenjene varnostni izolaciji v visokonapetostnih sistemih...

**Stran:5****Razširitev napajanja v sistemih s specifikacijo USB PD 3.1**

USB vmesnik (Universal Serial Bus) se je sprva uporabljal kot vmesnik za prenos podatkov, vendar ni trajalo dolgo, da se je razvil tudi v vir napajanja za naprave. Sprva je njegova največja izhodna moč znašala le 2,5 W, danes pa prek kablov in priključkov USB Typ

**Stran:6****Poenostavite fotovoltaične rešitve za napajanje brez priključitve na omrežje**

Rešitve za oskrbo z električno energijo brez priključitve na omrežje, ki temeljijo na fotovoltaičnih (PV) panelih z uporabo sledenja točke največje moči (MPPT), postajajo vse bolj priljubljene, saj uporabniki vse pogosteje prehajajo na alternativne vire energije. Vendar je namestitev in konfiguracija...

**Stran:10****Doma narejen tester baterij**

V zadnjih letih je trg preplavilo veliko število poceni baterij, od katerih jih veliko izdelujejo neuradni proizvajalci. Glavna skrb v zvezi s temi baterijami je netočno označevanje zmogljivosti. Pogosto se za te baterije navaja visoka zmogljivost, ki včasih presega 10.000 mAh, po cenah, ki se zdijo preveč dobre...

**Stran:44**

Merilnik frekvence z generatorjem impulzov, Avtor Vladimir Mitrović

CMOS 2.0: Hibridno spajanje rezin z 200-nanometrskim razmakom med povezavami, Vir: IMEC



Jurij Mikeln

REVIJA ZA ELEKTRONIKO,
AVTOMATIČNO,
RAČUNALNIŠTVO
IN TELEKOMUNIKACIJE

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

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

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

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

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

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 pisnega soglasja uredništva.

Dopust

Pozdravljene drage bralke in dragi bralci revije Svet elektronike.

Končno je prišel čas za dopust, ko se bomo spet malce naužili prostega časa.

Kaj počne vsak od nas v prostem času je seveda odvisno od vsakega posameznika. Nekdo preživi več časa na svojem vrtu, drugi morda preživi več časa v svoji mehanični delavnici in želi dokončati nek »projekt«. Jaz, na primer, že imam podoben projekt, ki me čaka že kar nekaj let in ga moram dokončati.

Nekdo tretji pa bo morda vzel v roke Svet elektronike in bo naredil neko napravo, ki jo predstavljamo v reviji. Prav s tem namenom je poletna številka malce bolj bogata s praktičnimi projekti, s katerimi vas želimo spodbuditi, da si sami napravite neko napravo.

Seveda pa ne moremo mimo člankov, ki so povezani s programiranjem, čeprav se časi za programerje spreminjajo. Nedavno sem slišal, da se na Fakulteti za računalništvo in informatiko pozna manjši vpis zaradi umetne inteligence (UI). Mladi so namreč ugotovili, da lahko pisanje programa opravi UI in to precej hitreje, kot to lahko naredi človek. Seveda je treba program ustrezno pregledati in tudi preizkusiti, ampak to ne traja tako dolgo, kot samo pisanje programa.

In tako so programerji dobili orodje, ki se bo učilo in izpopolnjevalo. Ob tem pa ne smemo pozabiti na nekaj zakonov, ki jih pozna programerska stroka in so neke vrste zagotovilo, da UI ne bo ušla izpod nadzora.

Želim vam lep in uspešen dopust, kar koli boste že počeli in kjer koli se boste nahajali. Naslednja številka revije Svet elektronike izide v začetku septembra, ko bomo že v polni pripravi na sejem MOS v Celju, kjer bomo zopet prisotni.

Lep pozdrav!
Jure



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,...

OMRON je predstavil DC rele za visoke tokove namenjen prostorom za shranjevanje in polnilni infrastrukturi

Omron Corporation

Nova serija G9KD omogoča preklopni tok 150 A pri napetosti 1500 V in je primerna za kompaktno in praktično zamenjavo kontaktorjev

Podjetje OMRON Electronic Components Europe je predstavilo priročne releje za vgradnjo na tiskano vezje, namenjene varnostni izolaciji v visokonapetostnih sistemih za shranjevanje energije (ESS) in hitrih polnilnikih za električna vozila. Serija G9KD obsega visokozmogljive releje za enosmerno napetost 1500 V z vklopnim tokom 100 A in tokom pri preklopu 150 A, ki se uporabljajo v vezjih za obdelavo energije v sistemih ESS ter v krmilnih enotah polnilnikov za električna vozila. Uporabljajo se tudi v omrežjih z možnostjo preklapljanja konfiguracij za polnilnice električnih vozil, ki vozilom in servisni opremi omogočajo dinamično prilagajanje moči polnjenja, da se tako poveča dostopnost in skrajša čakalni čas.

Reléji OMRON G9KD nadomeščajo tradicionalne kontaktorje, kar proizvajalcem opreme omogoča večjo integracijo tiskanih vezij in avtomatizirano sestavljanje, s čimer se zmanjša potreba po zamudnih ročnih postopkih in poveča zanesljivost v praksi. Ker so novi reléji sposobni prenesti visoke tokovne obremenitve in prekinitvene tokove pri napetostih vodil 1000 V in več, spodbujajo razvoj sistemov za shranjevanje energije, povezanih z omrežjem, ter akumulatorskih sistemov za električna vozila, s čimer zagotavljajo večjo zmogljivost in moč. Ta trend še dodatno spodbuja elektrifikacijo in energetska tranzicijo ter

prinaša opazne izboljšave, kot so hitrejša polnjenja električnih vozil za večje udobje in krajše čakalne dobe, večja energetska učinkovitost ter cenovno dostopnejše storitve.

Reléji G9KD tipa SPST z normalno odprtim stikom (tip 1a), ki merijo le 60,5 mm x 43,5 mm x 56,5 mm (višina), omogočajo bolj kompaktno zasnovano opremo. Razdalja med glavnima kontaktoma znaša 6 mm, kar zagotavlja zadostno izolacijsko razdaljo, medtem ko začetna upornost stika, manjša od 4 m Ω , zmanjšuje izgubo energije in segrevanje kontakta. Kot dodatna oprema je na voljo niz pomožnih kontaktov z nazivnim tokom 1,0 A, namenjenih za nadzor okvar kontaktov in prikaz diagnostičnih napak; ti kontakti so običajno zaprti (tip 1b) in ustrezajo standardu IEC/EN 60947-4-1.

Reléji G9KD so že v proizvodnji.

Za več informacij kliknite: <https://components.omron.com/eu-en/products/relays/G9KD>

Web: <https://components.omron.com/eu-en>

LinkedIn page: <https://www.linkedin.com/company/omron-electronic-components-europe-b-v/>

<https://omron.eu>



Razširitev napajanja v sistemih s specifikacijo USB PD 3.1

Microchip Technology

Avtor: Fernando Gonzalez, glavni inženir za aplikacije, Oddelek za analognu napajanje in vmesnike (APID)

USB vmesnik (Universal Serial Bus) se je sprva uporabljal kot vmesnik za prenos podatkov, vendar ni trajalo dolgo, da se je razvil tudi v vir napajanja za naprave.

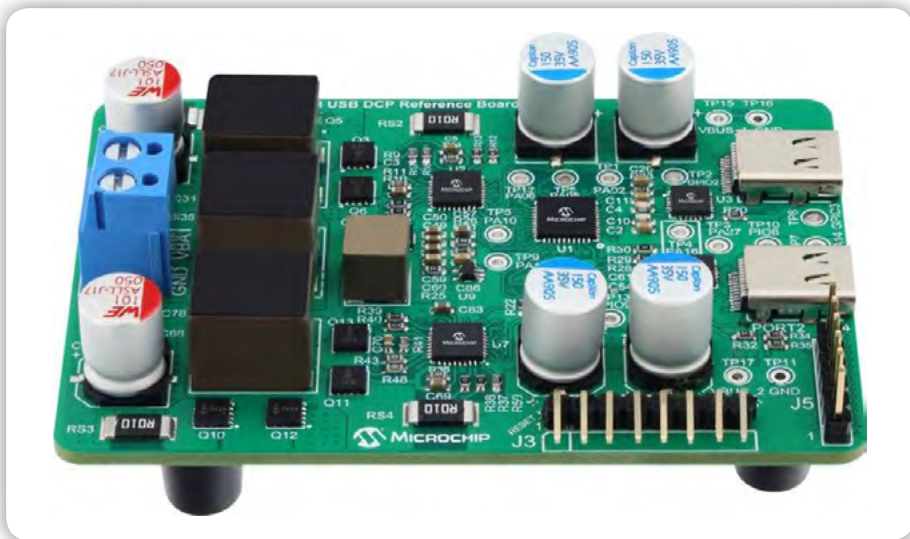
Sprva je njegova največja izhodna moč znašala le 2,5 W, danes pa prek kablov in priključkov USB Type-C® lahko zagotovi do 240 W moči za napajanje, poleg tega pa tudi prenos podatkov in videa. Ta posodobitev je znana pod imenom Extended Power Range (EPR) ali USB Power Delivery Specification 3.1 (USB PD 3.1), ki jo je uvedlo združenje USB Implementers Forum (USB-IF). EPR uporablja višje napetostne ravni, in sicer 28 V, 36 V in 48 V, ki pri toku 5 A zagotavljajo moč 140 W, 180 W oziroma 240 W.

USB PD 3.1 omogoča nastavitve napetosti, kar omogoča uporabo vmesnih napetosti med 9 V in najvišjo fiksno napetostjo polnilnika. To zagotavlja večjo prilagodljivost, saj se tako lahko zadovoljijo potrebe posameznih naprav po napajanju. USB PD 3.1 je združljiv z nazaj s prejšnjimi različicami USB, vključno z različico Legacy do 15 W (5 V/3 A) in načinom Standard Power Range (SPR) do 100 W (20 V/5 A).

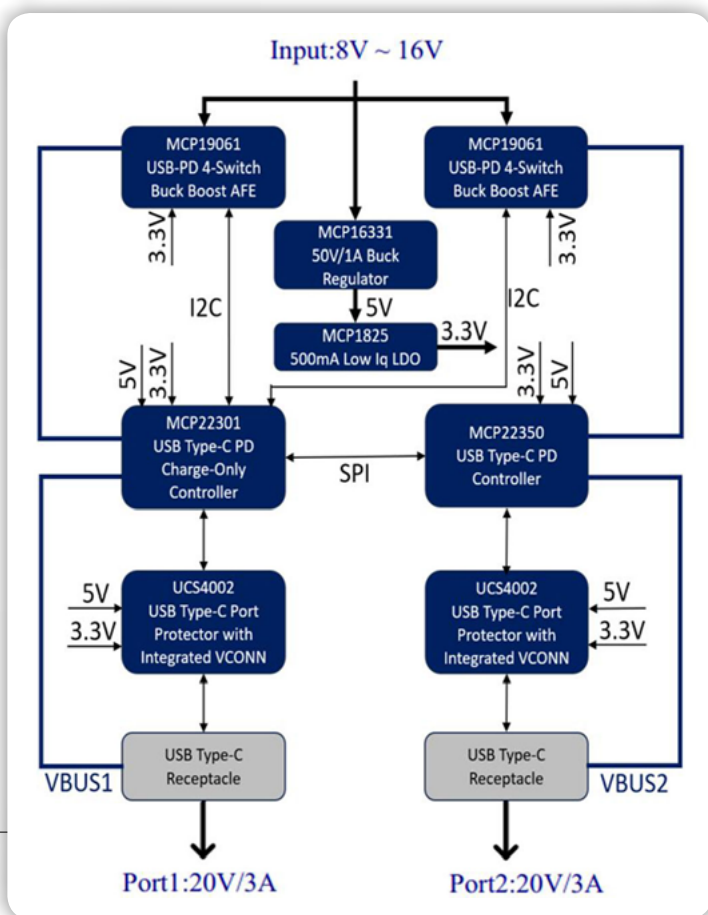
Zmožnost prilagajanja porabe energije za vsako napravo je pomembna prednost te specifikacije; naprava namreč porabi le toliko energije, kolikor jo potrebuje, kar se razlikuje glede na namembnost. To velja za periferno opremo, kjer proces upravljanja z energijo omogoča, da vsaka naprava porabi le toliko energije, kolikor jo potrebuje. Specifikacija USB PD 3.1 se uporablja v številnih področjih, med drugim v prenosnih računalnikih, igralnih postajah, monitorjih, industrijskih strojih in orodjih, majhnih robotih in dronih, električnih kolesih in še mnogih drugih.

Microchip USB-PD Demo plošča

Podjetje Microchip ponuja demonstracijsko aplikacijo z dvojnimi polnilnimi vmesniki USB Power Delivery (PD) [1], ki podpira specifikacijo USB PD 3.1. Referenčna plošča MCP19061 USB PD Dual Charging Port (DCP) (slika 1) je že sestavljena tako, da prikazuje uporabo te tehnologije v



Slika 1: MCP19061 USB plošča z dvema polnilnima priključkoma (Dual Charging Port - DCP)



Slika 2: Dva neodvisno krmiljena USB-PD kanala na plošči DCP, ki jo poganja MCP19061

praktičnih aplikacijah. Plošča je v celoti sestavljena, programirana in preizkušena, da omogoča preskušanje in predstavitev digitalno krmiljenih aplikacij za pametno polnjenje različnih USB-PD naprav, pri čemer vsaka priključena naprava lahko zahteva optimalno raven napajanja za svoje delovanje.

Na plošči je prikazan primer polnilnega vezja z zanesljivimi zaščitami, porazdelitvijo polnilne moči med dva priključka ter dinamično prilagodljivim profilom polnjenja (napetost in tok) za določeno obremenitev. Ta funkcija uravnavanja moči med priključki omogoča boljši nadzor nad procesom polnjenja, hkrati pa zagotavlja ustrezno količino energije za vsako napravo.

Plošča zagotavlja izhodne napetosti od 3 V do 21 V in izhodne tokove od 0,5 A do 3 A. Njen največji obseg vhodne napetosti je od 6 do 18 V, pri čemer je priporočena vrednost 12 V.

Plošča je opremljena s programsko opremo, zasnovano za delovanje z grafičnim uporabniškim vmesnikom (GUI), ter vsebuje priključke za programiranje prek serijskega vmesnika v vezju (ICSP) in I2C komunikacijo. Priložena USB serijsko povezovalna plošča (kot je na primer plošča BB62Z76A MCP2221A USB) v kombinaciji z GUI omogoča hitro preizkušanje različnih konfiguracij z dejanskimi napravami, ki se polnijo prek obeh vrat. Za DCP grafični vmesnik plošče je potreben računalnik z operacijskim sistemom Microsoft Windows 7–11 in vmesnikom USB 2.0. Grafični vmesnik prikazuje parametre, stanje plošče in napake ter omogoča konfiguracijo s strani uporabnika.

Komponente na DCP plošči

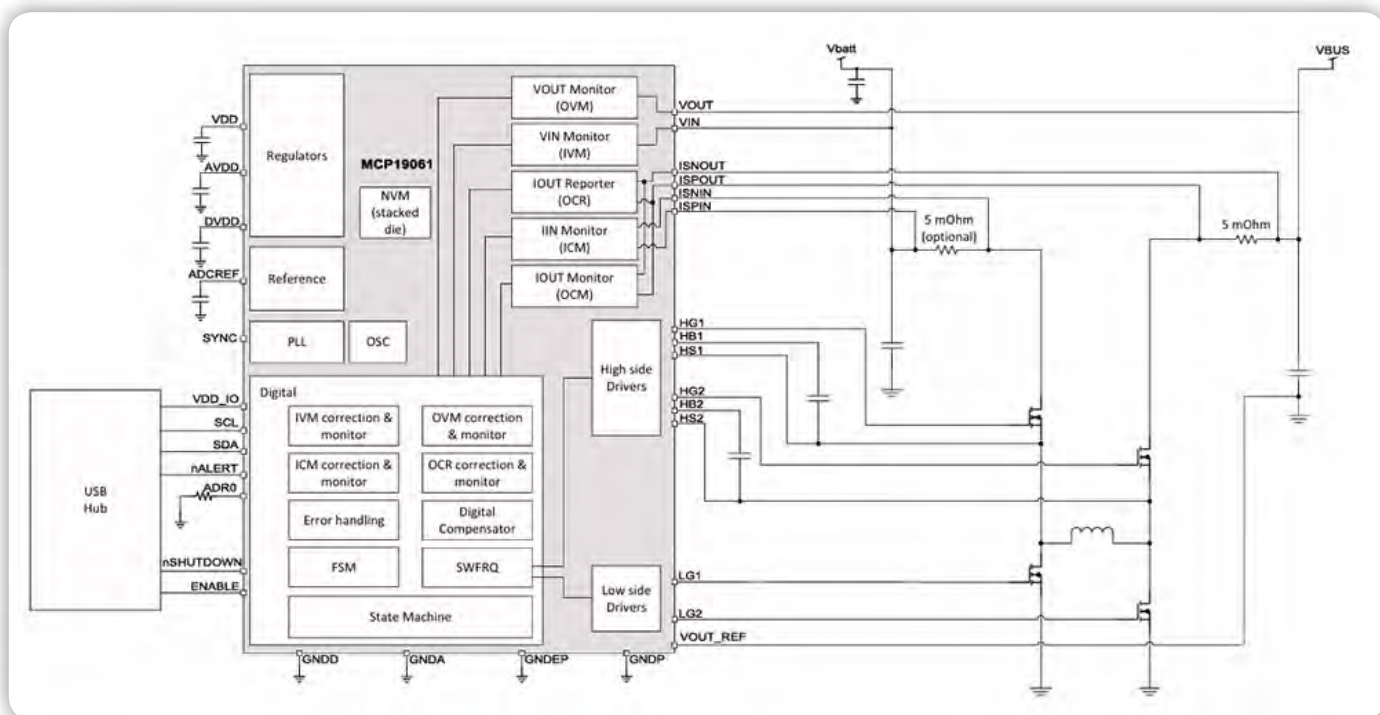
Ker gre za ploščo z dvema vmesnikoma, sta na voljo dva neodvisna USB-PD kanala (slika 2), od katerih ima vsak svoj namenski analogni sprednji del (AFE). AFE v napravi Microchip MCP19061 je digitalno krmiljen buck-boost močnostni

krmilnik s štirimi stikali namenjen za mešane signale z vgrajenimi sinhronimi gonilniki in z vmesnikom I2C; glej blok diagram na sliki 3.

Poleg tega je v enem od kanalov vgrajen čip Microchip MCP22350, visoko integriran USB Type-C PD 2.0 krmilnik majhnih dimenzij, medtem ko je v drugem kanalu vgrajen čip Microchip MCP22301, samostojni krmilnik USB Type-C PD vmesnika, ki podpira specifikacijo USB PD 3.0. MCP22350 deluje kot spremljevalni PD krmilnik za zunanji mikrokontroler, sistemom na čipu (SoC) ali USB vozliščem, medtem ko je MCP22301 integrirana PD naprava z funkcionalnostjo mikrokontrolerja SAMD20, nizkoenergijskega 32-bitnega Arm® Cortex®-M0+, z dodanim PD nadzorom dostopa do medija in fizičnim slojem (MAC/PHY) MCP22350.

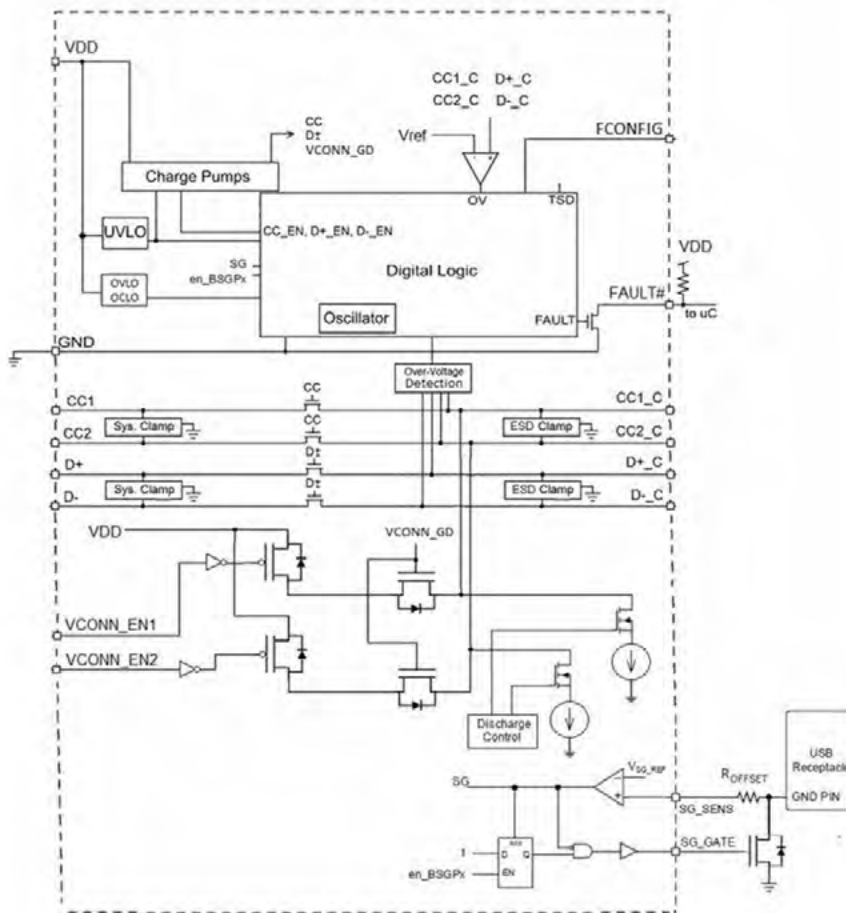
Vsak kanal ima tudi lastno zaščito za vmesnik USB Type-C UCS4002, ki ščiti pred napakami ter hkrati zagotavlja nemoten potek polnjenja in prenosa podatkov; glej sliko 4.

V vtičnici USB tipa C so običajno vgrajene podatkovne linije D+/D- (USB 2.0), linije Rx/Tx za USB 3.x ali USB 4, linije konfiguracijskega kanala (CC) za nadzor načina polnjenja, linije za uporabo stranskega pasu (SBU) za dodatne funkcije ter ozemljitev (GND). UCS4002 ščiti linije CC in D+/D- pred kratkim stikom z akumulatorjem. Poleg tega zagotavlja zaščito pred kratkim stikom baterije z maso (SG_SENS) za vtičnice za polnjenje. Vgrajeni preklonni FET-i VCONN (VCONN je namenski priključek za napajanje v priključku USB Type-C) zagotavljajo zaščito pred prenapetostjo, podnapetostjo, povratno napetostjo in prevelikim tokom prek napetosti VCONN. Vhodni vodnik plošče vključuje PMOS stikalo za zaščito pred obratno polariteto in CLC EMI filter. Na voljo so tudi funkcije, kot sta varovalka VDD in termična zaščita, ki ju omogoča namenski temperaturni senzor MCP9700, ki spremlja temperaturo plošče.



Slika 3: Blok diagram MCP19061 s 4 stikali za Buck-boost funkcijo

UCS4002



Slika 4: Blok diagram vezja za zaščito USB priključka UCS4002

UCS4002 omogoča tudi nastavljivo poročanje o napakah prek izhoda FCONFIG, kar uporabnikom omogoča, da nastavijo delovanje izhoda FAULT#. Izhodi CC, D+, D- in SG_SENS so zaščiteni pred elektrostatičnimi razelektritvami (ESD) v skladu s standardoma IEC 61000-4-2 in ISO 10605.

DCP plošča vključuje pomožno napajanje, ki ga zagotavlja integriran stikalni regulator MCP16331, ki omogoča napetost +5 V, ter linearni regulator MCP1825 LDO, ki zagotavlja pomožno napetost +3,3 V.

Delovanje plošče

Plošča MCP19061 DCP prikazuje, kako deluje vezje MCP19061 v topologiji buck-boost s štirimi stikali, namenjeni napajanju USB naprav in njihovem polnjenju z zahtevano napetostjo znotraj dovoljenega območja, ne glede na vrednost vhodne napetosti. Naprava je zasnovana tako, da samostojno uravnava izhodno napetost in tok za vsak USB kanal (njun posamezni profil polnjenja), hkrati pa komunicira z napravami, priključenimi prek USB-C, z uporabo USB-PD protokolov.

Vse obratovalne parametre je mogoče programirati z uporabo dveh vgrajenih Microchip USB-PD krmilnikov, in sicer z dinamično prekonfiguracijo in prilagajanjem postopkov polnjenja, pretvorbe energije ter drugih sistemskih parametrov. Demo

plošča prikazuje, kako omogočiti funkcijo hitrega polnjenja USB PD Programmable Power Supply (PPS) – napredno tehnologijo polnjenja, ki v realnem času prilagaja napetost in tok, da se glede na stanje polnjenja naprave doseže največja možna izhodna moč.

Naprava MCP19061 deluje v povezavi s krmilnimi zankami za merjenje toka in napetosti, s čimer nadzoruje in uravnava napetost in tok obremenitve. Poleg tega plošča samodejno zazna prisotnost ali odstranitev obremenitve, ki je skladna z USB-PD standardom.

Ko se naprava, združljiva z USB-PD standardom, priključi na USB-C vrata 1 (na desni strani tiskanega vezja, to je zgornji strani), se vzpostavi USB komunikacija, plošča MCP19061 DCP pa v oknu za vrata 1 prikaže profile polnjenja.

Če je na USB-C-vmesnik 2 priključena še ena naprava z USB -PD, se okno za vmesnik 2 zapolni na enak način.

Microchip MCP19061 PWM krmilnik

MCP19061 je visoko integriran, krmilnik mešanih signalov s štirimi stikali za buck-boost pretvorbo, ki deluje v območju od

+4,5 V do +36 V in v mirovanju prenese napetost do +42 V. V MCP19061 so bile vgrajene različne izboljšave, ki zagotavljajo združljivost z USB-PD standardom ob minimalnem številu zunanjih komponent, kar omogoča boljše kalibracijo, natančnost in prilagodljivost. Opremljen je z digitalnim PWM krmilnikom s serijskim komunikacijskim vodilom za zunanje programiranje in poročanje. Modulator uravnava pretok moči z nadzorovanjem dolžine vklopnih in izklopnih obdobij signala oziroma širine impulzov.

Delovanje vezja MCP19061 omogoča učinkovito pretvorbo energije, saj lahko deluje v topologijah buck (zniževanje napetosti), boost (povečanje napetosti) in buck-boost za različne napetostne ravni, ki so nižje, višje ali enake vhodni napetosti. Zagotavlja odlično natančnost in učinkovitost pri pretvorbi energije za ugnezdene sisteme, hkrati pa zmanjšuje izgube energije na minimum. Med njegove značilnosti spadajo nastavljive frekvence preklapljanja, vgrajeni MOSFET gonilniki in napredna zaščita pred napakami. Delovne parametre, stopnje zaščite in postopke obravnavanja napak nadzira lastniški avtomat stanja, shranjen v trajnem pomnilniku, v katerem so shranjeni tudi tekoči parametri.

Notranji digitalni registri skrbijo za prilagajanje obratovalnih parametrov, profilov zagona in zaustavitve, stopenj zaščite ter postopkov obravnavanja napak. Za nastavitev izhodnega toka in napetosti se uporablja vgrajena zelo natančna referenčna napetost. Notranji delilniki vhodnega in izhodnega signala olajšujejo načrtovanje ob ohranjanju visoke natančnosti. Zelo natančen

ojačevalnik za merjenje toka (CSA) omogoča natančno regulacijo in merjenje toka.

MCP19061 vsebuje tri notranje LDO napetostne regulatorje: 5 voltni LDO (VDD) za napajanje notranjih analognih vezij in gonilnikov vrat ter za zunanjo oskrbo z 5 V, 4 voltni LDO (AVDD) za napajanje notranjih analognih vezij in 1,8 voltni LDO za napajanje notranjih logičnih vezij. MCP19061 je vgrajen v 32 pin VQFN ohišje velikosti 5 mm x 5 mm, kar sistemskim oblikovalcem omogoča, da prilagodijo funkcije za posamezne aplikacije brez potrebe po dragem prostoru na plošči in dodatnih stroških za komponente. Serijsko vodilo I2C s hitrostjo 1 MHz omogoča komunikacijo med MCP19061 in sistemskim krmilnikom.

MCP19061 omogoča zunanje programiranje. Za nadaljnje preizkušanje in testiranje Microchip ponuja namensko testno ploščo za MCP19061, model EV82S16A.

Vir:

- 1: <https://www.microchip.com/en-us/tools-resources/reference-designs/dual-charging-port-demonstration-application>

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>



Okrepite svoje IoT vmesnike

Brezžična povezljivost v kombinaciji z naprednimi funkcijami dotika in grafike s PIC32-BZ6

Ustvarjajte pametnejše in hitreje z enim samim čipom. Družina PIC32-BZ6 mikrokontrolerjev poenostavlja razvoj povezanih izdelkov z vključitvijo brezžičnih, občutljivih na dotik, grafičnih, krmilnih in industrijskih vmesnikov v eno samo visoko zmogljivo integrirano vezje. Idealno za naprave v pametnih domovih, industriji, medicini in avtomobilski industriji; zmanjša število komponent, pospeši razvoj in zagotovi prihodnjo združljivost vaših projektov s podporo za Bluetooth®, Thread® in Matter.

- Samo eno integrirano vezje: brezžično + UI + nadzor v realnem času
- Bluetooth LE in 802.15.4 (Thread, Matter)
- Integriran kapacitivni vmesnik za dotik in krmilnik grafičnega zaslona
- Industrijski vmesniki: CAN-FD, USB, Ethernet
- 2 MB Flash in 512 KB RAM za komplekse aplikacije in OTA
- Poenostavi vašo arhitekturo, skrajša čas razvoja in zagotovi izjemne povezane izkušnje – vse to z enim integriranim vezjem



microchip.com/bluetooth-hmi



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. MEC2653A-SLO-06-26

Poenostavite fotovoltaične rešitve za napajanje brez priključitve na omrežje z vgrajenimi polnilniki/inverterji

DigiKey
Avtor: Rolf Horn

Rešitve za oskrbo z električno energijo brez priključitve na omrežje, ki temeljijo na fotovoltaičnih (PV) panelih z uporabo sledenja točke največje moči (MPPT), postajajo vse bolj priljubljene, saj uporabniki vse pogosteje prehajajo na alternativne vire energije.

Vendar je namestitev in konfiguracija teh sistemov zapletena. Kombinacija različnih možnosti zahteva več inverterjev in polnilnikov, kar povečuje stroške.

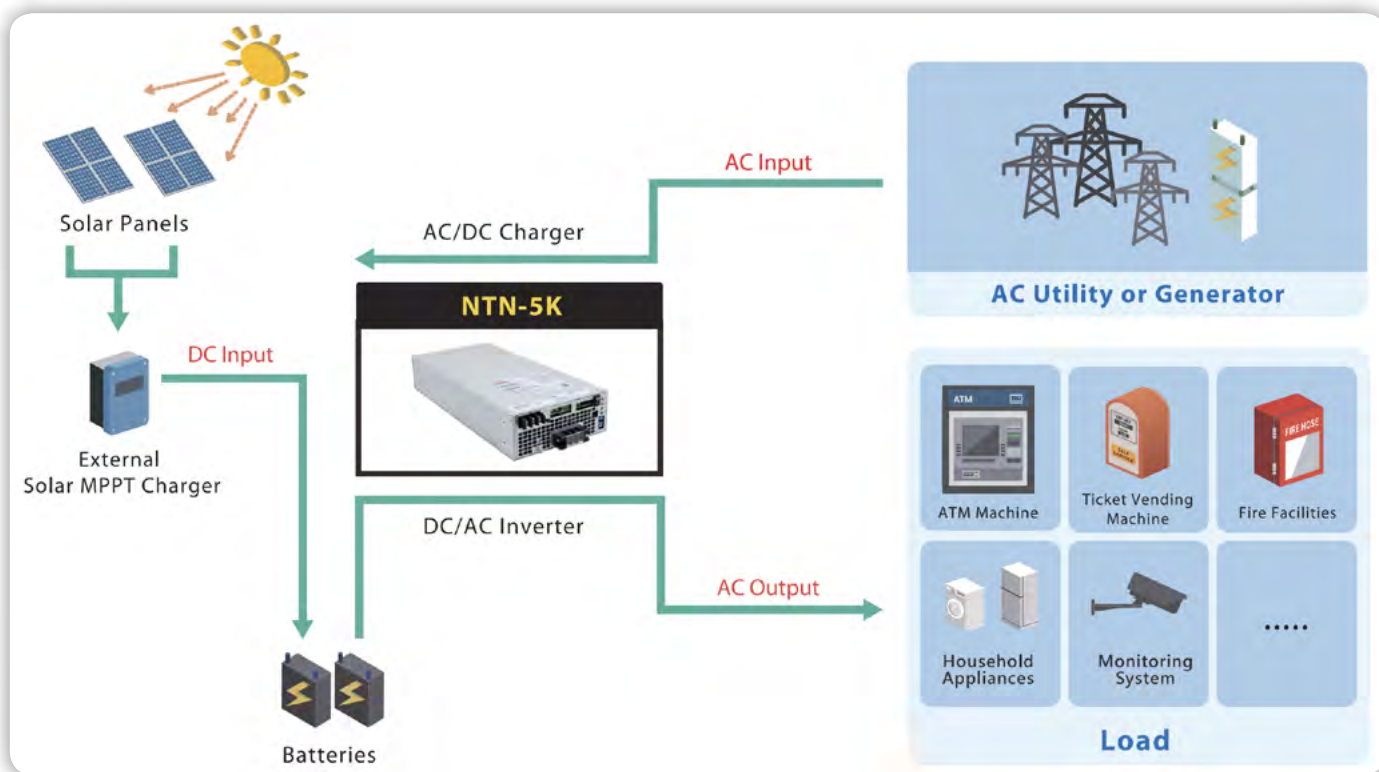
Razvijalci lahko zdaj poenostavijo in zmanjšajo stroške napajanja izven omrežja ter polnjenja baterij z uporabo ene same integrirane enote za AC/DC polnjenje, pretvorbo DC/AC in AC-obvodne enote.

V tem članku je na kratko predstavljena uporaba električne energije v sistemih brez priključitve na omrežje ter zapletenost polnjenja s pomočjo fotovoltaičnih panelov in MPPT regulatorjev. Nato so predstavljene integrirane enote podjetja MEAN WELL

[1], da se prikaže, kako lahko poenostavijo namestitev in delovanje ter hkrati zmanjšajo stroške. Na primeru uporabe v gospodinjstvu so prikazane prednosti uporabe integriranega izdelka.

Kaj je avtonomna napajalna rešitev (off-grid)?

Oskrba z električno energijo brez priključitve na omrežje postaja vse bolj priljubljena, saj se je tehnologija razvila do te mere, da so ti sistemi zanesljivi, energijsko in stroškovno učinkoviti, kar uporabnikom omogoča, da postanejo neodvisni od energetskih podjetij.



Slika 1: Prikazan je avtonomni elektroenergetski sistem, napajan s fotovoltaičnimi paneli, z rezervnim priključkom na omrežje izmenične napetosti. (Vir slike: MEAN WELL)

Kot že samo ime pove, se energija izven omrežja pridobiva iz virov, ki niso del javnega omrežja, običajno iz fotovoltaičnih panelov, ki sončno svetlobo pretvarjajo v električno energijo. Možna je tudi vetrna energija.

Za popolno avtonomijo omrežja sistemi, ki delujejo neodvisno od omrežja, zahtevajo več ključnih komponent:

- **Fotovoltaični paneli:** za pretvorbo sončne svetlobe v enosmerno napetost
- **Zunanji solarni MPPT polnilnik:** za optimizacijo pretoka energije v akumulatorje in s tem za čim večje shranjevanje energije
- **Baterije:** za shranjevanje energije, ki jo proizvajajo fotovoltaični paneli
- **DC/AC pretvornik:** za pretvorbo energije iz akumulatorja v izmeničnonapetost, potrebne za gospodinjske aparate

Čeprav si mnogi uporabniki prizadevajo za popolno energetska avtonomijo, se zavedajo, da fotovoltaični paneli morda ne bodo vedno proizvajali dovolj energije za vse njihove gospodinjske naprave, zato se bodo razumno zavarovali s priključitvijo na javno omrežje. Izmeničnanapetost iz omrežja se pretvori v enosmerno, da se napolni baterija (slika 1).

Avtonomni sistem, ki ni priključen na omrežje, je praktičen, vendar ga ni enostavno vzpostaviti. Nastavitev in vzdrževanje zahtevata pozornost, dodatna napajalna povezava za polnjenje baterij pa še poveča zapletenost sistema. Če predpostavimo, da so fotovoltaični paneli nameščeni v optimalnem položaju in pod najboljšim kotom ter da imajo baterije zadostno zmogljivost za shranjevanje dovolj energije za napajanje stanovanja v urah z omejenim ali ničelnim sončnim sevanjem, so zunanji sončni MPPT polnilnik, polnilnik AC/DC, pretvornik DC/AC in AC-obvod ključni elementi, ki določajo učinkovitost sistema.

Ena od nalog inverterja je pretvorba enosmerne napetosti, pridobljene iz sistema, ki ga sestavljajo fotovoltaični paneli in baterije, v izhodno napetost 230 voltov/50 hercev (Hz). Izdelek, kot je inverter MEAN WELL ISI-501-212B [2], sprejema 12-voltno enosmerno (VDC) vhodno napetost, hkrati pa

zagotavlja izhodno moč 450 vatov s pravo sinusno valovno obliko, s skupnim harmoničnim popačenjem (THD) <3 % in regulacijo izmenične napetosti ± 3 %.

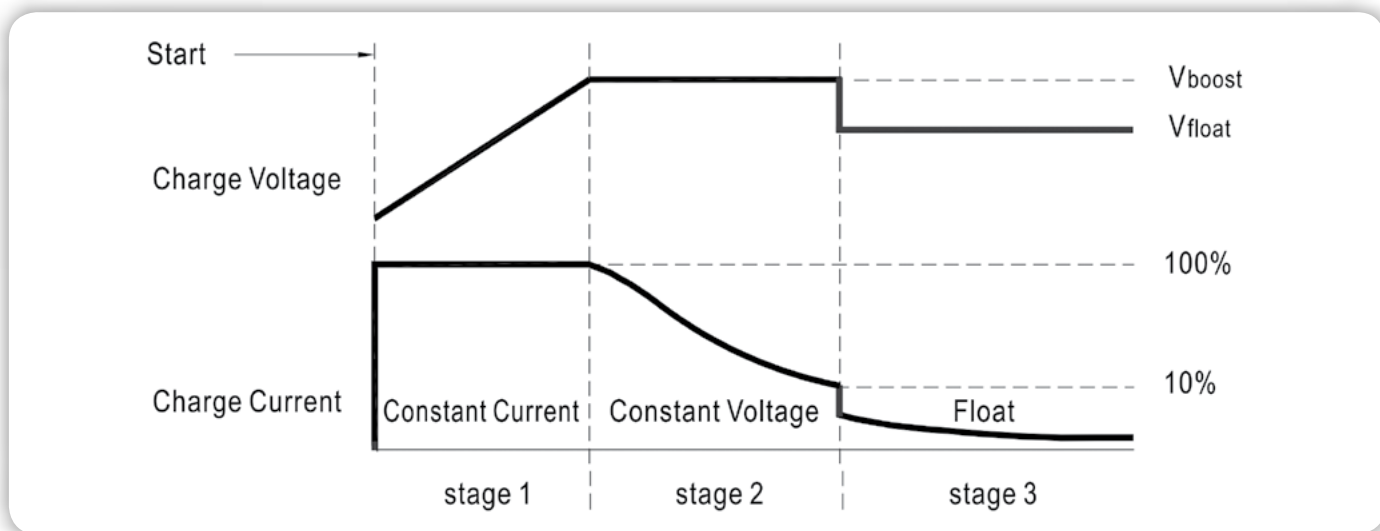
V konfiguraciji, prikazani na sliki 1, inverter deluje kot MPPT polnilnik, vključno s polnilnimi karakteristikami konstantnega toka in konstantne napetosti, ki jih zahtevajo svinčene baterije. Naprava MEAN WELL zagotavlja polnilni tok do 30 amperov (A) z MPPT napetostnim razponom od 25 do 50 voltov za polnjenje odprtih ali zaprtih svinčenih baterij.

Kaj je MPPT?

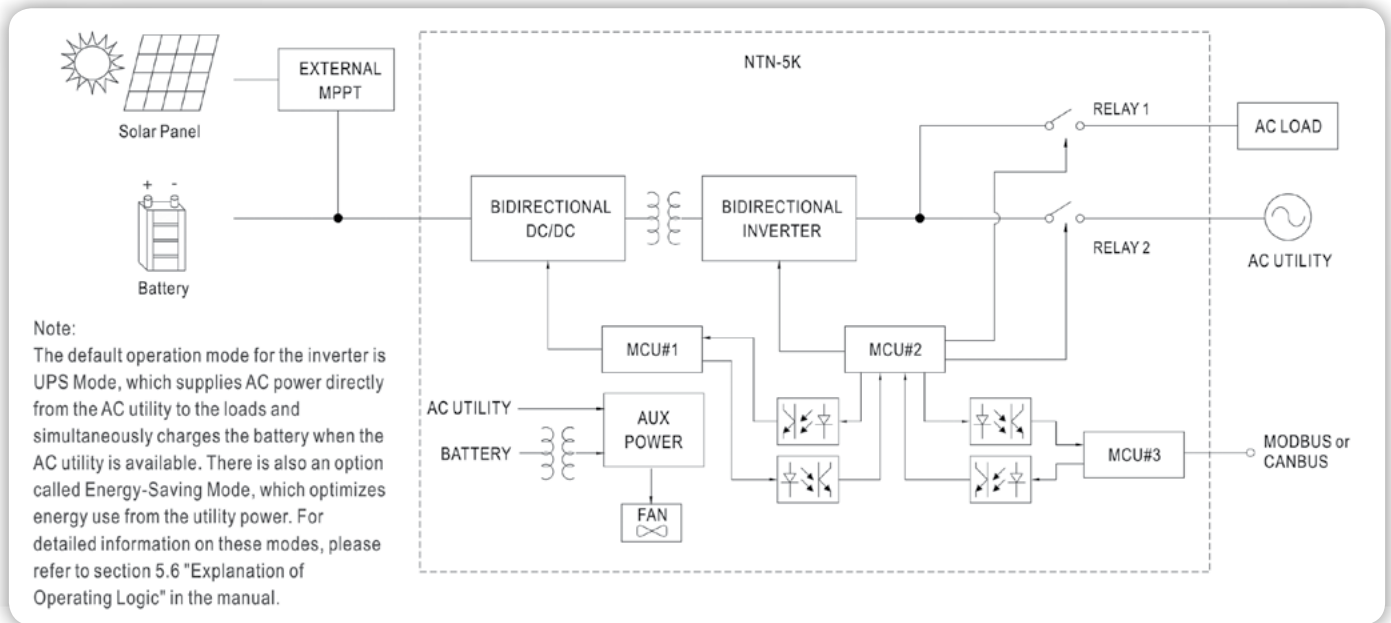
MPPT se uporablja pri spremenljivih virih energije, kot so fotovoltaični paneli, za doseganje čim večjega izkoristka energije ob spreminjajočih se pogojih. MPPT rešuje izzive, ki izhajajo iz dejstva, da se učinkovitost prenosa energije iz fotovoltaične celice spreminja glede na sončni tok, senčenje, temperaturo fotovoltaičnega panela in električne lastnosti obremenitve. Ko se ti pogoji spreminjajo, se spreminja tudi karakteristika obremenitve (impedanca), ki omogoča največji prenos moči. Sistem je optimiziran, ko karakteristika obremenitve ohranja prenos moči z najvišjo učinkovitostjo, kar je točka največje moči (MPP). MPPT je postopek prilaganja karakteristike obremenitve glede na spreminjajoče se pogoje, da se doseže MPP.

Večina sodobnih MPPT naprav zagotavlja izkoristek pretvorbe med 93 in 97 %. Naprava MEAN WELL ISI-501-212B ponuja tipični izkoristek pretvorbe 98 %.

Izhodna napetost iz MPPT polnilnika ISI-501-212B se uporablja za polnjenje baterij avtonomnega elektroenergetskega sistema z izkoriščanjem izhodne moči fotovoltaičnih panelov. To poteka po določenem profilu polnjenja s konstantnim tokom in konstantno napetostjo, ki uporablja tehnologijo MPPT za zagotovitev največje zmogljivosti baterije in povečanje števila ciklov polnjenja baterije (slika 2). V fazi vzdrževanja se baterija ohranja na skoraj polni ravni napolnjenosti, da se prepreči samopraznjenje.



Slika 2: Prikazan je profil polnjenja s konstantnim tokom in konstantno napetostjo, pri katerem se z uporabo MPPT optimizira zmogljivost akumulatorja in hkrati poveča število ciklov polnjenja akumulatorja. (Vir slike: MEAN WELL)



Slika 3: V stalno delujočem inverterju NTN-5K-248 se z mikrokontrolerji (MCU) ustvarja izhodni izmenična napetost s pravo sinusno valovno obliko in skupnim harmonskim popačenjem (THD) <3 %. (Vir slike: MEAN WELL)

Pomen izmeničnih napetosti s čisto sinusno valovno obliko.

Čeprav je MPPT polnilnik model ISI-501-212B ključnega pomena, je le en del avtonomnega napajalnega sistema. Na primer, za pretvorbo napetosti iz svinčevih ali litij-ionskih (Li-ion) baterij v izmenično napetost, ki jo zahtevajo gospodinjstvi aparati, je potrebna pretvorba iz enosmerne v izmenično napetost. Ti aparati morajo biti napajani z izmenično napetostjo s čisto sinusno valovno obliko, da se izognejo električnim težavam, kot je korekcija faktorja moči.

Za to DC/AC pretvornik uporablja vezje H-mosta in krmilna

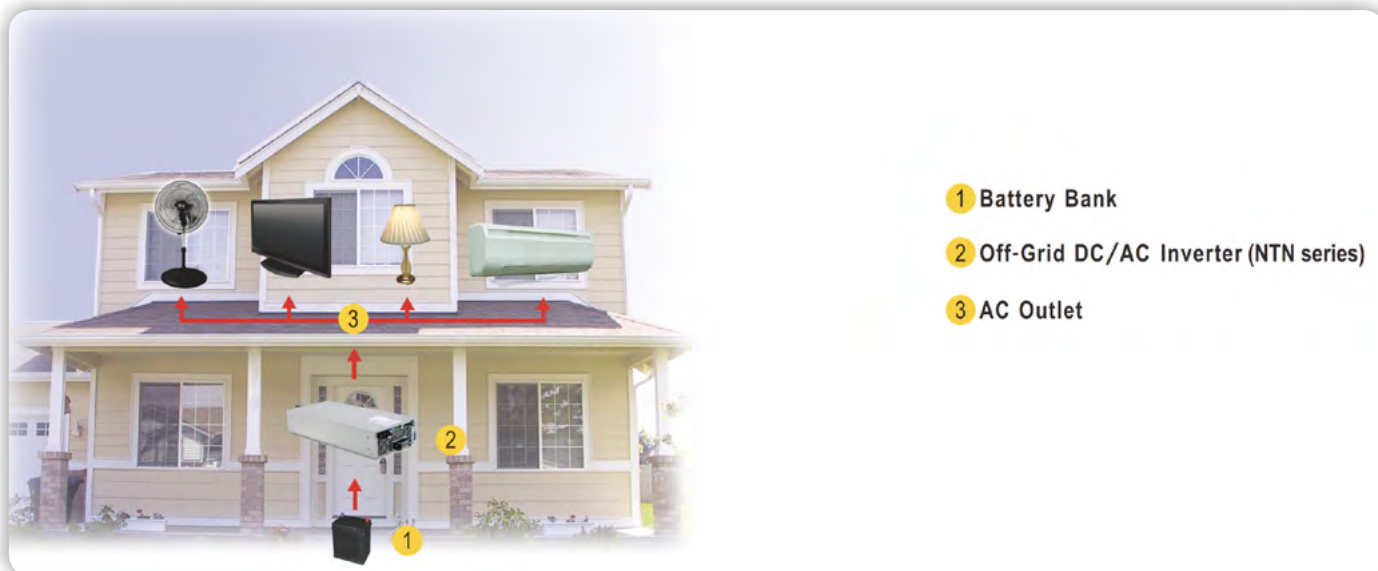
vezja, kot je pulzno širinska modulacija (PWM). Kombinacija H-mosta in PWM ustvari povprečno napetost, ki se približuje sinusnemu valu.

PWM običajno krmili en ali več mikrokontrolerjev (MCU), pri čemer se spreminja širina impulzov, da se ustvari povprečna napetost, ki tvori približno sinusnoobliko. Dodatno zmanjšanje harmoničnih popačenj je mogoče doseči s filtriranjem s tuljavo in kondenzatorjem (LC), ki izgleda potek valovne oblike in ustvari čistejši sinusni signal.

Na primer, stalno delujoč inverter NTN-5K-248 [3] podjetja MEAN WELL uporablja mikrokontrolerje za generiranje prave sinusne valovne oblike s THD <3 % (slika 3).



Slika 4: NTN-5K-2380 je avtonomni enosmerno-izmenični pretvornik z resnično sinusno valovno obliko, vgrajenim izmeničnim polnilnikom in funkcijo UPS (obvod za izmenično napetost). Pri vhodni napetosti 380 VDC zagotavlja neprekinjeno izhodno moč 5000 vatov in izhodno napetost 230 VAC. (Vir slike: MEAN WELL)



Slika 5: Prikazana je tipična uporaba modela NTN-5K v gospodinjstvu. (Vir slike: MEAN WELL)

Ena velikost za vse

Z uporabo fotovoltaičnih panelov, inverterja MEAN WELL ISI-501-212B in stalno delujočim inverterjem NTN-5K-248 lahko projektanti zgradijo popoln sistem, ki deluje neodvisno od omrežja, vendar stalno delujoč inverter ponuja še več. V okviru enega samega izdelka lahko razvijalec zagotovi polnjenje baterij iz izmenične v enosmerno napetost (AC/DC), pretvorbo iz enosmerne v izmenično napetost (DC/AC) za napajanje naprav ter enoto za obvoz izmenične napetosti (angl. AC bypass).

NTN-5K-248 zahteva 48-voltni vhod in proizvaja 230 V izhodno izmenično napetost (VAC). Zagotavlja neprekinjeno moč 5000 vatov z največjim izkoristkom 93 %. Je del serije MEAN WELL NTN-5K [4], ki obsega več različic. Na primer, NTN-5K-230 [5] je izjemno zanesljiv pretvornik brez omrežja, ki pretvarja enosmerno v izmenično napetost s pravo sinusno valovno obliko, ima vgrajen polnilnik izmenične napetosti in funkcijo UPS (obvod za izmenično napetost). Med njegove ključne značilnosti spadajo digitalna zasnova z upravljanjem prek mikrokontrolerja, poenostavljeno krmilno vezje, ki se hitro odziva na spremembe v okolju in izboljšuje zanesljivost, visokokakovosten ventilator z nizko hrupnostjo, neprekinjena izhodna moč 5000 vatov ter izhodna napetost 230 VAC pri vhodni napetosti 380 VDC. Največji izkoristek znaša 94,5 % (slika 4).

Serija NTN-5K je primerna za uporabo v stanovanjskih in poslovnih objektih, v pomorskem in avtomobilskem sektorju, v rudnikih, na gradbiščih ter na oddaljenih območjih brez dostopa do omrežnega napajanja (slika 5). Serija ima vgrajeno aktivno funkcijo porazdelitve toka, pri čemer je mogoče vzporedno priključiti do 6 enot, da se zagotovi večja izhodna moč izmenične napetosti.

Zaključek

Sistemi za oskrbo z električno energijo brez priključitve na omrežje so privlačni zaradi neodvisnosti, ki jo ponujajo. Vendar je namestitev in konfiguracija takšnih sistemov zapletena. Neprekinjen delujoč inverter podjetja

MEAN WELL je poenostavil in zmanjšal stroške oskrbe z električno energijo brez priključitve na omrežje ter polnjenja baterij z uporabo integrirane enote za polnjenje AC/DC, pretvorbo DC/AC in AC-obvoda. Primer tega je serija polnilnikov/inverterjev NTN-5K, ki opravljajo funkcije, potrebne za oskrbo gospodinjstev z električno energijo brez priključitve na omrežje in polnjenje baterij.

Viri:

- 1: <https://www.digikey.com/en/supplier-centers/mean-well>
- 2: <https://www.digikey.com/en/products/detail/mean-well-usa-inc/ISI-501-212B/7704701>
- 3: <https://www.digikey.com/en/products/detail/mean-well-usa-inc/NTN-5K-248/24390024>
- 4: <https://www.digikey.com/en/product-highlight/m/mean-well/ntn-5k-series-chargers-inverters>
- 5: <https://www.digikey.com/en/products/detail/mean-well-usa-inc/NTN-5K-2380/24390025>

<https://www.digikey.com>



TEMATIKE

- novice
- robotika
- avtomatizacija
- strojništvo
- primeri dobre prakse

NAROČNINA
4 revije na leto

TOČKA REVIJE
Poiščite brezplačno revijo v izbranih trgovinah!
<https://svet-me.si/tocke-revije/>

www.svet-me.si

revija@svet-me.si

01 549 14 00

Uvod v FPGA Arhitekturo (2)

Avtor: Klemen Bravhar
email: bravhar.klemen@gmail.com

Programabilna logična vezja oziroma v angleščini Field Programmable Gate Array (FPGA) so integrirana vezja, ki preko konfiguracijskega pomnilnika dinamično spreminjajo svojo digitalno strukturo in posledično vplivajo na obnašanje vhodno-izhodnih enot.

Za razliko od namenskih integriranih vezij (angl. Application-Specific Integrated Circuit (ASIC)), ki so ob proizvodnji fiksno določena, FPGA vezja omogočajo večkratno rekonfiguracijo tudi po končani proizvodnji, kar jih uvršča med najprilagodljivejše platforme za implementacijo digitalnih sistemov. Prav ta lastnost jih dela privlačne, tako za hitro prototipiranje, kot tudi za aplikacije, kjer so zahteve podvržene pogostim spremembam.

Arhitektura FPGA vezja temelji na različnih komponentah, ki so integrirane v silicijevo rezino in med seboj povezane preko programabilnih povezovalnih matrik. Slednje uporabniku omogočajo, da med konfiguracijo določi, kako so posamezne komponente med seboj logično povezane, s čimer se oblikuje zelena digitalna struktura. Kakovost in gostota povezovalnih matrik sta ključni lastnosti, ki vplivata na zmogljivost in fleksibilnost celotnega vezja.

Najbolj osnovni komponenti znotraj FPGA arhitekture sta iskalna tabela (angl. Look-Up Table (LUT)), preko katere v FPGA vezju realiziramo kombinacijske Boolove funkcije, ter sekvenčni elementi, kot je D-flip-flop, ki omogočajo shranjevanje stanja in implementacijo sekvenčne logike. Omenjeni komponenti sta po navadi združeni v logični blok, znan pod imenom angl. Configurable Logic Block (CLB) pri proizvajalcu Xilinx oziroma angl. Adaptive Logic Module (ALM) pri proizvajalcu Intel/Altera. Takšna zasnova omogoča visoko stopnjo vzporednega procesiranja, saj je na posamezni silicijevi rezini prisotnih lahko več deset tisoč tovrstnih logičnih blokov.

Z evolucijo FPGA vezij so razvijalci v silicijevo rezino začeli integrirati tudi druge specializirane komponente, ki jih uporabnik med razvojem uporablja za realizacijo kompleksnejših digitalnih struktur. Med najpogostejše sodijo blokovni pomnilnik (angl. Block RAM (BRAM)), ki omogoča učinkovito shranjevanje večjih količin podatkov neposredno znotraj vezja, digitalne procesne enote (angl. Digital Signal Processing (DSP)), ki so optimirane za izvajanje matematičnih operacij, kot so množenje in seštevanje, ter visokopretočni podatkovni vmesniki (angl. SERDES), ki omogočajo zanesljiv prenos podatkov pri visokih hitrostih med FPGA vezjem in zunanji napravami. Novejše generacije FPGA vezij vključujejo tudi trdo jedro procesorja (angl. Hard Processor System (HPS)), kot je ARM Cortex, ki v kombinaciji s programabilno logiko tvori t. i. heterogeni sistem na čipu (angl. System on Chip (SoC)), primeren za zahtevnejše vgrajene aplikacije.

Osrednja tema pričujočega članka je analiza dveh temeljnih gradnikov moderne FPGA arhitekture, iskalne tabele (LUT) in sekvenčnega elementa D-flip-flop (DFF), ki sta osnovni komponenti razvojnika FPGA digitalnih vezij. Poznavanje njunega delo-

vanja predstavlja osnovo za razumevanje sinteznega procesa, v katerem orodja za načrtovanje pretvorijo opis digitalnega sistema, zapisan v strojnem opisnem jeziku VHDL ali Verilog, v fizično implementacijo na programabilnem vezju. Ob predstavitvi posameznih komponent bomo najprej podali analitično rešitev, ki bo matematično opisala delovanje komponente, ter jo nato podprli s praktično implementacijo v strojnem opisnem jeziku VHDL.

LUT tabela

FPGA vezja se lahko na digitalnem nivoju prilagajajo uporabnikovim zahtevam in osrednji element, ki omogoča to prilagodljivost, je iskalna tabela (angl. Look-Up Table (LUT)), ki v kombinaciji s sekvenčnimi elementi tvori osnovno celico za procesiranje podatkov.

LUT je v bistvu majhen, ultra hiter statični pomnilnik (SRAM), ki omogoča realizacijo poljubne Boolove funkcije. Tipično arhitekturo definira k-vhodna LUT struktura (npr. LUT4, LUT5 ali LUT6), kjer je število razpoložljivih pomnilniških celic določeno z izrazom Enačba 1.

Vsaka kombinacija vhodnih signalov deluje kot naslov, ki v pomnilniku izbere natanko eno lokacijo, v kateri je shranjena izhodna vrednost funkcije. Zaradi te zasnove je zakasnitev skozi LUT konstantna, ne glede na to, kako kompleksno logično funkcijo implementiramo (dokler število vhodov ne preseže k). Za poljubno število vhodov lahko enačbo zapišemo v kompaktniji obliki vsote mintermov:

Enačba 1

$$q = \sum_{i=0}^{2^k-1} m_i \times p_{i+1}$$

Kjer je:

m_i : minterm, ki ustreza binarni kombinaciji vhodov za indeks i .
 p_{i+1} : vrednost, shranjena v i -ti pomnilniški celici.

Primer: LUT z dvema vhodoma

Za implementacijo logičnih operacij z dvema vhodnima krmilnima signaloma (C_1 in C_2) uporabimo **2-vhodni LUT** (LUT2), ki vsebuje $2^2=4$ pomnilniške lokacije (p_0, p_1, p_2, p_3), ki ga lahko opišemo z sledečo logično funkcijo:

Enačba 2

$$q = (\overline{C_1} \cdot \overline{C_2} \cdot p_0) \vee (\overline{C_1} \cdot C_2 \cdot p_1) \vee (C_1 \cdot \overline{C_2} \cdot p_2) \vee (C_1 \cdot C_2 \cdot p_3)$$

Kjer je:

c_1, c_2 : sta vhodna signala, ki delujeta kot naslovni liniji.

P_n : so fiksne vrednosti (0 ali 1), shranjene v konfiguracijskem pomnilniku.

\cdot, \vee, \bar{C} so operacije IN, ALI ter NE.

Logična funkcija ALI

Funkcija »ALI« vrne logično enico, če je vsaj eden izmed vhodov aktiven. Za konfiguracijo LUT v tem načinu morajo biti v pomnilniške lokacije zapisane naslednje vrednosti:

Konfiguracija: enačba 3

$$p_0 = 0, p_1 = 1, p_2 = 1, p_3 = 1$$

Pravilnostna tabela podpira ALI funkcijo, če parameter v Enačbi 2 zamenjamo z konfiguracijskimi konstantami dobimo sledečo enačbo: $q = C_1 \vee C_2$

C1	C2	Binarni naslov	Izhod LUT(q)	Lokacija
0 ₂	0 ₂	00 ₂	0 ₂	p_0
0 ₂	1 ₂	01 ₂	1 ₂	p_1
1 ₂	0 ₂	10 ₂	1 ₂	p_2
1 ₂	1 ₂	11 ₂	1 ₂	p_3

Tabela 1: Tabela prikazuje logično funkcionalost za ALI funkcijo

Naslednji primer je IN funkcija, ki vrne logično 1 samo v primeru ko sta oba vhoda hkrati aktivna. V tem primeru pomnilnik LUT tabele ima sledečo konfiguracijo:

Konfiguracija: enačba 4

$$p_0 = 0, p_1 = 0, p_2 = 0, p_3 = 1$$

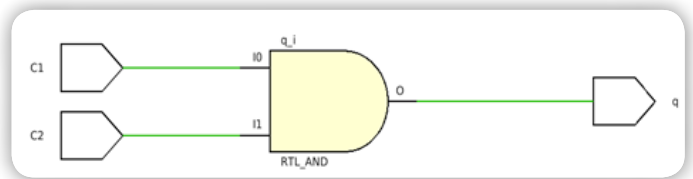
```

library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;

entity lut_and is
    port (
        C1 : in std_logic;
        C2 : in std_logic;
        q : out std_logic);
end entity lut_and;

architecture rtl of lut_and is
begin
    q <= C1 and C2;
end architecture;
    
```

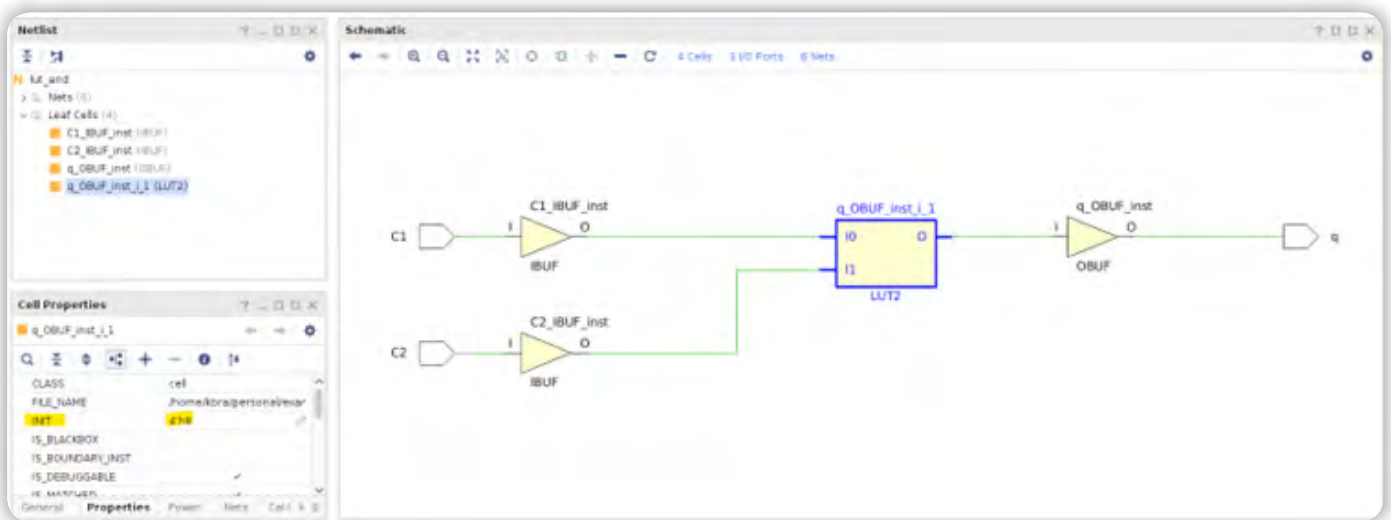
Slika 1: Prikazuje opis logične funkcije v VHDL jeziku na način z logičnimi operacijami



Slika 2: Vizualni prikaz RTL sheme logične funkcije, opisane v strojnem opisnem jeziku VHDL Slika 1, ustvarjene s pomočjo orodja Vivado AMD.

C1	C2	Binarni naslov	Izhod LUT(q)	Lokacija
0 ₂	0 ₂	00 ₂	0 ₂	p_0
0 ₂	1 ₂	01 ₂	0 ₂	p_1
1 ₂	0 ₂	10 ₂	0 ₂	p_2
1 ₂	1 ₂	11 ₂	1 ₂	p_3

Tabela 2: Tabela prikazuje logično funkcionalost za IN funkcijo



Slika 3: Prikazuje sintezo digitalnega vezja Slika 1, opisanega v strojnem opisnem jeziku VHDL. Rumeno označeno polje prikazuje vrednosti pomnilniških lokacij znotraj LUT komponente, kjer vrednost 8 pomeni, da je aktivna pomnilniška lokacija p_3 , medtem ko vse ostale pomnilniške lokacije vsebujejo vrednost 0 ($p_3 = '1', p_2 = '0', p_1 = '0', p_0 = '0'$). Ta konfiguracija ustreza logični funkciji, pri kateri LUT vrne logično enico izključno takrat, ko sta oba vhodna signala hkrati aktivna, kar je skladno z delovanjem logične funkcije IN, opisane v prejšnjem poglavju

Vpeljava parametrov p_n v Enačbo 2 na poenostavi enačbo, ki opiše logično funkcijo IN v enačbo: $q=C_1*C_2$. Glej tabelo 2.

V sodobnih FPGA arhitekturah, ki temeljijo na naprednejših polprevodniških tehnologijah, prevladujejo LUT strukture s štirimi ali šestimi krmilnimi vhodi. Število potrebnih pomnilniških celic je določeno z izrazom 2^k , kar za LUT4 znaša $2_4=16$ pomnilniških celic in za LUT6 $2^6=64$ pomnilniških celic.

```

library ieee;
use ieee.std_logic_1164 all;

entity lut_and is
  port (
    C1 : in std_logic;
    C2 : in std_logic;
    q : out std_logic);
end entity lut_and;

architecture rtl of lut_and is
begin
  p_and : process(C1, C2)
  begin
    if (C1 = '0' and C2 = '0') then
      q <= '0';
    elsif (C1 = '1' and C2 = '0') then
      q <= '0';
    elsif (C1 = '0' and C2 = '1') then
      q <= '0';
    elsif (C1 = '1' and C2 = '1') then
      q <= '1';
    else
      q <= '0';
    end if;
  end process p_and;
end architecture;

```

Slika 4: Prikazuje opis logične funkcije v VHDL jeziku na način z processnim stavkom

Uporabo LUT tabele v strojnem opisnem jeziku VHDL lahko realiziramo na dva načina. Prvi pristop temelji na stavku process, znotraj katerega z uporabo pogojnih stavkov (kot sta if-else ali case) opišemo željeno logično funkcijo, sintezno orodje pa iz tega opisa samodejno generira ustrezno LUT

konfiguracijo. Drugi pristop pa temelji na neposrednem opisu kombinatorne logike, kjer željeno Boolovo funkcijo zapišemo kot logični izraz z operatorji AND, OR in NOT neposredno v arhitekturnem telesu. Oba pristopa sta funkcionalno enakovredna, saj sintezno orodje v obeh primerih generira identično LUT konfiguracijo, razlikujeta pa se predvsem v preglednosti in berljivosti kode.

Kot je razvidno s Slike 1 in Slike 2, sta prikazana dva različna pristopa opisa iste logične funkcije v strojnem opisnem jeziku VHDL. Kljub razliki v načinu opisa, bodisi z uporabo stavka process bodisi z neposrednim zapisom kombinatorne logike, sintezno orodje oba opisa pretvori v identično RTL shemo. To nazorno potrjuje, da je končni rezultat sinteze neodvisen od izbranega sloga pisanja kode, temveč je odvisen izključno od opisane funkcionalnosti. Razlika med pristopoma se tako kaže predvsem v preglednosti, berljivosti in vzdržljivosti kode, kar postane še posebej pomembno pri načrtovanju kompleksnejših digitalnih sistemov.

Sekvenčna vezja

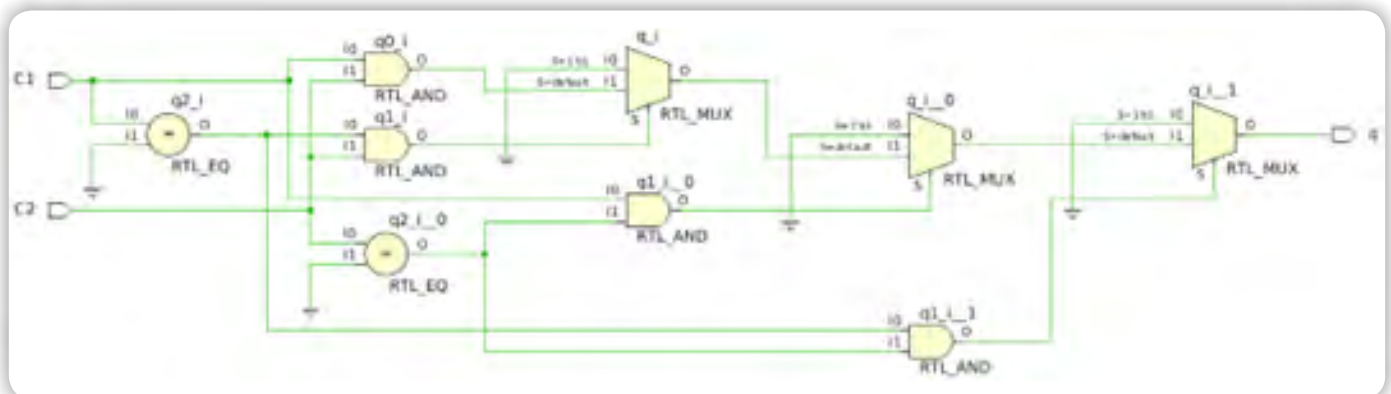
Poleg kombinatorne logike vsak logični blok FPGA običajno vsebuje tudi sekvenčni element, najpogosteje v obliki D-flip-flop celice. Ta omogoča sinhrono shranjevanje podatkov glede na rob signala ure in s tem realizacijo registrov, števec, avtomatov stanja ter drugih sinhronih struktur. Kombinacija LUT in D-flip-flopa znotraj istega logičnega bloka omogoča učinkovito implementacijo tako kombinatornih kot sekvenčnih delov digitalnega sistema.

Sekvenčna vezja so ključna pri časovno sinhronizirani implementaciji več funkcionalnosti v eni strojni komponenti. Omogočajo, da se izhodi različnih logičnih funkcij uskladijo glede na uro oziroma krmilne signale, kar omogoča njihovo združevanje brez motenj ali napačnih izhodov.

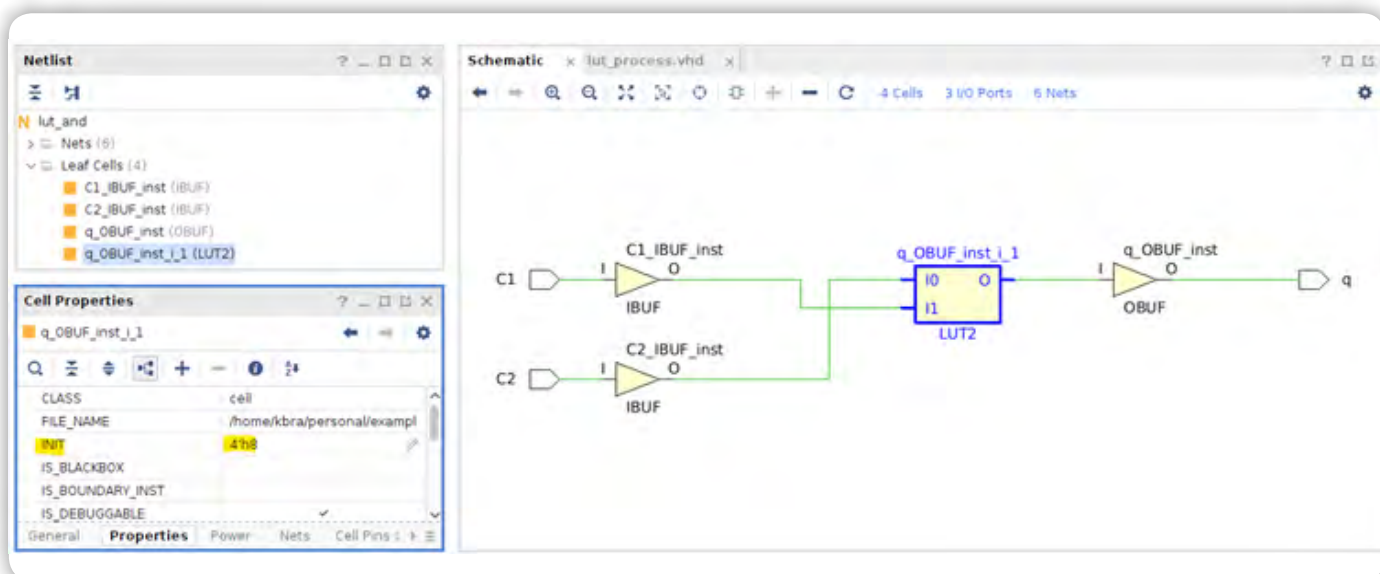
Pri združevanju dveh funkcionalnosti v eno se sekvenčna vezja uporabljajo za:

Uskladitev časovnega nastopa izhodov – vsak izhod funkcije je lahko generiran ob različnih časovnih trenutkih. Sekvenčni elementi (npr. flip-flopi ali registri) omogočajo, da se ti izhodi sinhronizirajo s skupnim uro signalom.

Preprečevanje hazardov in meta-stabilnosti – z uporabo



Slika 5: Vizualni prikaz RTL sheme logične funkcije, opisane v strojnem opisnem jeziku VHDL Slika 4, ustvarjene s pomočjo orodja Vivado AMD.



Slika 6: Prikazuje sintezo digitalnega vezja Slika 4, opisanega v strojnem opisnem jeziku VHDL. Rumeno označeno polje prikazuje vrednosti pomnilniških lokacij znotraj LUT komponente, kjer vrednost 8 pomeni, da je aktivna pomnilniška lokacija p3, medtem ko vse ostale pomnilniške lokacije vsebujejo vrednost 0 ($p_3 = '1'$, $p_2 = '0'$, $p_1 = '0'$, $p_0 = '0'$). Ta konfiguracija ustreza logični funkciji, pri kateri LUT vrne logično enico izključno takrat, ko sta oba vhodna signala hkrati aktivna, kar je skladno z delovanjem logične funkcije IN , opisane v prejšnjem poglavju.

sekvenčnih členov se zmanjša možnost, da bi nepredvideni prehodi ali zamude v logičnih signalih povzročile napačen rezultat pri združevanju.

Enostavna kombinacija funkcionalnosti – ko so izhodi časovno usklajeni, jih je mogoče združiti s preprostimi kombinacijami logičnih funkcij, kar poenostavi zasnovo in poveča zanesljivost.

Na praktičnem primeru si lahko zamislimo LUT, ki generira dve različni logični funkciji, npr. »ALI« in »IN«. Če želimo izhod obeh funkcij združiti, bi brez sekvenčnih elementov lahko prišlo do neskladij, saj se spremembe na vhodih LUT ne pojavijo hkrati na izhodih. Z uporabo sekvenčnih vezij se izhoda obeh

```

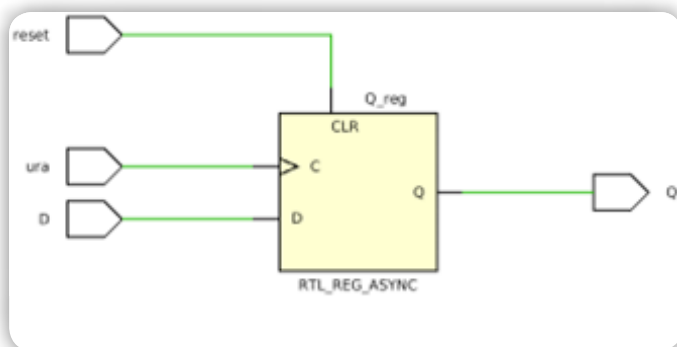
library ieee;
use ieee.std_logic_1164.all;

entity dff is
  port (
    ura : in std_logic;
    reset : in std_logic;
    D : in std_logic;
    Q : out std_logic);
end entity dff;

architecture rtl of dff is
begin
  p_DFF : process(reset, ura)
  begin
    if (reset = '1') then
      Q <= '0';
    elsif rising_edge(ura) then
      Q <= D;
    end if;
  end process p_DFF;
end architecture;

```

Slika 7: Opis sekvenčnega vezja v VHDL jeziku

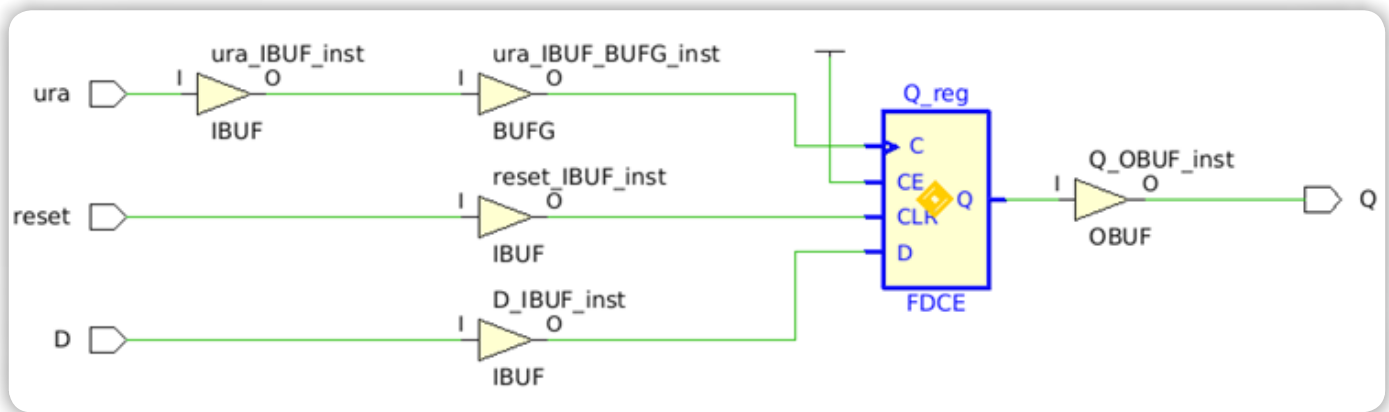


Slika 8: Vizualni prikaz RTL sheme sekvenčne funkcije, opisane v strojnem opisnem jeziku VHDL Slika 7, ustvarjene s pomočjo orodja Vivado AMD.

funkcij sinhronizirata glede na uro, kar omogoča njihovo varno kombinacijo v eno funkcijo, npr. za nadaljnjo logično obdelavo ali krmiljenje.

DFF vezje ima navadno dva vhodna priključka, to sta podatkovni vhod D in vhod ure CLK, ter en izhodni priključek Q. To pomeni, da se bo vrednost podatkovnega vhoda D preslikala na izhod Q ob vsakem pozitivnem ali negativnem robu takta ure, odvisno od tipa DFF vezja, kjer se bo vrednost ohranila za eno periodo takta ure. Poleg že omenjenih vhodov ima lahko DFF vezje tudi vhod Reset, ki ob aktivnem stanju izhod Q ponastavi na logično vrednost 0.

Spodnje slike prikazujejo postopek implementacije DFF vezja v strojnem opisnem jeziku VHDL. V vrstici, kjer se nahaja ukaz »rising_edge(ura)«, definiramo, da je trenutni stavek process sekvenčne narave in ne kombinatorne, kot smo uporabili v primeru na Sliki 4. Poleg tega ima opisano sekvenčno vezje asinhroni reset, kar pomeni, da se bo izhod Q ponastavil takoj, ko bo vhod Reset aktiven, neodvisno od signala ure.



Slika 9: prikazuje RTL shemo sekvenčnega vezja D-flip-flop, opisanega v strojnem opisnem jeziku VHDL Slika 7. Shema je bila ustvarjena s pomočjo orodja Vivado AMD, ki po uspešni sintezi samodejno generira grafični prikaz vezja na registrskem nivoju. (FDCE – je poimenovanje sekvenčnega vezja v Vivado AMD orodju)

Združena logična in sekvenčna funkcionalnost

Sedaj, ko poznamo način opisa kombinatorne logike in sekvenčne funkcionalnosti v strojnem opisnem jeziku VHDL, lahko naredimo korak naprej ter oba pristopa združimo v enem digitalnem vezju oziroma eni VHDL opisni datoteki. Opisani projekt bo vseboval že predstavljeno logično funkcijo »IN«, ki bo služila kot kombinatorni del vezja, tej pa bo sledila sekvenčna stopnja, realizirana z vezjem D-flip-flop. Takšna zasnova je v praksi zelo pogosta, saj večina realnih digitalnih sistemov združuje tako kombinatorno logiko za procesiranje podatkov kot sekvenčne elemente za shranjevanje stanja in sinhronizacijo signalov.

Zaključek

Sedaj, ko smo osvojili osnove načrtovanja digitalnih vezij za FPGA v jeziku VHDL, kot so osnovna logična vrata, osnovne aritmetične operacije ter enostavna sekvenčna vezja, lahko nadaljujemo z bolj kompleksnimi in naprednimi digitalnimi vezji. V nadaljevanju bomo spoznali seštevnik in odštevalnik, ki predstavljajo temeljne gradnike aritmetično-logičnih enot (ALE), preklopne avtomate (angl. *Finite State Machine* – FSM), ki so ključni pri načrtovanju krmilnih vezij in protokolov, pomikalne registre (levo in desno), ki se pogosto uporabljajo pri serijski komunikaciji in obdelavi podatkov, ter mnoga druga napredna vezja. Vsa ta vezja bomo načrtovali v jeziku VHDL, jih simulirali ter implementirali na razvojni plošči s tehnologijo FPGA, kar nam bo omogočilo praktično razumevanje in poglobljeno znanje s področja digitalnega načrtovanja.

Toda načrtovanje FPGA vezij se ne ustavi samo pri jeziku VHDL. Podobno kot pri načrtovanju tiskanega vezja (PCB), kjer moramo poleg shematike obvladati tudi postavitev komponent, usmerjanje signalov ter električne lastnosti vezja, moramo tudi pri načrtovanju FPGA vezij obvladati uporabo t.i. Constraintov (omejitvev). Constrainti so datoteke, najpogosteje v formatu XDC (Xilinx Design Constraints), v katerih podrobno opišemo naše vezje in s tem natančno definiramo

```

library ieee;
use ieee std_logic_1164 all;

entity and_dff is
  port (
    ura : in std_logic;
    reset : in std_logic;
    C1 : in std_logic;
    C2 : in std_logic;
    Q : out std_logic);
end entity and_dff;

architecture rtl of and_dff is
  signal D : std_logic;
begin

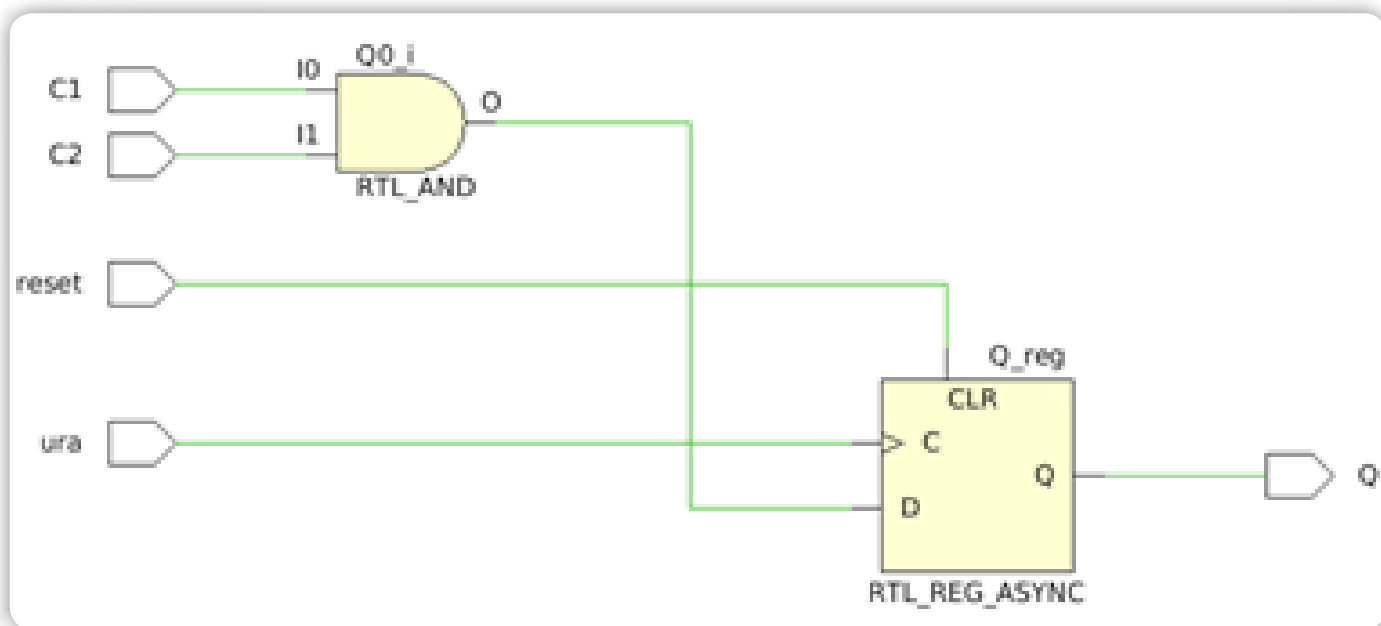
  D <= C1 and C2;

  p_DFF : process(reset, ura)
  begin
    if (reset = '1') then
      Q <= '0';
    elsif rising_edge(ura) then
      Q <= D;
    end if;
  end process p_DFF;
end architecture;

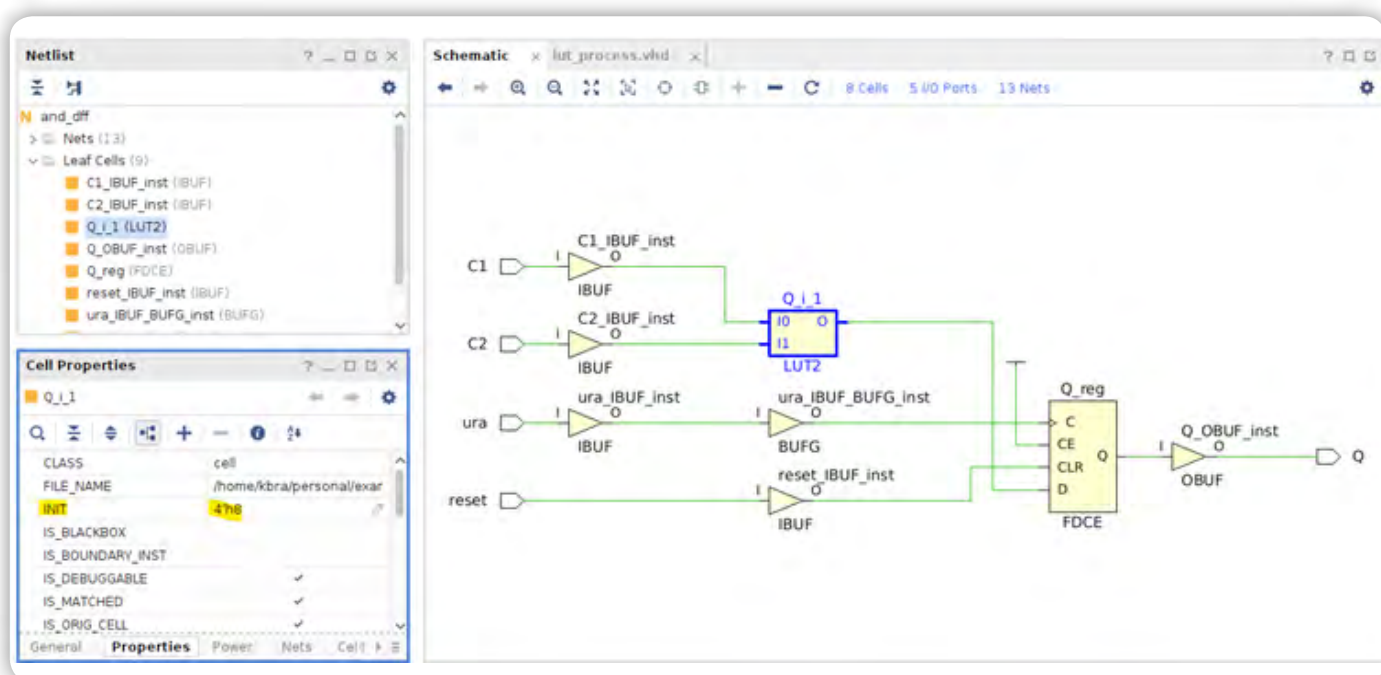
```

Slika 10: Opis kombinatornega vezja skupaj z sekvenčnim vezjem v VHDL jeziku

njegovo delovanje. V njih določimo dodelitev fizičnih priključkov (angl. *Pin Assignment*), kjer povežemo logične signale iz VHDL kode z dejanskimi fizičnimi priključki na FPGA čipu, časovne omejitve (angl. *Timing Constraints*), ki zagotavljajo pravilno delovanje vezja pri željeni taktni frekvenci, ter električne lastnosti priključkov, kot so napetostni nivoji in standardni vmesniki (npr. LVCMOS, LVDS). Brez pravilno nastavljenih Constraintov orodje za sintezo in implementacijo ne



Slika 11: Vizualni prikaz RTL sheme logične funkcije in sekvenčnega vezja, opisane v strojnem opisnem jeziku VHDL Slika 7, ustvarjene s pomočjo orodja Vivado AMD.



Slika 12: Prikazuje sintetizirano vezje, opisano na Sliki 10. Kot je razvidno z rumeno označenim, je logična funkcionalnost identična zgoraj navedenim primerom funkcionalnostim IN, ki ji sledi sekvenčno vezje (FDCE – poimenovanje sekvenčnega elementa v orodju Vivado podjetja AMD).

more zagotoviti pravilnega in zanesljivega delovanja našega vezja na fizičnem FPGA integriranemu vezju, zato je njihovo poznavanje ključnega pomena za vsakega načrtovalca digitalnih vezij.

Načrtovanje digitalnih vezij za FPGA platformo je široko in fascinantno področje, ki združuje teoretično znanje digitalnih sistemov s praktičnimi veščinami načrtovanja in implementacije. V tem članku smo spoznali, da uspešno načrtovanje ne zahteva le obvladovanja jezika VHDL, temveč tudi poznavanje orodij za

sintezo. Prav kombinacija vseh teh znanj in veščin načrtovalca digitalnih vezij loči od izkušenega inženirja, ki je sposoben načrtovati kompleksne in zanesljive digitalne sisteme. Področje FPGA načrtovanja se nenehno razvija in napreduje, saj proizvajalci kot sta AMD (Xilinx) in Intel (Altera) neprestano izboljšujejo svoje platforme in orodja, kar odpira nove možnosti na področjih kot so umetna inteligenca, obdelava signalov, telekomunikacije ter vesoljska in obrambna industrija. Upamo, da vam je ta članek služil kot koristen uvod in spodbuda za nadaljnje raziskovanje tega zanimivega in perspektivnega področja.

Simulator EZNECPro in HF antene (3. del)

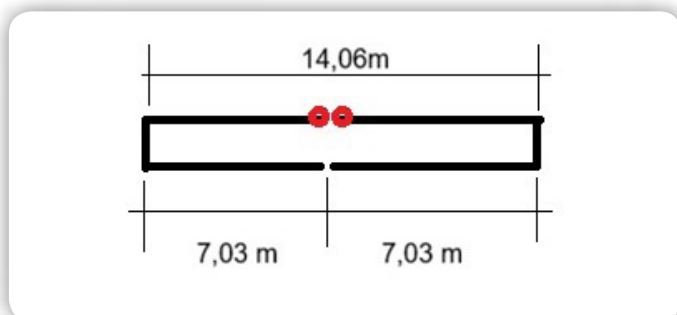
Avtor: Boštjan Tovšak
email: tovsakb@gmail.com

Pred desetletji se je na TV vrtela reklama za avtomobil, kjer je zaradi njegove bogate opreme bilo govora o tem, kaj še sploh ostane velikim.

Ko ste omejeni s prostorom postavitve antene

Če se malo pošalimo, bi mogoče lahko tudi majhne antene na HF področju imele vsaj nekaj, kar imajo velike. Ampak, velike so velike in bodo ostale velike. So pa majhne HF antene lahko vseeno zanimive. Če ne toliko zaradi lastnosti, pa zaradi manjših dimenzij in posledično manjše potrebe po »bogatih« gabaritih.

V preteklih številkah revije SE smo se naučili osnov dela s programskim orodjem za simulacijo delovanja anten, EznecPro. Sedaj je čas, da preizkusimo še kaj več.



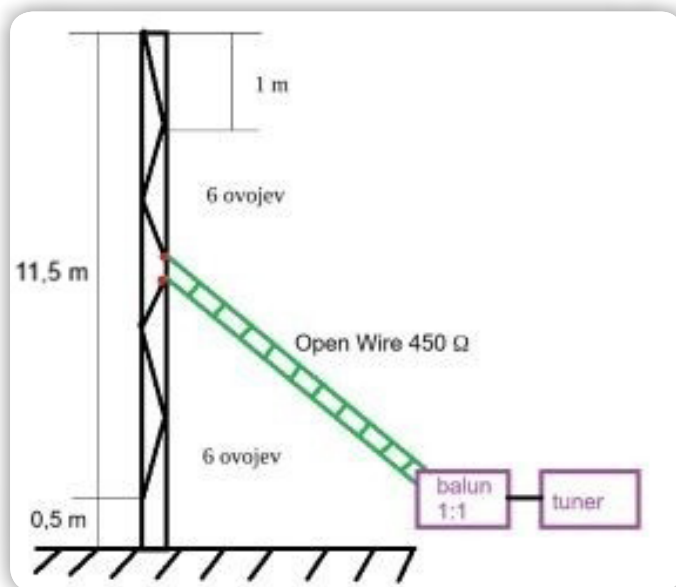
Slika 1: Linearno obremenjen zavihan dipol, razdalja med obema polovicama za naš primer 1 cm

Urednik revije Jure, je podal idejo za simulacijo linearno napajanega dipola, izdelanega iz dvožilnega bakrenega kabla za zvočnike (Φ 3mm) in za dodatek, da bo čtiva na temo dovolj, še simulacijo vertikalne večpasovne 12 metrske antene.

Poudarek bo predvsem na sevalnem diagramu obeh anten, primerjavi med njima in uporabnosti za področje valovnih dolžin 40 m. Potrebno je osnovno znanje iz simulacij in kreiranja modelov v simulatorju EznecPro, opisano v predhodnih številkah SE. Ker nisem radioamater, sem podatke o zahtevanih DX in NVIS elevacijah črpal s spleta.

Linearno obremenjen (linear loaded dipol) zavihan dipol

Izdelava antene je opisana na Youtube kanalu z naslovom *Small Cheap Linear Loaded 80 m Dipole*, povezavo pa najdete v QR kodi na koncu članka. Osnovna poanta je, da celotno dolžino antene (žice), upognemo na dva simetrična dela. Dolžina



Slika 2: Skica večpasovnega vertikalnega HF dipola (ni v merilu)

antene (razpetina) je skrajšana za približno $0,7 \times \lambda/2$ in ima simetrično zavihane krake (slika 1). Razpetino antene smo na tak način skrajšali, hkrati pa smo jo električno podaljšali za isto resonančno frekvenco. Upognjena dela delujeta kot dodatno induktivno breme (medsebojni vpliv žic).

Odločil sem se za simulacijo za 40 metrsko področje (7,1 MHz, skupna dolžina žice naj bi po priporočilih bila cca. $2 \times 14,06$ m, žici sta tesno skupaj). Ti dipoli imajo nizko impedanco in potrebujejo balun.

Če uporabimo prej omenjeno dvožilno, bakreno žico zvočnikov ($2 \times 1,5$ mm²), sta obe žici že konstrukcijsko povezni z izolatorjem in ni dodatnega dela z izdelavo objemk za žici. Odrežemo dolžino 14,06 m (uporabimo dimenzije iz Tabele 1). konce spojimo. Eno žico na sredini prekinemo, sredino druge uporabimo za

Področje	Frekvenca (MHz)	Dolžina (m)
10 m	28.5	3.50 m
12 m	24.9	4.00 m
15 m	21.1	4.73 m
17 m	18.1	5.51 m
20 m	14.1	7.08 m
30 m	10.1	9.89 m
40 m	7.1	14.06 m
80 m	3.6	27.74 m
160 m	1.85	53.97 m

Tabela 1: Priporočene dolžine za anteno (celotna razpetina antene, zgornja polovica). Vir: splet

Wires														
No.	End 1				End 2				Diameter (mm)	Segs	Wire Loss			
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Conn	X (m)	Y (m)	Z (m)	Conn			R (ohm-m)	Perm	Type	
1	-6,7	0	20	W2E1	6,7	0	20	W4E1	1,38	7	1,74E-08	1	Copper	
2	-6,7	0	20	W1E1	-6,7	0	19,99	W3E1	1,38	1	1,74E-08	1	Copper	
3	-6,7	0	19,99	W2E2	-1,2	0	19,99		1,38	4	1,74E-08	1	Copper	
4	6,7	0	20	W1E2	6,7	0	19,99	W5E1	1,38	1	1,74E-08	1	Copper	
5	6,7	0	19,99	W4E2	1,2	0	19,99		1,38	4	1,74E-08	1	Copper	

Slika 3: Tabela s koordinatami v EznePro

napajanje. V simulaciji smo omejeni z minimalnim razmikom med vodnikoma, zato natančnih mer razmika omenjenega kabla ne moremo upoštevati. Uporabili bomo čim boljši približek.

Vertikalni večpasovni HF dipol višine 12 m

Tudi za ta dipol na spletu obstajajo navodila na <https://www.dj0ip.de/vertical-antennas/simple-multi-band-vertical/>. Avtor je izdelal anteno za pasovna področja 10/12/15/17/20/30/40 in 80 m. Je neresonančna antena.



Avtor izhaja iz teorije delovanja anten in dveh trditvev:

- Antena mora biti resonančna, da je učinkovita
- Kratke HF antene niso zelo učinkovite (imajo prenizke impedance)

Antena je napajana v centru s t.i. *Open Wire* vodnikom (450 Ω, minimalne izgube). Cena tega vodnika je okoli 2,5/€. Konec spodnjega kraka antene je 0,5 m nad tlemi. Vodnika dipol antene sta ovita v spirali na okroglem drogu dolžine 12 m. Vsak

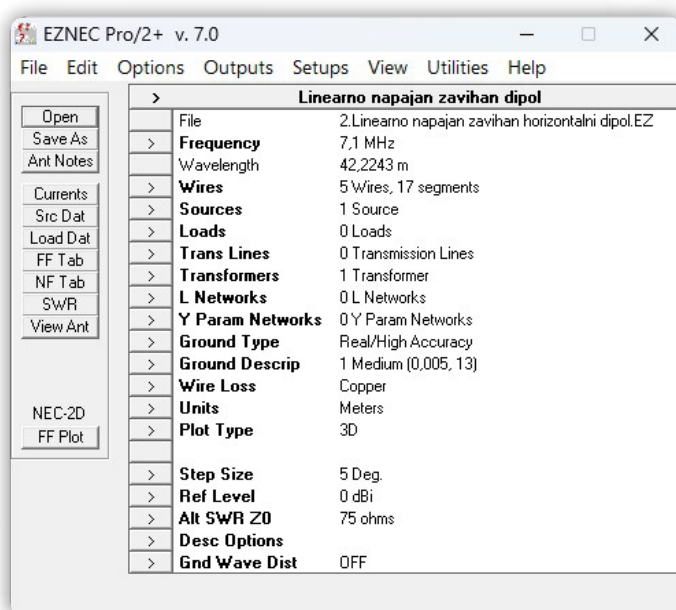
krak dipola ima 6 ovojev, razmak med ovoji je cca. 1 m (slika 2). Fizična dolžine žice antene je 2 x 6 m. Obvezna je uporaba antenskega tunerja. Kot med napajalno linijo *Open Wire* in tlemi naj ne bi bil manjši od 45°.

V primeru slabega sprejema ali „prasketanja“ v impedančnem pretvorniku pri posameznem valovnem področju, avtor priporoča podaljševanje *Open Wire* linije v korakih po dolžinah $\lambda/8$.

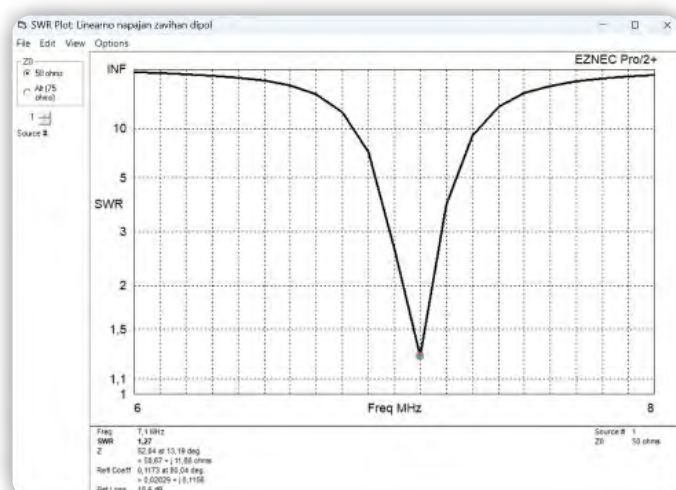
Simulacijski model za linearno obremenjen dipol (področje 40 m)

Model antene kreiramo podobno kot za navadni polvalovni dipol. Narišemo eno ravno črto dolžine 14,06 m, nato pa dodamo še dva zavijka po 7,03 m. Vseh narisanih delov antene je tako pet: en glavni, dva vertikalna kratka stranska in dva simetrična vzporedna proti centru (slika 3 s korigiranimi vrednostmi). Zaradi omejitve minimalnega razmika med vodnikoma v simulaciji, smo določili še dopustno razdaljo med vodnikoma 1 cm.

Izračun je podan za anteno na višini 20 m. Pri izračunu SWR model močno odstopa in se nahaja v področju 9 in več. Izračun



Slika 4: Okno z vhodnimi parametri simulacije



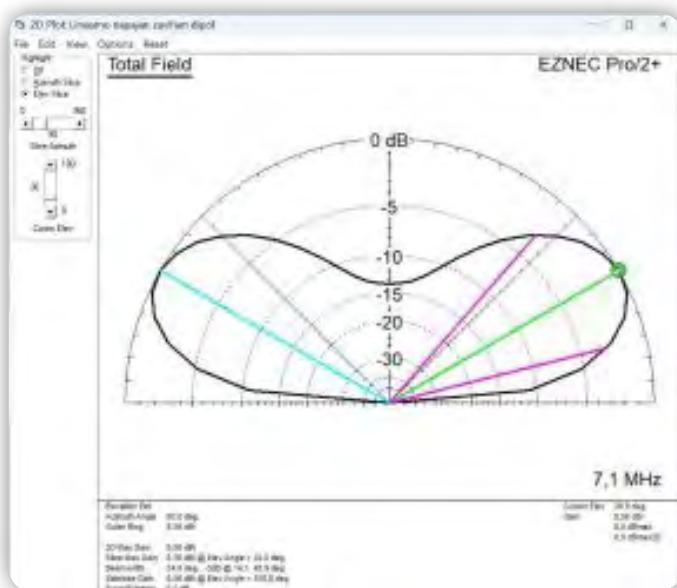
Slika 5: SWR za 7,1 MHz z balunom

impedance pri 7,1 MHz je pokazal močno pozitivno reaktanco, kar je znak, da je antena za to frekvenco (in definirano dolžino) električno predolga. Nizka je bila tudi impedanca in sicer 20 Ω.

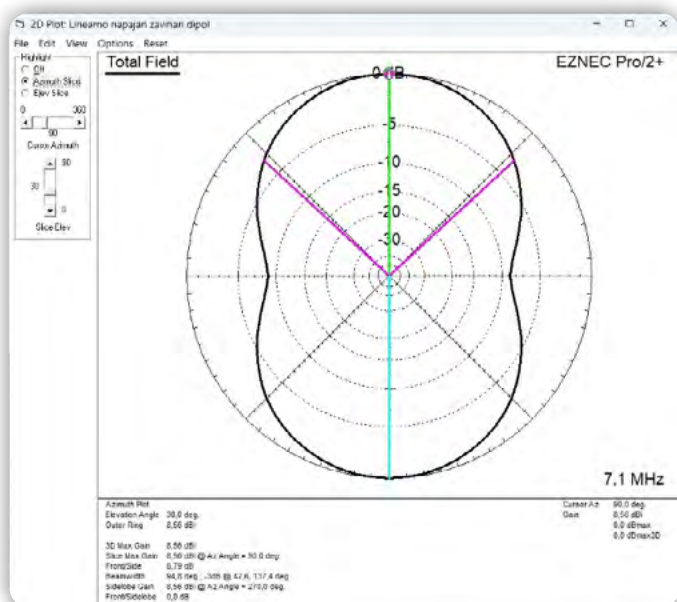
S postopnim krajšanjem (beri spreminjanjem vrednosti dolžin v programu) krakov glavne žice iz 7,03 m na 6,7 m in obeh zaviranih delov iz 7,03 m na 5,5 m, je SWR padel pri 7,1 MHz na 2,49. Dodan je bil še impedančni transformator in izračunan SWR se je približal 1,27 (slika 5). Impedanca je bila idealnih 50 Ω (seveda zaradi transformatorja). SWR je precej oster in nakazuje selektivnost delovanja antene v ozkem področju 7,1 MHz.

Sevalni diagram

Liniji vijolične barve na grafu predstavljata širino sevanja in označujeta točki, kjer dobitok pade za 3 dB. Turkizna linija



Slika 6: Elevacijski diagram



Slika 7: Azimutni diagram pri elevaciji 30°

predstavlja stransko sevanje, svetlo zelena pa maksimalen dobitok antene v smeri pod kotom. Največji dobitok antene je pri elevaciji 30° in sicer 0 dB. Kot sevanja je 35° (med vijoličnima linijama). Azimutni graf je ob straneh preščipnjen do kota 30°, nato sevanje postopoma prehaja v krog, dobitok pa močno pada. Sevalni diagram je povsem primerljiv s klasičnim dipolom.

Simulacijski model vertikalne večpasovne (multiband) HF dipol antene višine 12 m

Zaradi enega metra razdalje med ovoji (zanemarljiv vpliv induktivnosti) bi za simulacijo zadoščal model ravnega navpičnega dipola. Zaradi večje avtentičnosti antene pa bomo modelirali z ovoji. V tabeli *Wires* kliknemo meni *Create* in uporabimo opcijo *Helix*. Opcija je v osnovi namenjena izdelavi vijačnih (*helix*) anten, bo pa z nekaj prilagoditvami uporabna tudi za naš primer.

Za osvetlitev vpisanih parametrov za vijačnico, se moramo pogledati z osnovnim Pitagorovim izrekom za pravokotni trikotnik (nosilni valj raztegemo v pravokotnik). Dolžino l_{ov} žice enega ovoja (to je bolj spirala) izračunamo kot kvadratni koren vsote kvadratov višine ovoja h in obsega ovoja $\pi \cdot D$. Da na 11,5 m dolžine ovijemo 12 m žice (2 x 6 m) z dvanajst ovoji, mora biti višina ovoja $h = 0,96$ m.

$$l_{ov} = \sqrt{(\pi \cdot D)^2 + h_{ov}^2} = 1 \text{ m}; h_{ov} = 0,96 \text{ m}$$

$$\rightarrow D = 8 \text{ cm.}$$

$$H = 0,96 \times 12 = 11,5 \text{ m}$$

Odpri se nam okno za vnos podatkov. Za vnos so pomembna predvsem naslednja polja:

- *Wire dia/gauge*: premer žice; 1,8 mm
- *Segments/turn*: število segmentov na ovoj antene; 12
- *Geometry*:
- *End1*: premer ovoja; 0,08 m

Turn/Spacing/Length:

- *Turn spc.*: razmak med ovoji; 0,96 m
- *No. of Turns*: 12

Extend ends to helix axis: izbrano

Position/Orientation:

- *End1*: $X = 0, Y = 0; Z = 0,5$ m, prvi ovoj na višini 0,5 m
- *End 1 -> End 2 direction* izberemo „+“ ali „-“, ni pomembno

Po potrditvi program avtomatično ustvari 146 segmentov antene. Ker kreiranje novega modela v EzneCPro vedno bazira na obstoječem, ki ga spreminjamo (predhodno izbrišemo vse obstoječe vrstice v tabeli *Wires* razen prve), je po kreiranju novega modela vedno obvezno brisanje prve vrstice, vrstice št. 1, ki je pred kreiranjem novega modela ne moremo izbrisati.

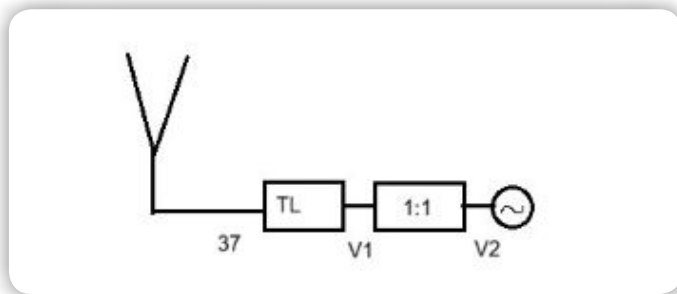
Sledi vezava elementa TL (prenosne linije) in transformatorja 1:1 (balun). Transformator za sevalni diagram antene

ni bistven, je pa kljub temu dodan kot del sistema, ki ga avtor priporoča kot „must have“, nujen del. Oba elementa dodamo v glavnem oknu programa.

Prenosno linijo (TL) definiramo s klikom na gumb *Trans Lines*. Tu vpišemo v polje *End1* -> *Wire #* točko napajanja, ki se nahaja na sredini antene, za naš primer 73 (146 segmentov). V *End2* -> *Wire #* vpišemo še drugo sponko, virtualno sponko *V1* (ročno vpišemo). Vpišemo še dolžino linije v metrih, impedanco Z_0 (450 Ω), lahko pa vpišemo še v polje *VF* koeficient hitrosti (npr. 0,9) in izgube v polje *Loss*.

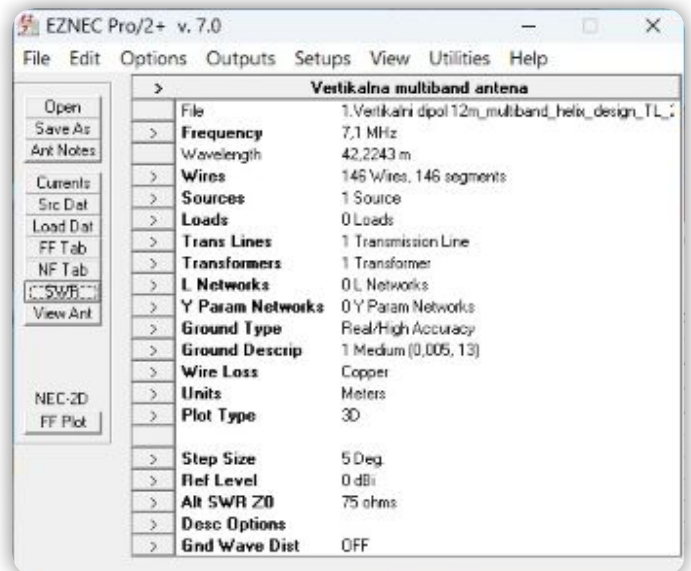
Transformator definiramo s klikom na gumb *Transformers*. Postopek vpisa ponovimo kot prej. Povežemo ga med definirani sponki, za naš primer med *V1* (izhodna sponka TL) in definiramo še drugo, novo sponko *V2*. Prestavno razmerje transformatorja 1:1 definiramo kot razmerje dveh impedanc, npr. 50:50.

Potrebno je priklopiti še vir napajanja. To prav tako uredimo v glavnem oknu s klikom na gumb *Source*. Povežemo ga na obstoječo sponko transformatorja *V2* (slika 8).

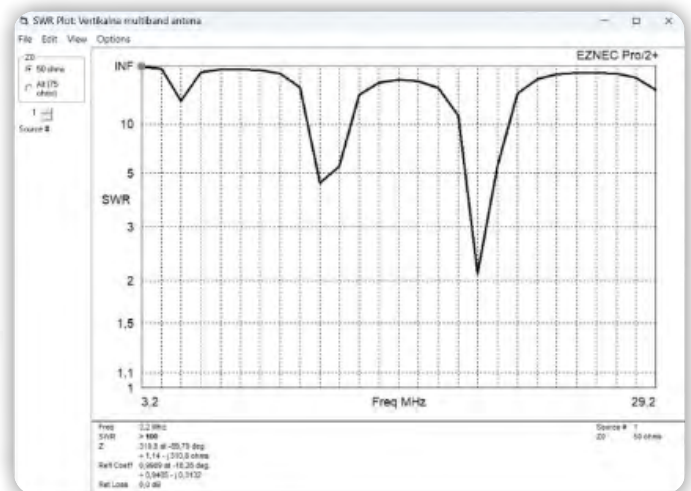


Slika 8: Blok shema vezave TL in transformatorja na anteno s številkami segmentov

Vhodne parametre, potrebne za simulacijo, smo vpisali v začetnem oknu programa (slika 4). Definirali smo resonančno frekvenco, vir napajanja, prenosno linijo in transformator, realen



Slika 10: Okno vhodnih parametrov za simulacijo



Slika 11: SWR večpasovne (multiband) vertikalne antene za dolžino TL (Open Wire) = 11 m brez tunerja

Wires													
Wire Create Edit Other													
<input type="checkbox"/> Coord Entry Mode <input type="checkbox"/> Preserve Connections <input type="checkbox"/> Show Wire Insulation <input checked="" type="checkbox"/> Show Loss													
No.	End 1				End 2				Diameter	Segs	Wire Loss		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	Conn	X (m)	Y (m)	Z (m)	Conn			(mm)	R (ohm-m)	Perm
1	0	0	0,5		0,04	0	0,5	W2E1	1,38	1	1,74E-08	1	Copper
2	0,04	0	0,5	W1E2	0,034641	0,02	0,58	W3E1	1,38	1	1,74E-08	1	Copper
3	0,034641	0,02	0,58	W2E2	0,02	0,034641	0,66	W4E1	1,38	1	1,74E-08	1	Copper
4	0,02	0,034641	0,66	W3E2	0	0,04	0,74	W5E1	1,38	1	1,74E-08	1	Copper
5	0	0,04	0,74	W4E2	-0,02	0,034641	0,82	W6E1	1,38	1	1,74E-08	1	Copper
6	-0,02	0,034641	0,82	W5E2	-0,034641	0,02	0,9	W7E1	1,38	1	1,74E-08	1	Copper
7	-0,034641	0,02	0,9	W6E2	-0,04	0	0,98	W8E1	1,38	1	1,74E-08	1	Copper
8	-0,04	0	0,98	W7E2	-0,034641	-0,02	1,06	W9E1	1,38	1	1,74E-08	1	Copper
9	-0,034641	-0,02	1,06	W8E2	-0,02	-0,034641	1,14	W10E1	1,38	1	1,74E-08	1	Copper
10	-0,02	-0,034641	1,14	W9E2	0	-0,04	1,22	W11E1	1,38	1	1,74E-08	1	Copper
11	0	-0,04	1,22	W10E2	0,02	-0,034641	1,3	W12E1	1,38	1	1,74E-08	1	Copper
12	0,02	-0,034641	1,3	W11E2	0,034641	-0,02	1,38	W13E1	1,38	1	1,74E-08	1	Copper
13	0,034641	-0,02	1,38	W12E2	0,04	0	1,46	W14E1	1,38	1	1,74E-08	1	Copper
14	0,04	0	1,46	W13E2	0,034641	0,02	1,54	W15E1	1,38	1	1,74E-08	1	Copper
15	0,034641	0,02	1,54	W14E2	0,02	0,034641	1,62	W16E1	1,38	1	1,74E-08	1	Copper

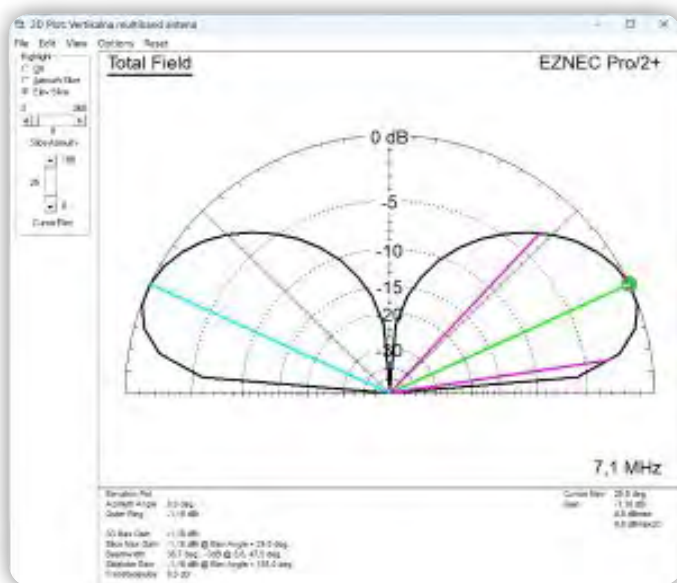
Slika 9: Del tabele koordinat vertikalne antene, 0,5 m nad tlemi začetek žice.

tip tal, izbrali bakreni vodnik in izbrali tip sevalnega diagrama. Nastopil je trenutek za izračun in prikaz sevalnega diagrama antene. Omeniti je potrebno, da je za vsako spremembo vpisane resonančne frekvence potreben ponoven zagon in izračun FF (*Far Field*) simulacije sevalnega diagrama antene. Sevalni diagram se zmeraj izračunava zgolj za eno frekvenco.

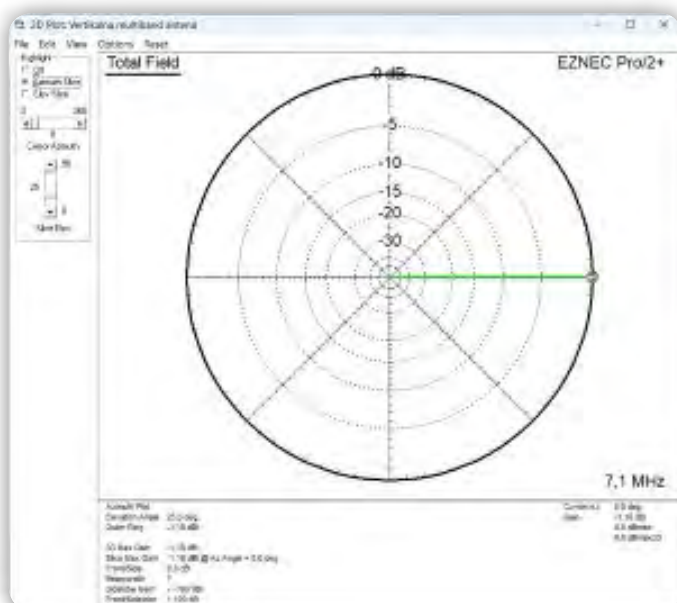
Avtor navaja, da je nujno potreben antenski tuner. Impedanca se giblje od 10Ω pa vse do 150Ω . S spreminjanjem dolžine TL linije vplivamo na SWR območje, ki je obvladljivo za natančno nastavitve SWR. Na sliki 11 je SWR brez tunerja najnižji za 15 m področje (malenkost nad 2).

Sevalni diagram

Za razliko od linearno obremenjenega dipola, vertikalna večpasovna (multiband) antena v azimutu seva v koncentričnih krogih



Slika 12: Elevacijski diagram

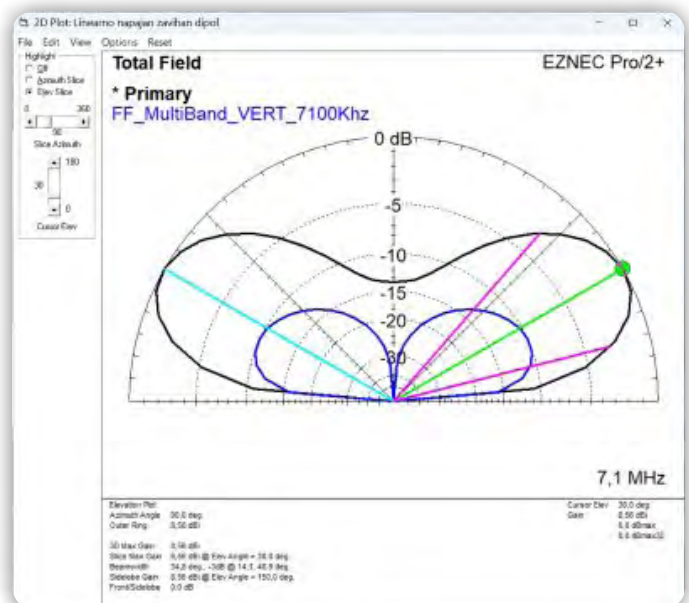


Slika 13: Azimutni diagram pri elevaciji 30°

pri vseh elevacijskih kotih. Maksimalen dobitek 0 dB doseže pri kotu 25°. Širina snopa antene meri 39°.

Primerjava elevacijskega sevalnega diagrama obeh anten

Program ima možnost funkcije *AdTrace*. Na obstoječi diagram lahko dodamo za primerjavo posnete diagrame drugih anten in/ali frekvenc. Modra krivulja na sliki 14 predstavlja sevanje vertikalne večpasovne (multiband) antene, črna pa privzete, linearno obremenjenega dipola na višini 20 m. Simulirano pri resonančni frekvenci 7,1 MHz.



Slika 14: Elevacija signala pri frekvenci 7,1 MHz za večpasovni (multiband) vertikalni (modra) in linearno obremenjeni dipol (črna, višina 20 m), referenca dBi

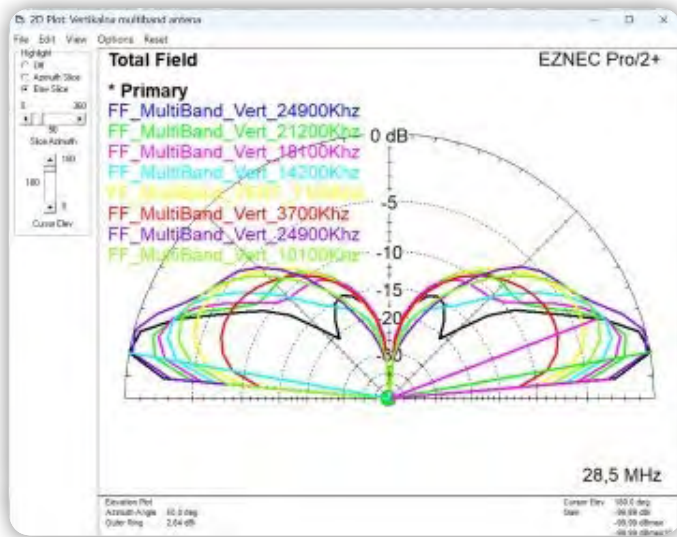
Linearno obremenjen dipol ima pri 30° dobitek 0 dB oz. 8,56 dBi, vertikalni dipol pa ima pri 25° 0 dB oz. -1,44 dBi.

Dobitek anten primerjamo glede na izotropno anteno (v dBi). Zunanji krog (0 dB) na skali predstavlja dobitek 8,56 dBi. Absoluten dobitek (dBi) v posamezni točki izračunamo kot razliko vrednosti zunanjega kroga 8,56 dBi in vrednosti v dB na opazovani krožnici.

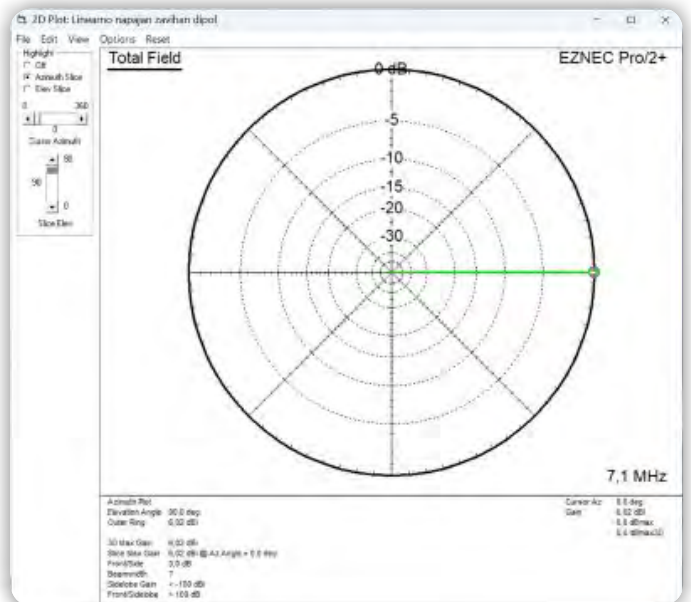
Zaključek

Pri vertikalnem večpasovnem dipolu obvezno potrebujemo dober antenski tuner, balun in *Open Wire* (450 Ω) vodnik. S spreminjanjem dolžine tega vodnika prilagajamo področje SWR. Kar je zanimivo je, da so sevalni koti na vseh valovnih področjih nizki (pri 10° maksimalen dobitek), torej primerni za DX zveze.

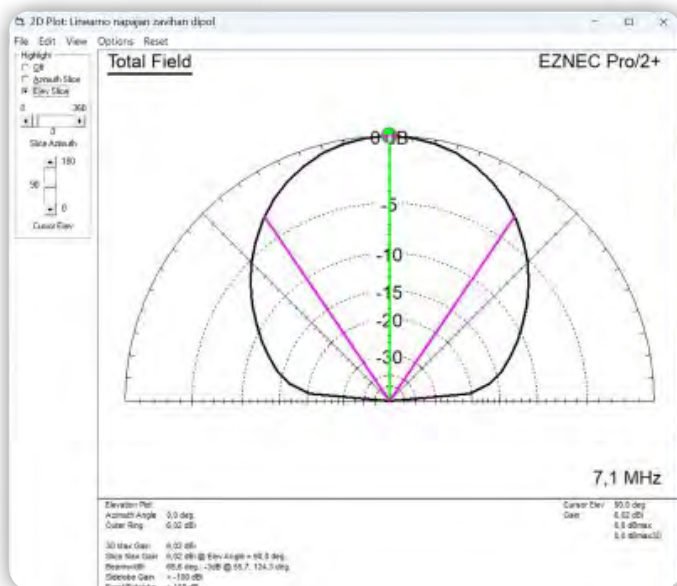
Linearno obremenjen dipol z elevacijo 25° (0 dB) tudi ustreza DX zvezam. Če ga postavimo 5 m nad tlemi ali manj (kar je lažje izvedljivo), se sevalni diagram občutno spremeni (slika 16).



Slika 15: Elevacije za večpasovni vertikalni dipol za področja 12/15/17/20/30/40/80 m in 10 m (črna krivulja). Izrazit porast elevacije na področju 10 m (črna) in 80 m (rdeča) valovne dolžine.



Slika 17: Azimutni diagram lin. obrem.



Slika 16: Linearno obremenjen dipol 5 m nad tlemi

Antena postane usmerjena navzgor proti 90° (0 dB) in uporabna za NVIS lokalne zveze. Azimutni diagram je skoraj popolni krog v smeri 90° z maksimalnim dobitkom (slika 17). Vsaj tako simulator. Vemo pa, da je natančnost simulacije odvisna tudi od natančnosti opisa modela.

Za primerjavo: linearno obremenjen dipol pri 40 m seva maksimalno z 8,56 dBi pri 30° in 3,29 dBi pri 10°.



Pas	10 m	12 m	15 m	17 m	20 m	30 m	40 m	80 m
Dobitek (dBi)	2,64	2,41	0,87	0,14	-0,84	-2,06	-0,84	-6,06
Kot elevacije (°)	10	10	10	10	10	10	10	10

Tabela 2: Simulacija maksimalnega dobitka v odvisnosti od elevacije sevanja vertikalnega dipola

```

EZNEC Pro/2+ ver. 7.0
Linearno nepajen zavijhen dipol          21. 05. 2026    12:32:43
----- SOURCE DATA -----
Frequency = 7,1 MHz
Source 1  Voltage = 1 V at 0,0 deg.
          Current = 0,01921 A at -13,19 deg.
          Impedance = 50,67 + J 11,88 ohms
          Power = 0,01871 watts
          SWR (50 ohm system) = 1,266 (75 ohm system) = 1,546
  
```

Slika 18: Impedanca (z balunom) in SWR pri resonančni frekvenci, 5 m nad tlemi (lin. obremenjen dipol)

PROGRAMIRANJE

AX ELEKTRONIKA

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

Uporaba merilnika napolnjenosti akumulatorja LTC2959 podjetja Analog Devices kot merilnik moči

Avtor: Brian Millier
email: bmillier@circuitcellar.com

Podjetje Analog Devices (ADI) je leta 2022 predstavilo LTC2959 merilnik napolnjenosti akumulatorja. Leta 2017 je ADI prevzelo podjetje Linear Technology, in glede na oznako izdelka je verjetno, da je šlo prvotno za izdelek podjetja Linear Technology.

Namenjen je bil spremljanju akumulatorskih sklopov in zagotavljanju natančnega načina za ugotavljanje, koliko odstotkov napolnjenosti je v akumulatorju ostalo v daljšem časovnem obdobju.

Ko sem si ogledal tehnične podatke o LTC2959, me je navdušila njegova zasnova in pomislil sem, da bi ta čip lahko bil osrednji del merilnika porabe enosmerne napetosti. V preteklosti sem uporabljal čip INA209 podjetja T.I., ki meri napetost, tok in moč, vendar v nekaterih pogledih ni tako vsestranski kot LTC2959:

- Deluje do 26V v primerjavi z LTC2959, ki deluje do 60V.
- Vsebuje 12-bit ADC medtem ko ima LTC2959 16-bit ADC.
- Merilnik meri trenutno moč v vatih, medtem ko LTC2959 beleži skupno porabo toka v mAh
- LTC2959 spremlja stanje napolnjenosti (v mAh) s pomočjo merilnika naboja, ki je ves čas aktiven. Kadar LTC2959 ne izvaja meritev napetosti ali toka, za lastno napajanje porabi le nekaj mikroamperov toka.
- LTC2959 vsebuje senzor temperature.



Slika 1: Blues Mojo ploščica, na kateri je nameščen čip LTC2959 za merjenje napolnjenosti baterije.

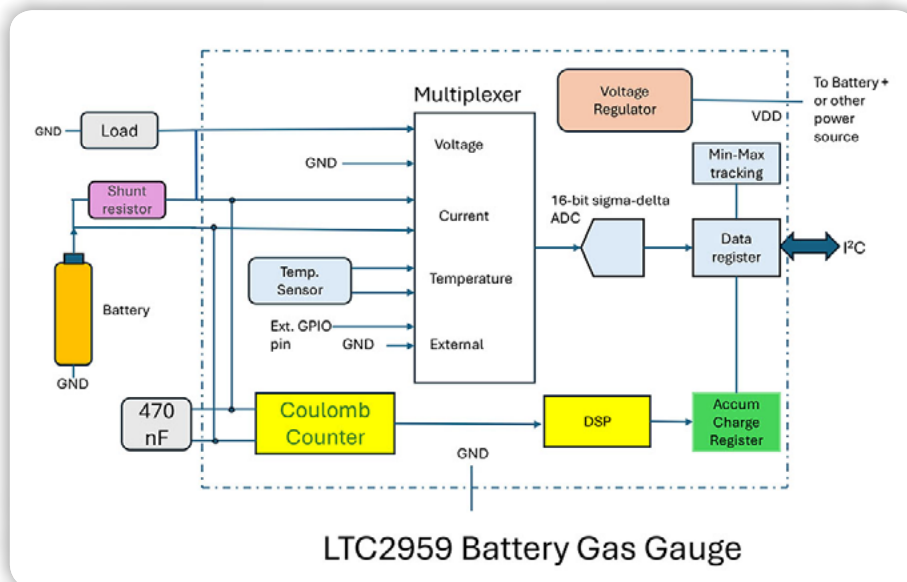
Čeprav so me tehnične lastnosti LTC2959 navdušile, je ta čip na voljo v izjemno majhnem ohišju velikosti 2 x 3 mm z 10 priključki. To je zame preprosto premajhno za ročno obdelavo in spajkanje, zato ga v praksi nisem mogel uporabiti. V zadnjih nekaj letih sem delal s ploščami Blues IoT, ki podpirajo povezave prek Wi-Fi, mobilnega omrežja, LoRa in satelitov. Kot dodatno opremo k tem ploščam podjetje Blues prodaja ploščo za spremljanje stanja baterije z imenom Mojo, v kateri je vgrajen čip LTC2959. Slika 1 prikazuje ploščo Mojo. Vsebuje standardna JST-konektorja, ki se običajno uporabljajo za Li-Po-baterije, ter prehodne QUICC konektorje za I2C vmesnik in napajalne priključke. Vse povezave pa je mogoče vzpostaviti tudi prek metaliziranih lukenj na tiskanem vezju.

Pri zadnjem naročilu pri podjetju Blues sem vključil ploščico Mojo in jo vgradil v projekt merilnika moči, ki je tema tega članka. Ta ploščica stane okoli 15 evrov, kar je precej ugodno, saj je sam LTC2959 precej drag (za tako majhen čip!).

Merilnik napolnjenosti baterije z LTC2959

Preprostost tega projekta je v veliki meri zasluga merilnika stanja baterije LTC2959 podjetja ADI. LTC2959 se imenuje merilnik stanja baterije, ker je bil prvotno namenjen spremljanju baterij (ponavadi polnilnih) za merjenje njihovega stanja napolnjenosti in napovedovanje, kdaj se bodo izpraznile. Litij-ionske in LiPo celice so občutljive na poškodbe, če jih pustite preveč izprazniti. Napetost na priključkih teh celic ni zanesljiv pokazatelj odstotka preostale energije v celici. Razlog za to je, da napetost na običajnih LiPo celicah nekoliko hitro pade od polnega stanja napolnjenosti (4,1 V) do nazivne napetosti (3,6–3,7 V). Od tam napetost nato zelo počasi pada do približno 3,3 V, pri čemer ostane le še 10–20 % zmogljivosti. Vsaka nadaljnja praznitev povzroči hitro padanje napetosti, dokler ta ne doseže približno 2,0 V. Zato poskusi spremljanja stanja napolnjenosti LiPo celice z merjenjem napetosti niso ravno praktični.

Namesto tega je veliko bolj smiselno spremljati skupni porabljeni tok v daljšem časovnem obdobju in ga primerjati z nazivno vrednostjo mAh LiPo celice. Da bi to delovalo, morate začeti s popolnoma napolnjeno celico, vendar imajo običajna integrirana vezja za polnjenje LiPo baterij izhodni pin, ki vas



Slika 2: Blok diagram LTC2959 podjetja Analog Devices.

obvesti, ko je cikel polnjenja končan. Poleg tega lahko pride do situacije, ko napajate porabnika iz LiPo celice in jo hkrati polnite, kar prinaša dodaten zaplet, saj je lahko tok v LiPo celici negativen – tj. če je polnilni tok večji od toka porabnika.

Vse te vrednosti LTC2959 brez težav spremlja. Ker boste morali spremljati naprave, ki delujejo na baterije, je pomembno, da sam LTC2959 porabi zelo malo toka. Poraba toka LTC2959 med spremljanjem akumulacije naboja znaša približno 1–2 μA . Ko LTC2959 uporablja svoj analogno-digitalni pretvornik (ADC) za merjenje trenutne napetosti ali toka, porabi 400–800 μA , vendar to ni potrebno uporabiti preveč pogosto.

Poglejmo si sliko 2, da vidimo, kaj se nahaja v LTC2959. Multiplexer izbira med štirimi viri:

- Napetost, ki jo zagotavlja vir napajanja, na sliki prikazan kot baterija.
- Napetost na zunanjem šent upor, ki odraža porabo toka
- Napetost iz notranjega sensorja temperature
- Napetost, priključena na GPIO-pin, kar je neobvezna meritve

Izhod multiplekserja je povezan s 16-bitnim sigma-delta ADC-jem, ki lahko meri bipolarne napetosti. To je potrebno za spremljanje tokov, ki lahko tečejo v kateri koli od dveh smeri, odvisno od tega, ali se baterija polni ali prazni. Pri merjenju napetosti baterije ima ADC polni merilni razpon 62,6 voltov. S tako visoko polno merilno vrednostjo lahko LTC2959 brez težav meri napetost baterije, sestavljene iz več zaporedno vezanih celic. LTC2959 ne more meriti zgolj tako visokih napetosti, ampak lahko za napajanje VDD obravnava tudi napetosti med 1,8 in 60 V.

Pri merjenju toka znaša polni obseg ADC-ja $\pm 97,5$ mV. V tehničnih podatkih za LTC2959 je navedeno, da je potreben 50 miliOhm šent upor. Vrednosti toka in naboja, shranjene v njegovih notranjih registrih, temeljijo na tem 50 miliOhm šent upor. Plošča Mojo, ki jo uporabljam, vsebuje 250 miliOhm šent upor. Ta višja vrednost je bila izbrana zaradi izboljšanja

občutljivosti pri nizkih tokovih, vendar pa zaradi nje polni tok upade za petkrat. Pri uporabi tega šent upora je največji tok, ki ga lahko merimo:

$$0,0975\text{V}/0,25\Omega \text{ ali } 390 \text{ mA}$$

Najmanjši tok, ki ga je mogoče izmeriti, znaša 11,9 μA (= 1 LSB ADC-ja). Faktor 5 (za popravek zaradi 250 miliOhm šent upora namesto predpisanega 50 miliOhm šent-a) je upoštevan v knjižnici Arduina. Ta knjižnica je bila napisana posebej za ploščo Mojo.

Edinstvena značilnost vezja LTC2959 je njegov Coulombov števec. To vezje meri naboj in ga prikazuje v enotah mAh. Napetost na šent upor (ki je sorazmerna s porabljenim tokom) se integrira v čas.

Tehnični list ne navaja podrobnosti, vendar domnevam, da se to izvaja v analognem delu vezja. Vendar se ta integrirana analogna napetost (ki je lahko pozitivna ali negativna, odvisno od tega, ali se celica polni ali prazni) redno digitalizira in prišteje k digitalnemu števcu oziroma odšteje od njega. Ta števec je register akumuliranega naboja (angl. Accumulated Charge Register ACR).

Števec naboja deluje ne glede na to, ali je preostalo vezje LTC2959 pod napetostjo ali ne. Zato števec naboja v ozadju nemoteno deluje, ne glede na to, kako pogosto od LTC2959 zahtevate odčitke napetosti in toka. Zato morate meritve napetosti/toka opravljati le tako pogosto, kot se vam zdi potrebno, odvisno od tega, kako močno se spreminja tokovna obremenitev.

Ker je LTC2959 namenjen spremljanju stanja baterije, bi lahko bil eden od pomembnih parametrov temperatura baterije. Zato ima LTC2959 vgrajen temperaturni senzor, ki posreduje podatke v analogno-digitalni pretvornik (ADC). Vrednost temperature, shranjena v temperaturnem registru, je izražena v Kelvinih, pri čemer je polna skala 825 °K. Knjižnica LTC2959 to vrednost pretvori v stopinje Celzija. Notranji senzor temperature vezja LTC2959 morda ni fizično blizu baterije, ki se nadzoruje. V tem primeru je mogoče zunanji GPIO priključek vezja LTC2959 priključiti na drug senzor temperature, ki je nameščen bližje bateriji. Najvišja napetost, ki jo je mogoče izmeriti prek tega priključka, ima dve območji +1,56 V in $\pm 97,5$ mV.

LilyGo T-HMI-S3 MCU/ modul za prikazovanje.

Za prihodnje projekte imam vedno na zalogi različne plošče z mikrokontrolerji in zasloni. Za ta projekt je bila plošča LilyGo -S3 idealna in cenovno ugodna (19 evrov). Vključuje 2,8 palčni TFT zaslon z uporovnim dotikom. Uporovni zasloni na dotik sicer niso niti približno tako dobri kot kapacitivni, a za ta projekt je bilo to vse, kar sem potreboval.

T-HMI-S3 vsebuje Espressif ESP32S3 s 16 MB Flash pomnilnika

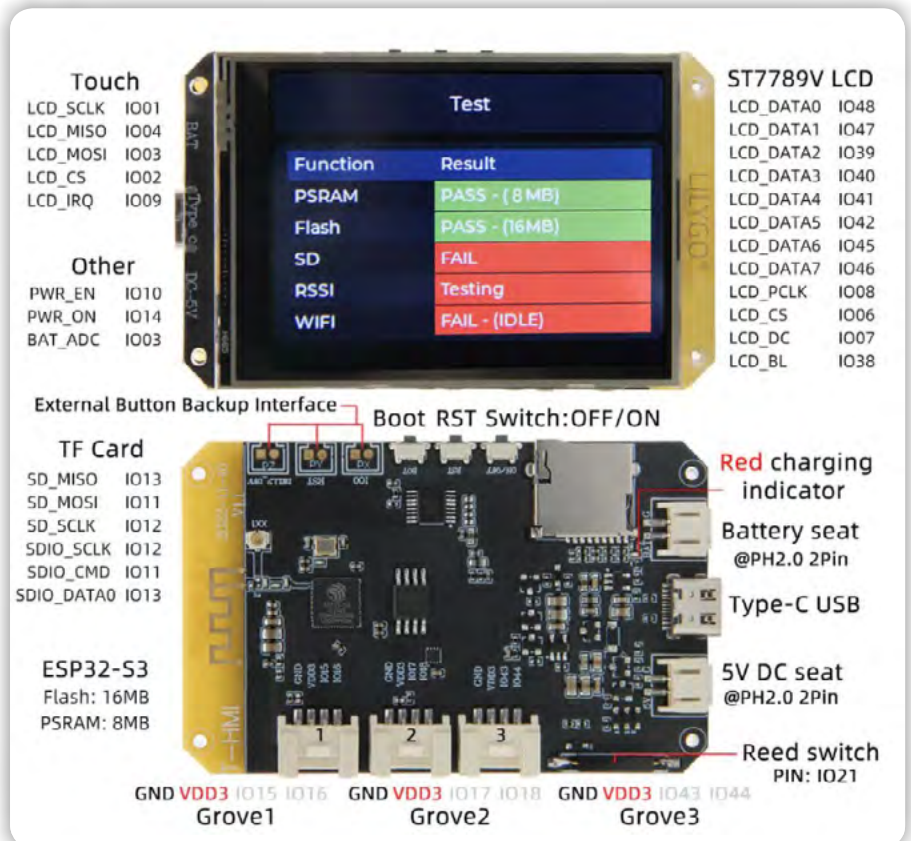
in 8 MB pomnilnika PSRAM. Ker je bil na voljo PSRAM pomnilnik, sem ga uporabil za shranjevanje nizov, ki vsebujejo odčitke napetosti, toka in mAh. Celo pri najvišji frekvenci vzorčenja, ki sem jo omogočil (10 vzorcev na sekundo), bi za zapolnitev celotnega PSRAM pomnilnika potrebovali 185 ur. Umetno sem nastavil programsko omejitev na 20.000 vzorcev, zaradi česar je ostala večina PSRAM pomnilnika neizkoriščena.

Plošča T-HMI ima vgrajeno vtičnico za uSD kartico, kar mi omogoča shranjevanje zbranih podatkov na uSD kartico. MCU ploščice, kot je T-HMI, ki vsebujejo tako TFT zaslon kot tudi krmilnik zaslona na dotik, imajo pogosto na voljo le malo prostih GPIO priključkov za priključitev drugih naprav. Plošča T-HMI ima 3 proste Grove linije, od katerih vsaka ponuja napetost 3,3 V, GND in 2 GPIO pina. Za povezavo s ploščo Mojo (napajanje in I2C liniji) sem uporabil enega od teh Grove priključkov, drugega pa za priključitev na tipko Start/Stop.

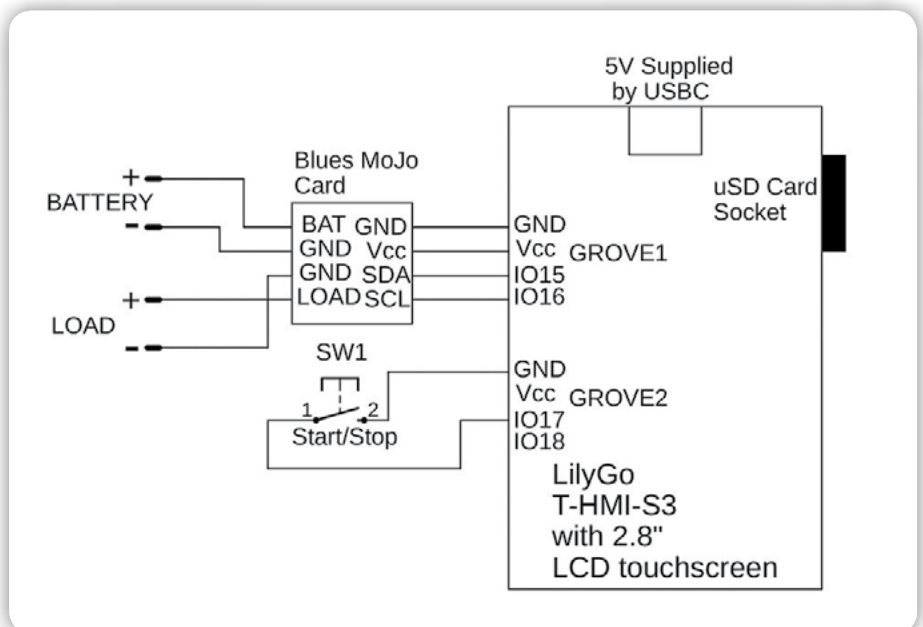
T-HMI-S3 se lahko napaja prek priključka USB-C ali z uporabo 3,7-voltno LiPo baterije. Če za napajanje uporabljate LiPo baterijo, je na plošči vgrajen polnilni čip. Na voljo je tudi drugi JST priključek, ki omogoča napajanje plošče z 5 voltnim virom napajanja. Če pa ploščo napajate na ta način, morate biti pozorni na njeno nenavadno delovanje pri vklopu in izklopu. Za vklop plošče pri uporabi tega 5 voltnega priključka morate majhen magnet približati stikalu z jezičkom (glej sliko 3) in ga tam zadržati približno sekundo. Poleg tipk za ponastavitev in zagon se nahaja majhna tipka z oznako On/Off.

S tem se bo plošča vklopila, dokler boste tipko držali pritisnjeno, kar pa ni praktično. Vendar bo ista tipka ploščo izklopila – če je bila vklopljena z magnetom. Obstaja tudi niz priključkov z oznako Dellp_off, ki ploščo izklopijo. Celoten postopek se mi je zdel okoren. Oba priključka reed releja sta prispajkana na tiskano vezje, vendar sta prekrita z nekim premazom, zaradi česar je težko odstraniti ta reed rele in ga zamenjati z običajnim preklopnim stikalom. Zato za napajanje uporabljam le kabel USB-C in 5 voltni napajalnik.

Na plošči T-HMI sta na voljo tipki za ponastavitev in zagon. Ti bosta verjetno skriti, ko bo plošča vgrajena v ohišje, vendar ima T-HMI tudi odprtine za dva 2-pin konektorja, ki ju je



Slika 3: Fotografija LilyGo T-HMI-S3 ploščice, prikazuje vse GPIO pin designatorje in 3 Grove konektorje.



Slika 4: Shema projekta. Zgolj Mojo in T-HMI-S3 ploščici sta bili potrebna za ta projekt.

mogoče priključiti na zunanji tipki.

Glede na vse okoliščine menim, da je LilyGo T-HMI-S3 lepo zasnovana razvojna plošča.

Shema projekta je prikazana na sliki 4. Je precej preprosta, saj plošča T-HMI-S3 vsebuje večino potrebnih funkcionalnosti.

Podpora plošče v Arduino okolju

Ena od nevarnosti pri nakupu poceni plošč z mikrokontrolerji in zasloni iz Kitajske je povezana s programsko podporo. Tukaj je nekaj stvari, na katere morate biti pozorni:

- *Ali obstaja Arduino knjižnica za TFT zaslon, vgrajen na plošči? Če da, ali jo je mogoče nastaviti za določene GPIO pine, ki se uporabljajo za priključitev na mikrokontroler?*
- *Ali je na voljo shema, s katero bi lahko ugotovili, kateri GPIO pini se uporabljajo za zaslon? Ali pa je morda na voljo knjižnica za TFT zaslon, v kateri so ustrezni pini že opredeljeni?*
- *Ali je čip krmilnika zaslona na dotik naveden in, če je, ali zanj obstaja knjižnica za Arduino?*
- *Kateri pini SPI vmesnika so uporabljeni za vgrajeno vtičnico za uSD kartice? Kartica pogosto uporablja druga SPI vrata kot TFT zaslon. Ali bodo obstoječe knjižnice za TFT zaslon in uSD kartice delovale skupaj?*

Pred naročanjem plošče sem se seznanil z zgoraj navedenimi vprašanji. Izkaže se, da je plošča precej dobro podprta, vsaj kar zadeva Arduino IDE. Uporabljam Arduino IDE različico 2.3.8 in Espressifov paket za podporo ploščam ESP32 različice 3.3.8.

Najprej je treba prenesti knjižnico T-HMI-Master s spletne strani GitHub:

- <https://github.com/Xinyuan-LilyGO/T-HMI>



To mapo je treba premakniti v mapo Arduino Libraries. Vendar ta glavna knjižnica ni nastavljena tako, da bi jo Arduino IDE prepoznal kot lastno knjižnico. Če torej v meniju »Primeri za to prilagojeno knjižnico« iščete »T-HMI-Master«, ga ne boste našli.

Namesto tega odprite mapo »lib« v tej mapi »T-HMI-Master« in poiščite mapo »TFT_eSPI«. Nato to mapo »TFT_eSPI« premaknite iz te mape v mapo »Arduino/Libraries«. Knjižnica »TFT_eSPI« je delo avtorja Bodnerja in se pogosto uporablja pri številnih TFT zaslonih. Če torej že imate mapo TFT_eSPI, jo boste morali odstraniti in arhivirati drugje. To je potrebno zato, ker je knjižnica TFT_eSPI, ki jo priloži LilyGo, prilagojena konkretnemu zaslonu, uporabljenemu na plošči, vključno z načinom njegovega priključitve na GPIO-vode.

Prav tako bo tam mapa z imenom arduino_xpt2046_library. Jaz sem to knjižnico že imel, če pa je pri vas ni, jo morate premakniti iz mape T-HMI_Master v mapo Arduino/Libraries.

V tej glavni mapi se nahaja tudi mapa z imenom »Examples«. Čeprav se nobeden od teh primerov ne prikaže v meniju »Arduino Examples«, lahko odprete to mapo in kliknete na enega od primerov. Tako se bo ta primer odprl v Arduino IDE.

Vsi ti primeri vsebujejo datoteko z imenom pins.h. Ta datoteka opredeljuje vse GPIO pine, ki jih uporablja plošča T-HMI-ESP32S3, TFT zaslon, krmilnik zaslona na dotik, uSD kartico itd. To datoteko morate vključiti v vsako skico, ki jo napišete za to ploščo. Tako bodo primeri s TFT zaslonom, zaslonom na

dotik in uSD kartico delovali pravilno. Datoteko pins.h sem vključil v mapo skic za ta projekt.

Za to ploščo morate opraviti še nekaj drugih nastavitvev. Opazil sem, da je LilyGo T-Display-S3 naveden med ploščami, ki se prikažejo, ko izberete kategorijo ESP32. Te možnosti ne izberite! Če jo izberete, PSRAM ne bo deloval. Namesto tega izberite ESP32S3 Dev Module. Nato za to ploščo izberite naslednje možnosti:

- *USB CDC on Boot enabled (pomembno da bo Serial.print deloval)*
- *Velikost Flash pomnilnika 16 MB*
- *PSRAM- OPI PSRAM (QSPI opcija ne bo delovala)*

Za ta projekt sem potreboval tudi knjižnico za LTC2959. Našel sem eno, ki je bila napisana posebej za ploščo Blues Mojo. Ta knjižnica je že vnaprej nastavljena za 250 miliOhm šent upor, ki se uporablja na plošči Mojo. To knjižnico prilagam k izhodiščnemu programu projekta, ki je na voljo na spletni strani Svet Elektronike.

Podrobnosti Arduino skice

TFT zaslon, krmilnik zaslona na dotik in LTC2959 se upravljajo s pomočjo knjižnic razredov, ti razredi pa se instancirajo ob zaagonu skice. Vse definicije GPIO pinov so vsebovane v datoteki pins.h, ki je bila omenjena že prej.

V tem primeru je bila uporaba PSRAM-a nekoliko zapletena. Želel sem shraniti vzorce toka, napetosti in naboja kot števila s plavajočo vejico. Ker so se ti vzorci zbirali v getLTC2959() rutini je moral biti ta niz globalen. Standardni način dodeljevanja PSRAM-a ni primeren za globalne spremenljivke. Končno sem ugotovil, kako to storiti, in sicer s pomočjo naslednjih korakov:

Na začetku skice, kjer opredeljujete globalne spremenljivke in razrede, dodajte:

```
float* globalFloatArray = nullptr;
#define MAX_ARRAY 60000 // 20000 readings
of voltage,current and charge
V Setup(), dodajte:

if (psramInit()) {
Serial.println(»PSRAM detected!«);
tft.drawString(»PSRAM found«,0,0,2);
Serial.printf(»Total PSRAM: %u bytes\n«,
ESP.getPsramSize());
Serial.printf(»Free PSRAM: %u bytes\n«,
ESP.getFreePsram());
globalFloatArray = (float*)ps_malloc(MAX_
ARRAY * sizeof(float));
}
```

V drugi točki so prve štiri vrstice namenjene le obvestilu, da je bil PSRAM odkrit, ter navedbi njegove velikosti. Med zbiranjem vzorcev se vrednosti napetosti, toka in naboja zaporedno shranjujejo v globalFloatArray kot števila s plavajočo vejico.

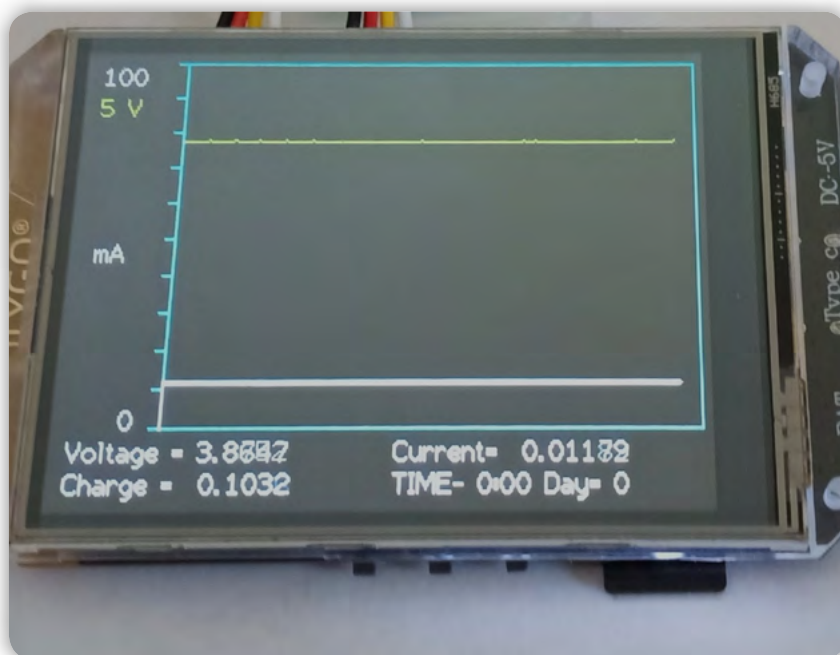
Naša Setup() rutina preveri tudi, ali je v režo vstavljena SD

kartica. Knjižnica za SD kartice podpira le kartice velikosti do 32 GB. Če SD kartice ni, bo to prikazano tako na TFT zaslonu kot v serijskem terminalu računalnika; če pa je kartica vstavljena, bo prek serijskega vmesnika poslan seznam map, ki se nahaja na uSD kartici. Program bo deloval tudi brez SD kartice, vendar seveda ne boste mogli shraniti podatkov na kartico, ki ne obstaja.

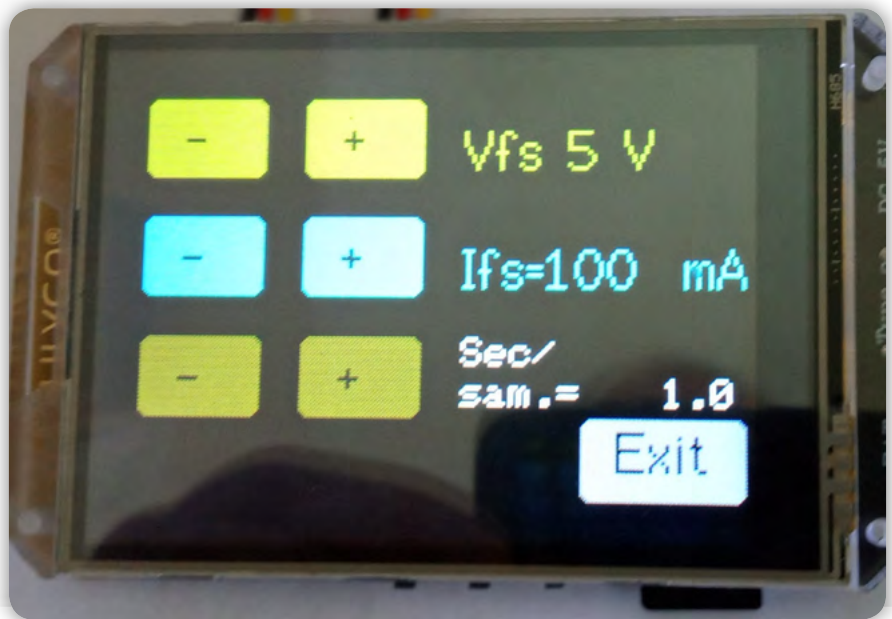
Slika 5 prikazuje prvo okno, ki se odpre za nastavitve parametrov:

- *Napetost polnega obsega.* S tem se določi le napetost polnega obsega, ki se prikaže na grafu. LTC2959 ima le en napetostni razpon: od 0 do 60 voltov, vrednosti napetosti, shranjene v PSRAM pomnilniku, pa lahko ležijo kjerkoli znotraj tega razpona od 0 do 60 V.
- *Najvišji tok.* Tudi v tem primeru ima LTC2959 na voljo le eno območje toka. Pri uporabi 250 miliOhm šenta znaša najvišji tok meritve pri LTC2959 390 mA. Vendar pa lahko na grafu izberete najvišji tok v območju od 100 μ A do 500 mA.
- *Sekunde/vzorec.* Frekvenco vzorčenja je mogoče nastaviti v korakih po 1/10 sekunde do 1 sekunde, od 1 sekunde naprej pa v večjih korakih.

Po izbiri teh parametrov in zaprtju se prikaže prazen graf. Polna skala toka na grafu je prikazana na levi strani v beli barvi, krivulja toka pa je prav tako bela. Polna skala napetosti je prikazana v rumeni barvi, krivulja napetosti pa je prav tako rumena. Nič se ne zgodi, dokler ne pritisnete tipke Start/Stop. Slika 6 prikazuje risanje grafa. Priključil sem



Slika 6: Prikaz zaslona med zajemanjem podatkov. Tok je prikazan v beli, napetost v rumeni barvi.



Slika 5: Parameter za nastavitve zaslona občutljivega na dotik.

zgolj LiPo celico kot napetostni vir in upor 330 Ω kot breme. Trenutna napetost, tok, naboj in pretečen čas so prikazani na dnu zaslona. Na zaslonu je hkrati vidnih le zadnjih 270 vzorcev – zaslon se ponovno nariše, ko graf doseže desni rob zaslona. S pritiskom na tipko Start/Stop se zbiranje podatkov ustavi in prikaže se okno, ki ponuja možnost shranitve celotnega niza podatkov na uSD kartico. Ustvarjena datoteka ima ime »power.txt«. Podatki so oblikovani v naslednjem formatu: napetost, tok, naboj, pri čemer je za vsak vzorec namenjena ena vrstica.

Na voljo je uporabna spletna stran, ki poenostavi izračun življenjske dobe LiPo baterije na podlagi podatkov o tokovih med delovanjem in v mirovanju ter časovnih intervalih. Ta stran je: IOT Battery Life Calculator [1]

Zaključki

Sčasoma sem vse bolj hvaležen, da obstajajo podjetja, ki proizvajajo majhne razvojne plošče z najnovejšimi čipi, ki se nenehno pojavljajo na trgu. Komajda se spomnim kakšnega projekta, ki sem ga izdelal v zadnjih nekaj letih in ki bi bil mogoč brez teh razvojnih plošč.

Čeprav to za ploščo Mojo ne velja v celoti, sem pogosto ugotovil, da so razvojne plošče kitajskega porekla cenejše od zneska, ki bi ga moral plačati za nakup samega čipa, vgrajenega na plošči. Presenečen sem tudi, da nekatere poceni plošče, kot je LilyGo T-HMI-S3, odlično podpirajo programsko opremo, ki deluje v Arduino IDE.

Viri:

- 1: <https://www.of-things.de/battery-life-calculator.php>



Tudi 16-bitni timer Timer1 deluje v CTC načinu s spremenljivim faktorjem deljenja v območju od 2 do 62.500. Po odštetju določenega števila impulzov bo Timer1 dopolnil stanje povezanega izhodnega pina OC1A, s čimer bo ustvaril impulze z določeno frekvenco. Timer1 uporablja dva vira impulzov: impulze iz izhoda povezanega preddelilnika (za frekvence nad 10 Hz) ali impulze, ki jih ustvari Timer0 (za nižje frekvence).

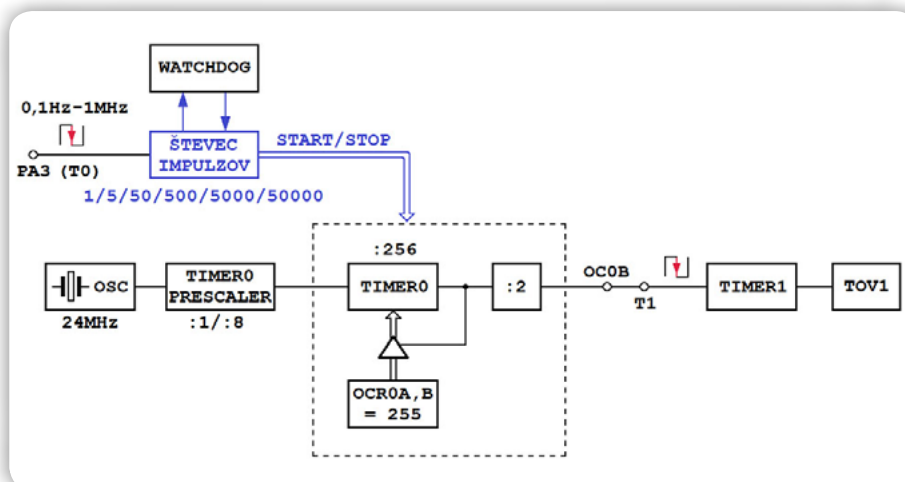
V proces je vključen tudi preddelilnik takta, ki po potrebi razpolovi osnovno frekvenco takta. Dejansko timer in celoten mikrokontroler običajno delujejo pri frekvenci 12 MHz, razen pri generiranju najvišjih frekvenc in nekaterih posebnih nižjih frekvenc.

Natančnost frekvence tako ustvarjenega signala je odvisna izključno od natančnosti kvarčnega kristala, izhodni signal pa je pravokotne oblike z razmerjem signal:pavza 1:1. Edina frekvenca, ki je na ta način ni mogoče ustvariti, je 8 MHz: za ustvarjanje te frekvence bi bilo treba Timer1 nastaviti drugače, z razmerjem signal:pavza 1:2.

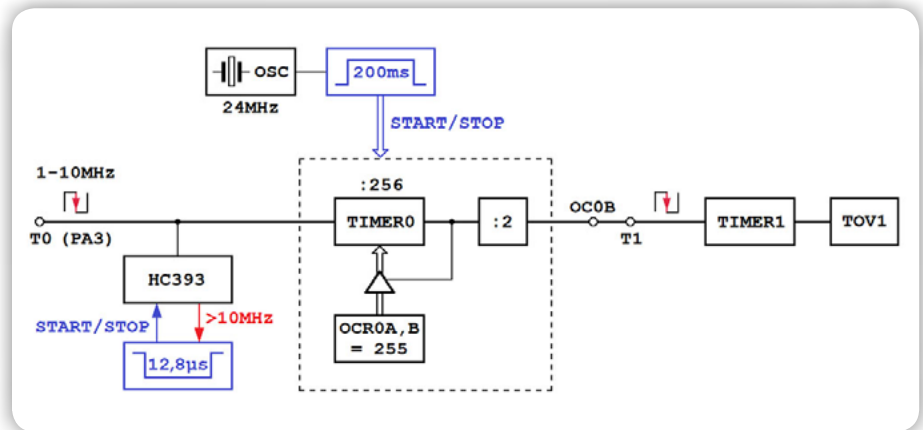
Princip merjenja frekvence

Osnovno načelo merjenja frekvence je štetje impulzov: število impulzov, preštetih v eni sekundi, ustreza frekvenci vhodnega signala. Če je čas merjenja natančno določen, bo odstopanje med izmerjeno in dejansko frekvenco ± 1 Hz. Ko mikrokontroler deluje pri 24 MHz, bo najvišja frekvenca, ki jo lahko na ta način izmerimo, 12 MHz, najnižja pa seveda 1 Hz.

Zamislil sem si, da bi moral merilnik frekvence prikazati rezultat z resolucijo petih pomembnih digitov in z natančnostjo vsaj 0,01 %. To je natančno odstopanje ± 1 Hz pri frekvenci 10 kHz, kar pomeni, da je opisan način merjenja sprejemljiv le za merjenje frekvenc nad 10 kHz. Natančnost merjenja nižjih frekvenc lahko izboljšamo s podaljšanjem merilnega intervala, vendar se odzivnost pri tem spremeni v nesprejemljivo



Slika 2b: Princip merjenja nižjih frekvenc.



Slika 2a: Princip merjenja visokih frekvenc.

počasno; pravzaprav bi bilo zaželeno, da bi bil merilni interval še krajši od navedene 1 sekunde, kar bi spodnjo merilno frekvenco dvignilo na še višje vrednosti!

Nazadnje sem se odločil, da skrajšam merilni interval na 200 ms in da opisan postopek uporabim le za merjenje frekvenc v območju 1–10 MHz! Shema merjenja je prikazana na sliki 2a. Na sliki so procesi, ki potekajo na ravni strojne opreme, označeni s črno barvo, programske rešitve pa z modro.

Timer0 šteje vhodne impulze v danem časovnem intervalu in je v seriji povezan s Timer1 v verigi, ki deluje na naslednji način:

- Timer0 šteje v območju od 0 do 255, nato pa spremeni stanje povezanega izhodnega pina OC0B.
- OC0B je vezan na vhodni pin Timerja1, T1;
- Timer1 šteje impulze na T1 v razponu 0-65525, nato postavlja svoj overflow bit TOV1;
- TOV1, Timer1, T1 in Timer0 tvorijo 26-bitni števec, ki lahko šteje do malo več kot 67,1 milijona.

Na začetku merjenja je treba izbrisati oba timerja in TOV1, vhodni pin T1 pa mora biti postavljen na nizko raven. Nato mikrokontroler zažene Timer0 za časovni interval 200 ms. Ker se oba timerja uporabljata za štetje, se trajanje časovnega intervala določi v programu. Natančnost, ki jo ponuja BASCOM ukaz Waitms, za to ni zadostna, zato je bil napisan podprogram

v assemblerju s števcem, ki tečejo natančno 200 ms. Po zaustavitvi Timer0 mora program prebrati vrednost iz njegovega 26-bitnega števca in jo pomnožiti s faktorjem 5: če predpostavljamo, da merimo frekvence nad 1 MHz, bomo s tem dobili frekvenco v Hz z natančnostjo, boljšo od 0,0005 %!

V vezju, prikazanem na sliki 2a, moramo še pojasniti modul »HC393«. Način, kako mikrokontroler šteje impulze, ima eno pomanjkljivost: ko frekvenca impulzov preseže polovico taktne frekvence (v našem primeru, ko preseže 12 MHz), se število z naraščanjem frekvence zmanjšuje. Poenostavljeno, vhodno frekvenco 13 MHz bomo odčitali kot (približno) 11

MHz, 14 MHz kot 10 MHz itd. Integrirano vezje HC393 je dvojni 4-bitni števec in bo delovalo kot digitalni filter, ki ga program aktivira za 12,8 μ s pred samim merjenjem frekvence. Če je vhodna frekvenca nižja od 10 MHz, HC393 v teh 12,8 μ s ne bo uspel prešteti več kot 127, zato bo najpomembnejši bit števca ostal v stanju »0«. Če je frekvenca višja, bo ta bit v času 12,8 μ s prešel v stanje »1«, kar program pravilno zazna kot prekomerno visoko vhodno frekvenco in ustavi postopek merjenja.

Če je odčitana vrednost 26-bitnega števca manjša od 200.000, je frekvenca merjenja nižja od 1 MHz, zato bomo meritev ponovili na način, prikazan na sliki 2b. Tudi tu so strojni procesi označeni s črno barvo, programske rešitve pa z modro. Timer0 in Timer1 sta povezana na enak način kot na sliki 2a, vendar Timer0 zdaj šteje taktne impulze iz pogonskega oscilatorja namesto vhodnih impulzov. Na ta način izmerimo trajanje določenega števila period vhodnega signala. Da bi dosegli zahtevano natančnost, je treba pri višjih vhodnih frekvencah izmeriti večje število period in obratno. Tako bomo za frekvence v območju od 100 kHz do 1 MHz izmerili trajanje 50.000 period, za frekvence od 10 kHz do 100 kHz bomo izmerili 5.000 period in tako naprej. Seveda je tudi v tem primeru treba pred vsakim merjenjem izprazniti Timer0, Timer1 in TOV1 ter nastaviti OCOB na »0«.

Čeprav natančnost merjenja, prikazana na sliki 2a, ni zadostna za prikaz frekvence, je več kot primerna za določitev frekvenčnega območja, v katerem leži, in s tem števila period, katerih trajanje moramo izmeriti. Števec impulzov je izveden kot podprogram v assemblerju, ki se sinhronizira z padajočim robom vhodnega impulza, zažene Timer0 in ga ustavi po preštetju določenega števila vhodnih impulzov. Število impulzov se enostavno pretvori v frekvenco z natančnostjo, ki presega 0,0001 %, trajanje merjenja pa je pri frekvencah nad 10 Hz 0,5 sekunde ali manj. Za frekvence v območju od 1 Hz do 10 Hz traja merjenje od 0,2 do 2 sekund, za frekvence do 0,1 Hz (kar je določeno kot spodnja meja merjenja) pa do 20 sekund. Pri merjenju najnižjih frekvenc je preddelilnik Timer0 nastavljen

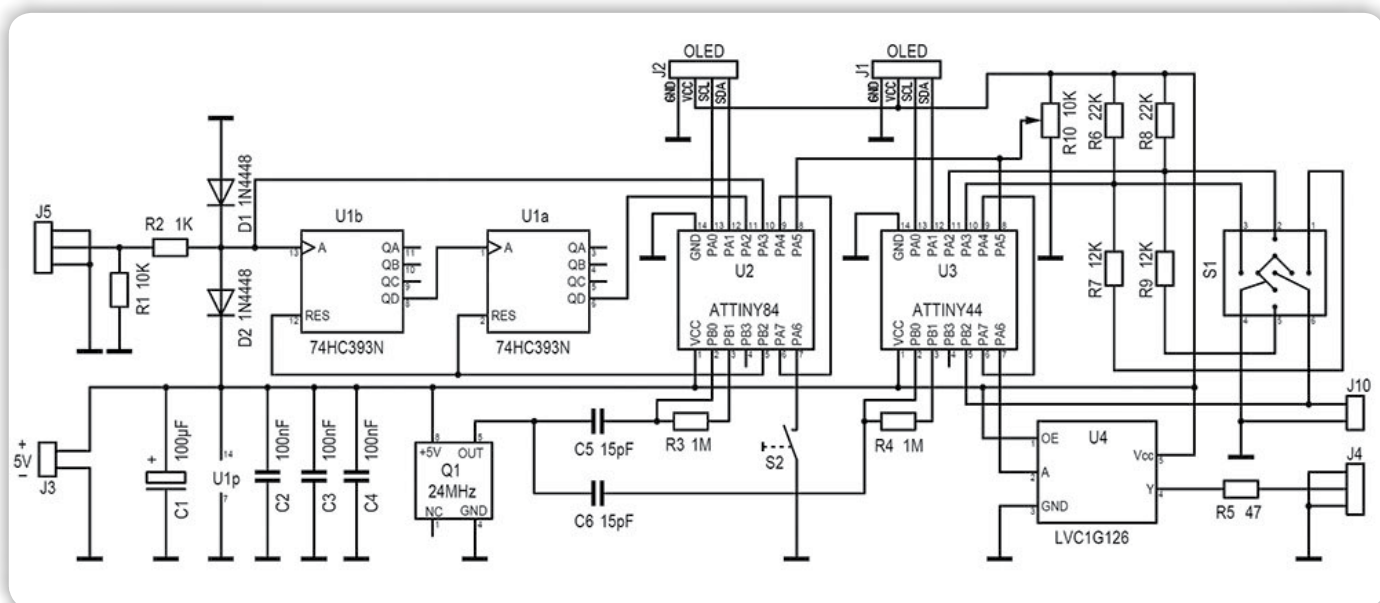
na 8-kratno deljenje, saj bi bil celo 26-bitni števec prekratek za zajem štetih impulzov.

Pri opisani metodi merjenja obstaja nevarnost, da se program zatakne v dolgotrajni ali celo neskončni zanki, medtem ko čaka na pojav določenega števila vhodnih impulzov. Do tega pride, če se med merjenjem vhodna frekvenca znatno zniža ali če ni vhodnih impulzov. Da bi preprečili takšno situacijo, bo število impulzov pred začetkom merjenja aktiviralo nadzorni mehanizem, katerega naloga je prekiniti merjenje, ki traja dlje kot približno 2,5 sekunde pri merjenju frekvenc nad 1 Hz ali dlje kot približno 25 sekund pri merjenju nižjih frekvenc.

Električna shema

Električni shematski prikaz obeh naprav je prikazan na sliki 3. Merilnik frekvence sestavljata mikrokontroler ATtiny84A (U2) in binarni števec HC393 (U1), medtem ko je generator impulzov izveden z mikrokontrolerjem ATtiny44A (U3), na katerega izhod je dodan en sam CMOS ojačevalnik, LVC1G126 (U4). Oba mikrokontrolerja poganja skupni kristalni oscilator s frekvenco 24 MHz (Q1), katerega izhod je prek kondenzatorja s kapacitivnostjo 15 pF povezan z njunima vodomoma XTAL1. Da bi mikrokontrolerja lahko sprejela tako generiran taktni signal, je treba nastaviti Fuse bite, kot je prikazano na sliki 4.

Vse nastavitve so standardne, razen izbire oscilatorja: ta vrstica je označena z rdečo puščico. Izbrana nastavitve dejansko predvideva uporabo »standardnega« kvarčnega kristala, ki je na običajen način priključen na izhoda XTAL1 in XTAL2 mikrokontrolerja. Moje izkušnje s 24 MHz kvarčnimi kristali v tej konfiguraciji niso bile dobre; kristali so običajno nihali pri 8 MHz. Po drugi strani pa izbira aktivnega oscilatorja zagotavlja večjo natančnost in stabilnost generirane frekvence. Za dovajanje taktnih impulzov iz zunanega oscilatorja bi bila potrebna drugačna nastavitve bitov FEDCBA kot na sliki 4, »000000: Ext. Osc.«. Vendar pa je bila taka nastavitve med razvojem programske opreme, ko je bilo treba mikrokontrolerje pogosto



Slika 3: Električna shema merilnika frekvence in generatorja impulzov.

Flash	EEPROM	Lock and Fuse bits	Flash	EEPROM	Lock and Fuse bits
Chip Name: TINY44 Calibration 0: 4D Lockbits Lockbit 21: 11:No memory lock features enabled Fusebits Fusebit H: 0:Divide clock by 8, ON Fusebit G: 1:Clock output disabled Fusebit FEDCBA: 111111:Ext. Crystal Osc. Fusebits High Fusebit High Z: DF Fusebit High 9: 1:External reset enable Fusebit High 8: 1:DEBUG WIRE disabled Fusebit High 7: 0:Enable serial programming and data download Fusebit High 6: 1:Watchdog timer on controlled by software Fusebit High 543: 1:EEPROM memory is erased when chip is ERASED Fusebits Extended Fusebit Extended Q: FF Fusebit Extended Q: 1:Self programming disabled			Chip Name: TINY84 Calibration 0: 8B Lockbits Lockbit 21: 11:No memory lock features enabled Fusebits Fusebit H: 0:Divide clock by 8, ON Fusebit G: 1:Clock output disabled Fusebit FEDCBA: 111111:Ext. Crystal Osc. Fusebits High Fusebit High Z: DF Fusebit High 9: 1:External reset enable Fusebit High 8: 1:DEBUG WIRE disabled Fusebit High 7: 0:Enable serial programming and data download Fusebit High 6: 1:Watchdog timer on controlled by software Fusebit High 543: 1:EEPROM memory is erased when chip is ERASED Fusebits Extended Fusebit Extended Q: FF Fusebit Extended Q: 1:Self programming disabled		

Slika 4: Nastavitev fuse bitov.

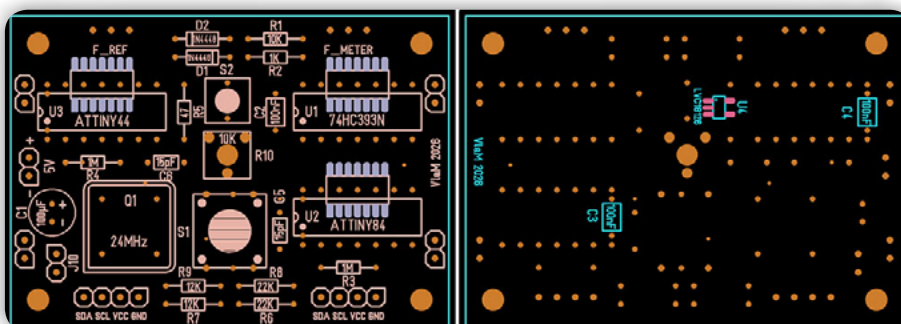
ponovno programirati, nepraktična. Po drugi strani so nastavitve, prikazane na sliki 4, dobro delovale tako med ponovnim programiranjem mikrokontrolerja kot tudi v vezju s slike 3, zato so bile ohranjene v končni rešitvi.

Na sliki 3 opazite tudi tipko S2, ki izbira način prikazovanja izmerjene frekvence na zaslonu merilnika frekvence, ter pet-smerno tipko S1 (joystick), povezano z generatorjem impulzov. S1 se odziva na premike ročice (palice) v smeri navzgor-navzdol (izbira frekvenčnega območja), levo-desno (izbira frekvence) in na pritisk na ročico (v končni rešitvi to ni bilo uporabljeno; ohranjeno je bilo kot možnost za prihodnjo nadgradnjo). Ker na mikrokontrolerju U3 ni bilo dovolj vhodnih pinov za priključitev vseh petih stikal na joysticku, smo uporabili trik z upori R6–R9. Ko je palica v srednjem položaju, ni pritisnjeno nobeno stikalo in napetost na analognih vhodih PA2 in PA3 je enaka napajalni napetosti. Če potisnemo palico navzdol ali v desno, se ta napetost zniža na eno tretjino napajalne napetosti. Nazadnje, če palico premaknemo navzgor ali v levo, se napetost na ustreznih izhodih zniža na 0 V. Z merjenjem napetosti na izhodih PA2 in PA3 lahko mikrokontroler ugotovi trenutni položaj palice in izvede ustrezno dejanje.

Poleg oscilatorja Q1 imata oba mikrokontrolerja še en skupni element: trimer R10. Njegov namen je izenačiti svetlost OLED displejev: z vrtenjem drsnika trimera se svetlost enega zaslona poveča, medtem ko se svetlost drugega zmanjša. Če na obeh napravah uporabljamo enake displeje, naj drsnik ostane v srednjem položaju: standardne svetlosti displejev so običajno dobro uravnovežene. Če pa se odločimo za večbarvne zaslone (npr. modro-rumene, kar izgleda zelo efektno!), bo treba R10 nastaviti tako, da se izenačijo svetlobne jakosti.

Naprava se napaja prek omrežnega napajalnika z izhodno napetostjo 5 V. Poraba toka znaša nekaj deset mA, zato je za ta namen idealen polnilnik za mobilni telefon. Pred uporabo se prepričajte, da je izhodna napetost stabilna, saj vezje ne vsebuje ustreznega napetostnega regulatorja.

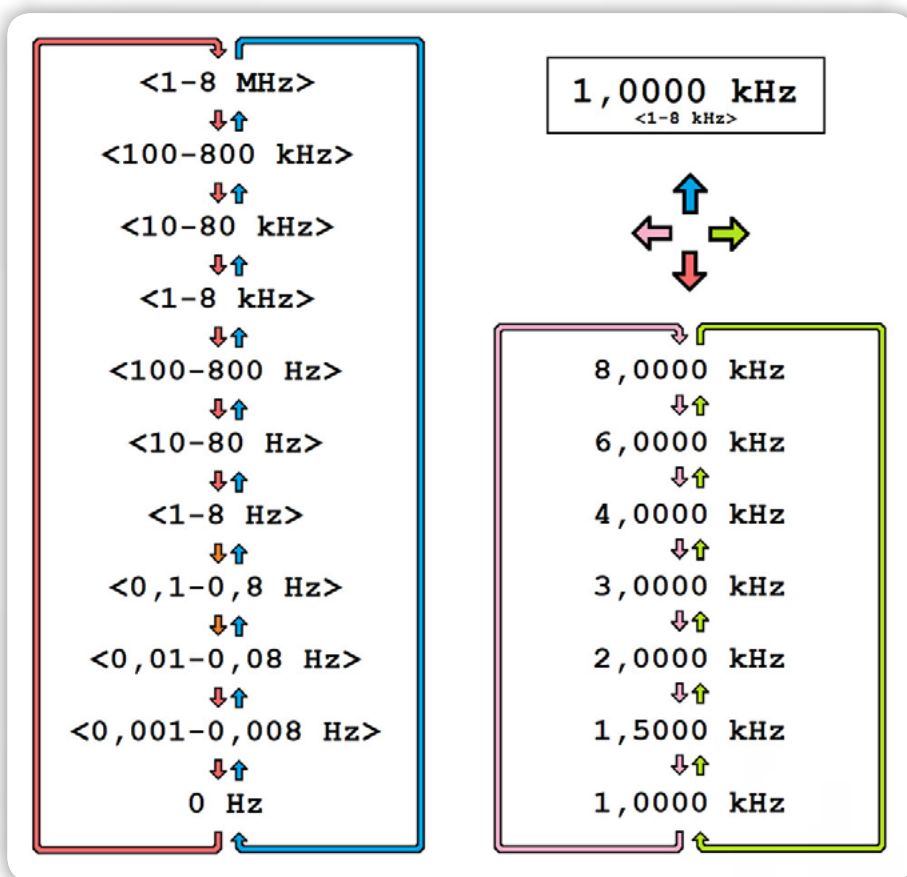
Slika 5 prikazuje razpored komponent na tiskanem vezju. Opazili boste, da je vezje zasnovano tako, da omogoča vgradnjo integriranih vezij v običajnih (THT) ali SMD ohišjih. Razlog je preprost: SMD različice je zdaj lažje dobiti in so precej cenejše,



poleg tega pa se številna zanimiva integrirana vezja, kot je na primer LVC1G126, proizvajajo izključno v SMD izvedbi; po drugi strani pa mi je bilo med razvojem programa veliko lažje programirati mikrokontrolerje v DIL ohišju. Fotografije na sliki 6 prikazujejo končne različice obeh naprav; na spodnji fotografiji sta na ploščo nameščena tudi displeja.

O programih

Programa za oba mikrokontrolerja, f_met_ATtiny84_SE.bas in f_ref_ATtiny44_SE.bas, sta napisana v programskem jeziku Bascom-AVR, vse rutine, pri katerih je odzivni čas ključnega pomena, pa so napisane v assemblerju. Za prikaz na zaslonu programa uporabljata rutine iz knjižnice OLED\$SE.sub, ki smo jo podrobno opisali v reviji Svet elektronike 233-236. V tem primeru je bila knjižnica prilagojena za čip SSD1306 in zmanjšana tako, da zavzema čim manj programskega pomnilnika. Dejansko je bil velik izziv, da se je vse potrebno namestilo v programski pomnilnik, ki je v obeh primerih zapolnjen do 99 %. Da bi zmanjšali porabo programskega pomnilnika, so bile



Slika 7: Izbor frekvenčnega področja in frekvence z joystickom.

VELIKA ODPRODAJA KNJIG

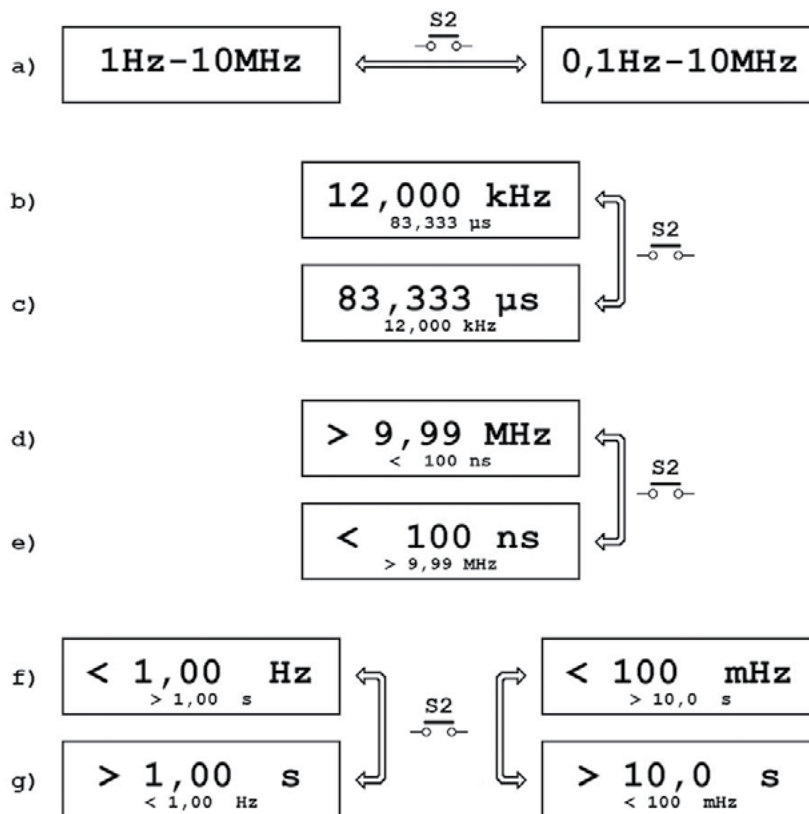
Izkoristi priložnost in si izberi svojo knjigo po top ceni. Zaloge so omejene, zato pohiti!



Tehniška založba Slovenije

Odkrijte ponudbo knjig na www.tzs.si ter na tel: 01 479 02 24

MODRA ŠTEVILKA
080 17 90



Slika 8: Prikazi na displeju merilnika frekvence.

nekatere tabele v programu f_ref_ATtiny44_SE.bas predstavljene v EEPROM mikrokontrolerja, kar je treba upoštevati pri programiranju čipa.

Način uporabe

Ko vklopimo napajalno napetost, generator impulzov preide v stanje pripravljenosti: na zaslonu se prikaže »0 Hz«, svetlost zaslona se zmanjša na minimum, izhodna napetost pa znaša 0 V. Generator aktiviramo s premikanjem ročice joysticka navzgor ali navzdol. Z nadaljnjim premikanjem navzgor/navzdol izberemo željeni merilni razpon, z premikanjem v levo/desno pa frekvenco znotraj izbranega merilnega razpona (slika 7). Izbrana frekvenca se prikaže z velikimi črkami na sredini zaslona, merilni razpon pa z majhnimi črkami na dnu zaslona.

Merilnik frekvence ima dve merilni območji: osnovno (1 Hz–10 MHz) in razširjeno (0,1 Hz–10 MHz). Takoj po vklopu merilnik frekvence prikaže, kateri merilni razpon je aktiven (slika 8a). Medtem ko je to sporočilo na zaslonu, lahko merilni razpon spremenite s pritiskom na tipko S2 za več kot pol sekunde. Sprememba se shrani v EEPROM in ostane veljavna do naslednje spremembe.

Sporočilo, ki prikazuje izbrani merilni razpon, se izbriše po približno 2 sekundah, nato pa merilnik začne meriti frekvenco vhodnega signala. Signal mora biti pravokotne oblike, združljiv s TTL ali HCT, z optimalno amplitudo 2,5–5 V. Merilnik samodejno izbere merilni razpon, v katerem lahko doseže največjo natančnost.

Možna sta dva načina prikaza:

- Izmerjena frekvenca se prikaže z velikimi črkami na sredini displeja, perioda pa z manjšimi črkami na dnu displeja (b) in
- Izmerjena perioda je prikazana z velikimi črkami na sredini displeja, frekvenca pa z manjšimi črkami na dnu displeja (c).

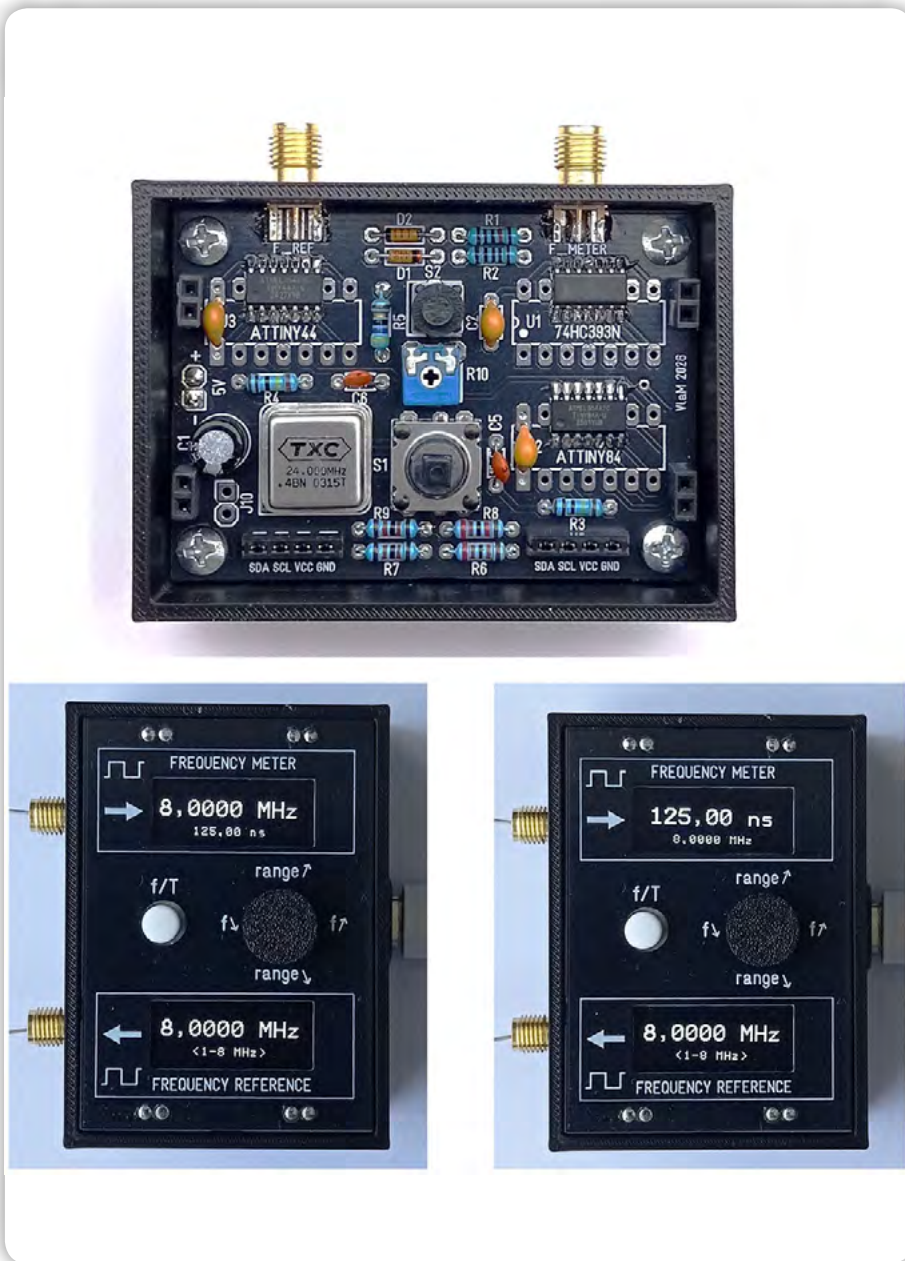
Način prikazovanja se spremeni ob pritisku na tipko S2 in ostane shranjen do naslednje spremembe. Odzivni čas tipke S2 je odvisen od merjene frekvence in znaša približno 0,5 s pri višjih frekvencah, 1–2 s pri frekvencah okoli 1 Hz ter do 20 s pri najnižjih frekvencah. Prikaz je neodvisen od izbranega merilnega območja.

Najvišja frekvenca, ki jo lahko merilnik izmeri, je 9,9999 MHz. Če je frekvenca višja, se bo glede na izbrani način prikazovanja prikazalo sporočilo d) ali e).

Če je izbran osnovni merilni razpon, je najnižja frekvenca, ki jo je mogoče meriti, 1 Hz. Če je izbran razširjeni merilni razpon, je najnižja frekvenca, ki jo je mogoče meriti, 0,1 Hz. Kadar je vhodna frekvenca prenizka, se prikaže sporočilo f) ali g). Če to stanje traja več kot eno minuto, se svetlost zaslona zmanjša na najnižjo raven, merilnik frekvence pa preide v stanje pripravljenosti. Merilnik se samodejno vklopi takoj, ko vhodna frekvenca pade v merilni razpon.

Opombe

Odzivni čas po pritisku na tipko S2 je odvisen od izmerjene frekvence, saj mora mikrokontroler najprej zaključiti trenutno merjenje, preden preveri stanje tipke. Pri frekvencah pod 1 Hz



Slika 9: Naprava je nameščena v primerni škatli, priključena na električno napajanje in – deluje!

lahko to traja 10–20 sekund. Torej, če ne nameravam meriti tako nizkih frekvenc, priporočam, da izberete osnovno merilno območje, 1 Hz–10 MHz – program bo deloval precej hitreje, delo z napravo pa bo bolj tekoče.

Teoretično mora biti najvišja frekvenca, ki jo lahko izmerimo s štejetem impulzov, nižja od polovice frekvence takta. Glede na to merilo bi v našem primeru najvišja frekvenca, ki jo lahko izmerimo, znašala 12 MHz. Vendar to velja le, če je razmerje med signalom in pavzo 1:1 in če ima signal pravokotne robove ter popolnoma pravokotno obliko. V nasprotnem primeru se najvišja frekvenca zmanjša, saj mikrokontroler ne bo mogel prepoznati vsakega impulza. Na primer, naš merilnik ne bo pravilno izmeril frekvence 8 MHz, če je razmerje med signalom in pavzo 1:2 ali večje. (Meritev, prikazana na fotografiji na sliki 9, je izjema: ker merilnik in generator poganja isti kvarčni oscilator, oba mikrokontrolerja delujeta »v fazi«, zato na merilnik pri tej frekvenci ne vpliva razmerje med signalom in pavzo 1:2.)

Razmerje med signalom in pavzo ne vpliva na natančnost merjenja, dokler je trajanje impulza ali pavze daljše od trajanja enega takta. V našem primeru bi ta meja znašala 41,7 ns, tudi če bi bili impulzi idealno oblikovani.

Programe `f_met_ATtiny84_SE.bas` in `f_ref_ATtiny44_SE.bas` ter knjižnico `OLED$SSD1306_32x128_mali.sub` lahko dobite v uredništvu revije Svet elektronike!

<https://svet-el.si>



POSEBNA PONUDBA

Ob nakupu knjige vam pripada

BREZPLAČNA
POŠTNINA

<https://trgovina.svet-el.si/>

Python in MikroPython – 6. del

Avtor: dr. Simon Vavpotič

Python in MikroPython sta popularna programska jezika med nadobudnimi mladimi programerji. Kako se lotiti kompleksnejšega projekta?

V preteklem nadaljevanju smo se lotili programiranja pravega drona na osnovi ESP32 modula in MicroPythona. Tokrat bomo preverili možnosti za gradnjo pametnega drona z Raspberry Pi 5 s 16 GB RAM in Raspberry Pi AI HAT+ 2 modulom z 8 GB RAM, ki omogoča hitro prepoznavanje predmetov v prostoru in uporabo velikih jezikovnih modelov (LLM) za pomoč pri odločanju.

Ko Raspberry Pi 5 dobesedno poleti!

Večina izdelovalcev dronov meni, da Raspberry Pi 5 ni pametno uporabiti za neposredno upravljanje drona, saj je pri tem potrebno zagotoviti natančne časovne sekvence za upravljanje njegovih motorjev. To naj bi bilo v kompleksnem operacijskem sistemu, kot je Linux, težko izvedljivo. Res je, da ima Raspberry Pi 5 vgrajen tudi RP1 vhodno-izhodni mikrokontroler, vendar pri Raspberry Piju niso razkrili njegove dokumentacije, niti objavili programskih orodij, s katerimi bi ga lahko uporabniki programirali. Zato pa lahko Raspberry Pi 5 uporabimo za višje-nivojske funkcije, kot so razpoznavanje predmetov in okolice, načrtovanje leta in komunikacijo z daljinskim upravljalnikom drona.

Raspberry Pi 5 lahko povežemo s Pixhawk krmilnikom, na katerega namestimo odprtokodno vgrajeno programsko opremo Ardupilot ali PX4. Pixhawk lahko kupimo v kompletu mRo Pixhawk 2.4.6 Essential Kit ali posamično na Amazon.de in ga z Raspberry Pi 5 povežemo prek zaporednega vmesnika. Vgrajen ima MPU6000 merilnik pospeškov in giroskop, barometer, ki ga uporablja tudi kot višinomer, ter digitalni kompas, ki zagotavlja stabilnost poleta. Omogoča tudi priklop dodatnih tipal in komunikacijskih modulov, med katerimi je tudi GPS sprejemnik za natančno določanje lokacije drona s pomočjo satelitov. Krmilnik letenja ima na eni od stranic tudi vrsto napajalnik in krmilnih priključkov za krmiljenje motorjev in ostale elektronike.

Prednost uporabe Raspberry Pi 5 kot krmilnika drona pred drugimi računalniki na eni plošči tiskanega vezja je možnost nadgradenj z Raspberry Pi AI HAT+ 2 klobukom z nevronske procesne enote Hailo-10H z 8 GB RAM in z digitalno kamero, ki jo povežemo prek enega od priključkov MIPI. To omogoča prepoznavanje terena in predmetov na njem, s čemer dron dobi tudi možnost samodejnega videnja in pristanka na označeno visoko kontrastno podlogo na tleh. Tovrstne funkcije so vgrajene tudi v profesionalne drone v cenovnem razredu od 1.500 evrov naprej.



Slika 1: Dron z Raspberry Pi 5 kot glavnim krmilnikom

Program v Pythonu za upravljanje drona

Zdaj, ko znamo sestaviti pametni dron pogledajmo še, kako v Pythonu napišemo program za njegovo samodejno vodenje, ki



Slika 2: Pixhawk krmilnik letenja za drona

v okolici poišče objekt in zaokroži nad njim. V prvem koraku namestimo podporo za Raspberry Pi AI HAT+ 2 in kamero:

```
sudo apt update && sudo apt full-upgrade -y
sudo apt install -y hailo-all rpicam-apps
python3-opencv
sudo reboot
```

V Raspberry Pi OS lahko nove programske knjižnice za Python nameščamo zgolj v navidezna Pythona okolja. Več o njih lahko preberete v drugem delu nadaljevanke v SE349. Zato v drugem koraku najprej izdelamo novo navidezno okolje ali uporabimo obstoječega in vanj namestimo potrebne programske knjižnice z ukazom: `pip install dronekit opencv-python numpy`. Nato se lotimo programiranja.

Prvi del program zgolj uvozi potrebne programske knjižnice za matematične, umetno-inteligenčne (UI) funkcije in funkcije za upravljanje drona.

```
import time
import math
import sys
import argparse
import cv2
import numpy as np
from dronekit import connect, VehicleMode,
LocationGlobalRelative
```

Zdaj se lahko vzpostavimo delovanje serijske povezave med Raspberry Pi 5 in krmilnikom letenja. Hitrost povezave je tipično 57600 bps ali 921600 bps, pri čemer krmilnik letenja z Raspberry Pi 5 povežemo prek priključkov GND (kontakt 6) GPIO14 (kontakt 8) in GPIO15 (kontakt 10) 40-polne razširitvene vtičnice.

```
connection_string = '/dev/ttyAMA0'
print(f«Connecting to vehicle on: {connection_string}«)
vehicle = connect(connection_string,
wait_ready=True, baud=57600)
```

Naslednji korak je zagon digitalne kamere, pri katerem si pomagamo s programsko knjižnico `cv`, katere ime je pravzaprav okrajšava za computer vision (slov. računalniški vid). To storimo z ukazom `VideoCapture(<številka video naprave>)`, v katerem programsko zgradimo `cv2` programskega objekta za zajemanje videa iz kamere. V spodnjem primeru smo za številko video naprave izbrali 0, vendar pa je dejanska številka odvisna od različnih faktorjev, tudi od tega ali je z Raspberry Pi 5 hkrati povezanih več kamer.

```
cap = cv2.VideoCapture(0)
```

V naslednjem koraku prav tako s konstanto določimo, kakšen objekt naj dron

poišče. Možne vrednosti so določene z izbranim UI modelom. V našem primeru smo izbrali objekt z identifikacijsko številko 0.

```
TARGET_CLASS_ID = 0
TARGET_LOCKED = False
```

Zdaj se lahko lotimo procedur za kontrolo letenja. Priprava na polet in vzlet je pomembna procedura, ki dron samodejno dvigne od tal na vnaprej določeno varno višino od tal, kjer počaka na nadaljnje ukaze. Pri tem program nastavi način delovanja drona na vodenje (angl. »GUIDED«) in omogoči zagon motorjev s postavitvijo vrednosti spremenljivke »armed« na True (slov. resnično), nakar počaka eno sekundo, da dron v celoti izvede priprav. Naslednji ukaz poznamo, saj smo podobnega uporabljali že 4. delu nadaljevanke v SE351, ko smo vzletali z navideznim dronom. `Simple_takeoff` je ekvivalent ukaza `take_off`, ki kot edini parameter sprejme relativno višino v metrih, na katero se dron po vzletu dvigne od tal. Višina je podana v metrih zato, ker je pri letenju v naravi bistveno več prostora, kot pri letenju v zaprtih prostorih, še vedno pa lahko s pomočjo decimalnih mest višino določimo tudi natančneje.

```
def arm_and_takeoff(target_altitude):
    ««Arms the drone and flies it up to a specified target altitude.««
    print(«Performing pre-arm checks...«)
    while not vehicle.is_armable:
        print(« Waiting for vehicle to initialize...«)
        time.sleep(1)
    print(«Arming motors...«)
    vehicle.mode = VehicleMode(«GUIDED«)
    vehicle.armed = True
    while not vehicle.armed:
        print(« Waiting for arming...«)
        time.sleep(1)
    print(f«Taking off to {target_altitude} meters!«)
    vehicle.simple_takeoff(target_altitude)
```

NAROČNIŠKA AKCIJA

NAROČI SE NA REVILJO

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 zaloga! Ponudba 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: narocnine@stromboli.si

IZBERI DARILO:
USB ključek, PowerBank ali Bluetooth slušalke

- USB ključ Apacer AH355 128 GB 3.2
- PowerBank Joyroom JR-PBF19 10 000mAh
- Bluetooth slušalke Joyroom ANC JR-FH3

NAROČI SE ZDAJ

QR code for subscription

Pred nadaljevanjem počakamo, da se dron dvigne na ciljno višino. Pri tem prek spremenljivke `vehicle.location.global_relative_frame.alt` ves čas spremljamo njegovo trenutno višino. Ko ta doseže 95 odstotkov žele višine, prenehamo s čakanjem, saj bo dron pričakovano višino dosegel prej kot v sekundi.

```
while True:
    print(f« Altitude: {vehicle.location.global_relative_frame.alt:.1f}m«)
    if vehicle.location.global_relative_frame.alt >= target_altitude * 0.95:
        print(»Target altitude reached.«)
        break
    time.sleep(1)
```

Funkcija `send_velocity_command` sprejme tri parametre, od katerih vsak določa hitrost gibanja po eni od treh geometrijskih osi v prostoru. Kot vidimo, smo nekatere parametre pustili na vrednosti 0, s čemer krmilniku letenja prepustimo, da izbere njihove optimalne vrednosti, oziroma, da jih izračuna iz razpoložljivih podatkov. V ta namen določimo tudi 16-bitni niz binarnih vrednosti, kjer z vrednostjo 1 označimo vse parametre, ki jih želimo nastaviti. V našem primeru so to samo hitrosti po posameznih geometrijskih oseh x , y in z .

```
def send_velocity_command(vx, vy, vz):
    »««Sends a velocity vector command directly to the flight controller.»««
    msg = vehicle.message_factory.set_position_target_local_ned_encode(
        0,          # time_boot_ms (not used)
        0, 0,      # target system, target component
        1,         # coordinate frame (Local NED)
        0b0000111111000111, # type_mask (only speeds enabled)
        0, 0, 0,  # x, y, z positions
        vx, vy, vz, # x, y, z velocities in m/s
        0, 0, 0,  # x, y, z acceleration
        0, 0      # yaw, yaw_rate
    )
    vehicle.send_mavlink(msg)
```

Za kroženje okoli odkritega objekta, oziroma izbrane točke v prostoru definiramo funkcijo `orbit_target`, pri kateri podamo polmer kroga in hitrost. Med kroženjem okoli ciljne točke obenem želimo, da je prednji del drona (s kamero) ves čas usmerjen v smeri ciljne točke.

```
def orbit_target(radius, speed):
    »««Commands the drone to perform a coordinated circle orbit around its current spot.»««
    print(f«Orbiting target at radius {radius} m, speed {speed}m/s...«)

    # Calculate the required angular velocity (yaw rate) for a stable orbit
    # Angular velocity = linear velocity / radius
    yaw_rate = math.degrees(speed / radius)
```

```
# In Guided Mode, we send velocity vectors relative to the vehicle
# To orbit, move sideways (Y-axis) while constantly turning (Yaw)
msg = vehicle.message_factory.set_position_target_local_ned_encode(
    0, 0, 0, 1,
    0b0000101111000111, # Mask enabling velocity and yaw rate
    0, 0, 0,
    0, speed, 0,        # Move right/sideways relative to heading
    0, 0, 0,
    0, math.radians(yaw_rate) # Spin to keep face locked to center
)
vehicle.send_mavlink(msg)
```

Zdaj je čas, da se lotimo funkcij za računalniški vid. Najprej inicializacija kamere prek vmesnika MIPI in določitev besednih oznak vrst predmetov:

```
try:
    from picamera2 import Picamera2
    from picamera2.post_processing import HailoObjectDetection
    MIPI_AVAILABLE = True
except ImportError:
    MIPI_AVAILABLE = False
COCO_LABELS = {
    0: 'person', 1: 'bicycle', 2: 'car', 3: 'motorcycle', 4: 'airplane',
    5: 'bus', 6: 'train', 7: 'truck', 8: 'boat', 9: 'traffic light',
    15: 'cat', 16: 'dog', 17: 'horse', 18: 'sheep', 19: 'cow'
}
```

Po potrebi lahko v tabelo `COCO_LABELS` dodamo tudi druge vrste premetov. V naslednjem koraku preverimo, ali je kamera na voljo in zaženemo zajemanje video toka:

```
def run_mipi_camera(model_path, threshold):
    if not MIPI_AVAILABLE:
        print(»[-] Picamera2 libraries missing.«)
        sys.exit(1)
    picam = Picamera2()
    config = picam.create_preview_configuration(main={»size«: (640, 480),
        »format«: »RGB888«})
    picam.configure(config)
```

Kot vidimo, sta ključna ukaza `picam.create_preview_configuration`, s katerim ustvarimo novo nastavitve kamere (v našem primeru je velikost okvira 640 x 480 pik, format pa RGB888, oz. po en bajt za vsako od osnovnih barv), z ukazom `configure` pa nato konfiguracijo prenesemo v objekt kamere `picam`. Naslednji korak je vzpostavitev delovanja Hailo-10H modula, za katerega, tako kot za kamero, najprej pripravimo konfiguracijo:

```

hailo_config = {
»post_processing_stage«: »object_detection«,
»model_file«: model_path,
»threshold«: threshold
}

```

Kot vidimo, s prvim parametrom določimo način poprosesanja, ki ga nastavimo na object_detection (slov. detekcija objektov). Drugi in tretji parameter prenesemo iz parametrov funkcije run_mipi_camera(model_path, threshold). Pri tem je model_path pot do UI modela, ki ga naložimo v Hailo-10H modul, threshold pa prag zaupanja, nad katerim verjamemo, da je odkriti predmet res to, kar Hailo-10H modul misli, da bi lahko bil. Detekcija predmetov nikoli ni izvedena s 100-odstotno gotovostjo, zato pa lahko algoritem izračuna zaupanje v rezultat. Naloga našega visokonivojskega programa je le, da se odloči, ali bo rezultatu detekcije zaupal ali ne.

Zdaj lahko zaženemo kamero in razpoznavanje predmetov, kar storimo s tremi glavnimi ukazi: HailoObjectDetection prenese konfiguracijo v Hailo-10H modul. Funkcija process_ai_inference je del sklopa funkcij za računalniški vid, funkcija sprejme strukturo frame z enim slikovnim okvirom iz kamere (eno sliko), nakar podatkovno strukturo frame obdela v Hailo-10H modulu z metodo process v objektu detector. Odgovor dobimo v programski strukturi detections, ki vsebuje podatke o morebiti najdenih predmetih. Navadno rezultate tudi grafično predstavimo na veliko prikazovalnik, a za nadaljnje procesiranje v krmilniku drona to niti ni potrebno, razen če prek brezžične povezave prenašamo tudi živo sliko s kamere drona, kar ni redko. Zato pogledjmo, kako v živo sliko s kamere vstavimo kvadratni okvir okoli detektiranega predmeta. V našem primeru z UI metodami obdelujemo slikovne okvire velikosti 640 x 480 pik.

```

def process_ai_inference(frame):
detector = HailoObjectDetection(hailo_config)
picam.start()
try:
detections = detector.process(frame)
display_frame = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_RGB2BGR)
for det in detections:
class_id, confidence, (x, y, w, h) = det
label = COCO_LABELS.get(class_id, f«ID: {class_id}«)
x1, y1 = int(x * 640), int(y * 480)
x2, y2 = int((x + w) * 640), int((y + h) * 480)
cv2.rectangle(display_frame, (x1, y1), (x2, y2), (0, 255, 0), 2)
cv2.putText(display_frame, f«{label} {confidence:.2f}«, (x1, y1 - 10),
cv2.FONT_HERSHEY_SIMPLEX, 0.5, (0, 255, 0), 2)
cv2.imshow(»AI HAT+ 2 Detection - MIPI«, display_frame)
if(class_id==TARGET_CLASS_ID)

```

break

```

catch:
return class_id==TARGET_CLASS_ID, x1, y1,
x2, y2

```

Končno se lahko lotimo še glavne programske zanke. Dron se po vzletu dvigne na višino 5 metrov in začne iskati iskani objekt. Najprej iz kamere zajamemo slikovni okvir. Če to spodleti, iskanja objekta ni mogoče izvesti in program vrne napako, ki jo mora dron posredovati svojemu upravljalcu – pilotu.

```

try:
arm_and_takeoff(5.0)
search_start_time = time.time()
while True:
ret, frame = cap.read()
if not ret:
print(»Failed to grab camera frame.«)
break

```

Sledi klic zgoraj definirane funkcije process_ai_inference, katere edini vhodni parameter je slikovni okvir. Funkcija v slednjem nato s pomočjo Hailo-10H modula poišče iskani objekt. Če je ustreznih objektov več, vrne prvega.

```

target_found, cx, cy, tw, th = process_ai_inference(frame)

```

Zdaj preverimo le še, če smo iskani objekt, oziroma tarčo nemara že odkrili. V tem primeru je vrednost spremenljivke TARGET_LOCKEDTrue, sicer pa False in je potrebno zato tarčo zakleniti, kar pomeni, da bo dron prenehal iz iskanjem tarč, in bo namesto tega začel krožiti nad lokacijo zaklenjene tarče:

```

if target_found and not TARGET_LOCKED:
TARGET_LOCKED = True
target_location = vehicle.location.global_relative_frame

```

Če je tarča zaklenjena sledi klic ukaza orbit_target s parametroma: premer kroga je 4 metre in hitrost drona je 2 metra na sekundo (7,2 km/h). Če tarče ni opaziti, dron lebdi in čaka največ 2 minuti, da se iskani objekt znajde v vidnem polju njegove kamere.

```

if TARGET_LOCKED:
orbit_target(radius=4.0, speed=2.0)
else:
send_velocity_command(0, 0, 0) # Hover
if time.time() - search_start_time > 120:
print(»Mission timer expired.«)
break
time.sleep(0.1)

```

Zadnji del programa omogoča varen pristane drona po dveh minutah letenja. Zaključek programa obenem po pristanku tudi zaustavi zajemanje slike s kamere in prenos podatkov iz drona v računalnik, oziroma daljinski upravljalnik upravljavca drona.

```

finally:

```

```
print(»Landing the drone safely...«)
vehicle.mode = VehicleMode(»LAND«)
cap.release()
vehicle.close()
```

Kaj pa MikroPython?

V preteklih nadaljevanjih smo se reševanja problemov lotevali tako v Pythonu kot v MikroPythonu. Tokrat smo se odločili samo za Python, ki je namenjen zmogljivejšim (mini) računalnikom. Za razvoj mini dronov z enostavnimi doma narejenimi krmilniki letenja na spletu najdemo številne rešitve, tudi take na osnovi Raspberry Pi Pico 2W. Mi smo raje uporabili preizkušeni Pixhawk, na katerega lahko namestimo popularno vgrajeno programsko opremo za upravljanje dronov, ArduPilot, ne da bi nam bilo potrebno sprogramirati ustrezne programske vmesnike.

Vsekakor pa je treba poudariti, da je MicroPython nastal predvsem zaradi sorazmerno majhne zmogljivosti mikrokontrolerjev, ki jih pri zahtevnejših projektih danes že nadomeščajo.

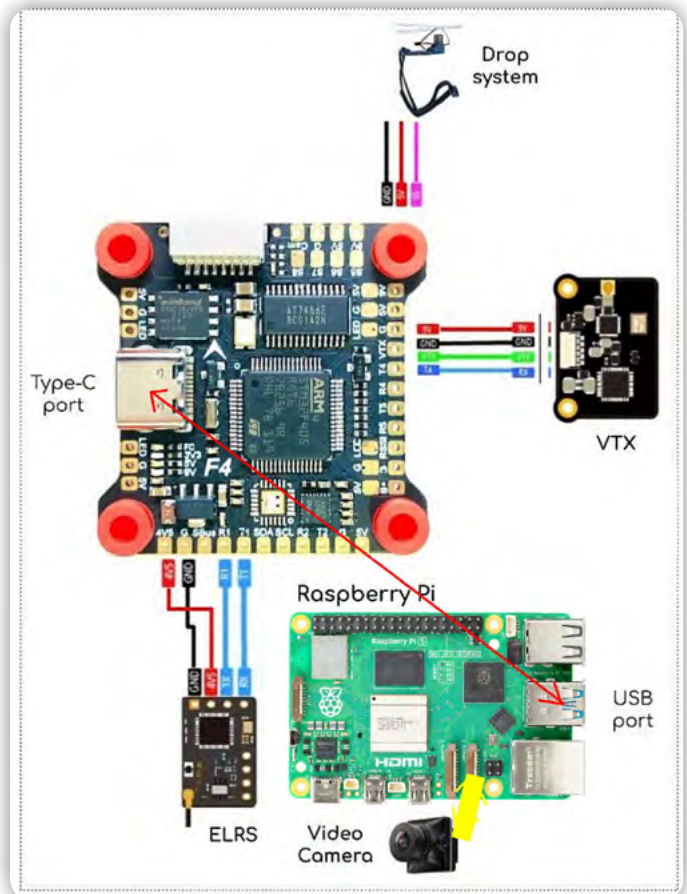
Danes pa včasih po velikosti skoraj ne moremo ločiti razvojne ploščice z mikrokontrolerjem in mini SBC-ja, kakršen je Raspberry Pi Zero. Vseeno za učinkovito rabo umetne inteligence potrebujemo več zmogljivosti, kot jo lahko ponudi mikrokontroler, zato smo se odločili, da tokrat ostanemo pri Pythonu.

Vsak konec je lahko nov začetek

Raspberry Pi 5 z Raspberry Pi AI HAT+ 2 klobukom je gotovo dobra izbira za izvajanje UI nalog, vendar pa bi dron, ki bi ga opremili z njim, tehtal en kilogram ali več, saj moramo upoštevati tudi težo krmilnika letenja Pixhawk, baterij, motorjev, okvira, propelerjev in ostalih delov. Za tako velike drone pa potrebujemo dovoljenje za upravljanje oziroma pilotiranje.



Slika 4: Dron na osnovi Raspberry Pi 5 pred vzletom



Slika 3: Shema drona

Bistveno lažji dron lahko izdelamo le z računalnikom, kakršna sta Raspberry Pi Zero 2W in Orange Pi Zero 3W, o katerem prav tako lahko preberete v tej številki Sveta elektronike. Orange Pi Zero 3W ima vgrajeno tako nevronske procesne enote, kot tudi E902 I/O krmilnik, ki mi omogoča neposredno krmiljene motorje, brez dodatnega krmilnika letenja. To pa je že nov projekt, ki se ga bodo nadobudni razvijalci dronov gotovo prej ali slej lotili in načrte zanj objavili na spletu. Velja poudariti,

da ima Orange Pi Zero 3W, tako kot Raspberry Pi 5 na voljo dva priključka za digitalno kamero, kar lahko omogoči stereoskopski vid, ali pa namesto tega zelo široko vidno polje.

Spoznali smo številne možnosti programiranja Pythonu in MikroPythonu. Čeprav je od zamisli do končnega izdelka pogosto potrebnih več let razvoja, je pričujoča serija člankov, ki se tokrat zaključuje, lahko odskočna deska, ko se boste podajali v nove projekte.

YouTube kanal: <https://youtube.com/pcusbprojects>, spletna stran: <https://pcusbprojects.com>



Račun brez krčmarja

Beseda »ceneje« se v upravah podjetij sliši precej bolj prepričljivo kot »mogoče«, »približno« ali »včasih tudi narobe«. Toda pravljica, da bo umetna inteligenca poceni in brezhibno nadomestila ljudi, se končuje.



OŽIVIMO STARE BRALNIKE KINDLE!

Amazon je izklopil stare bralnike Kindle, zato bodo ostali brez dostopa do trgovine in posodobitev. Ker pa deset let stare naprave še vedno delujejo brezhibno, jim lahko zagotovimo novo življenje.



MONITORPRO:

- IT v bančništvu
- IT v zavarovalništvu

Test FPV drona za 20 € | Test QNAP TS-464 | Nevromorfni čipi
| BIOS za zahtevne | Usmerjevalniki na mini računalnikih
| Euro-Office | Umetnost regularnih izrazov

Monitor
www.monitor.si

Doma narejen tester baterij

Instructables

V zadnjih letih je trg preplavilo veliko število poceni baterij, od katerih jih veliko izdelujejo neuradni proizvajalci. Glavna skrb v zvezi s temi baterijami je netočno označevanje zmogljivosti.

Pogosto se za te baterije navaja visoka zmogljivost, ki včasih presega 10.000 mAh, po cenah, ki se zdijo preveč dobre, da bi bile resnične. V resnici pa mnoge od teh baterij daleč zaostajajo za oglaševano zmogljivostjo, zagotavljajo slabo delovanje in predstavljajo potencialna varnostna tveganja zaradi prekomernega polnjenja ali pregrevanja.

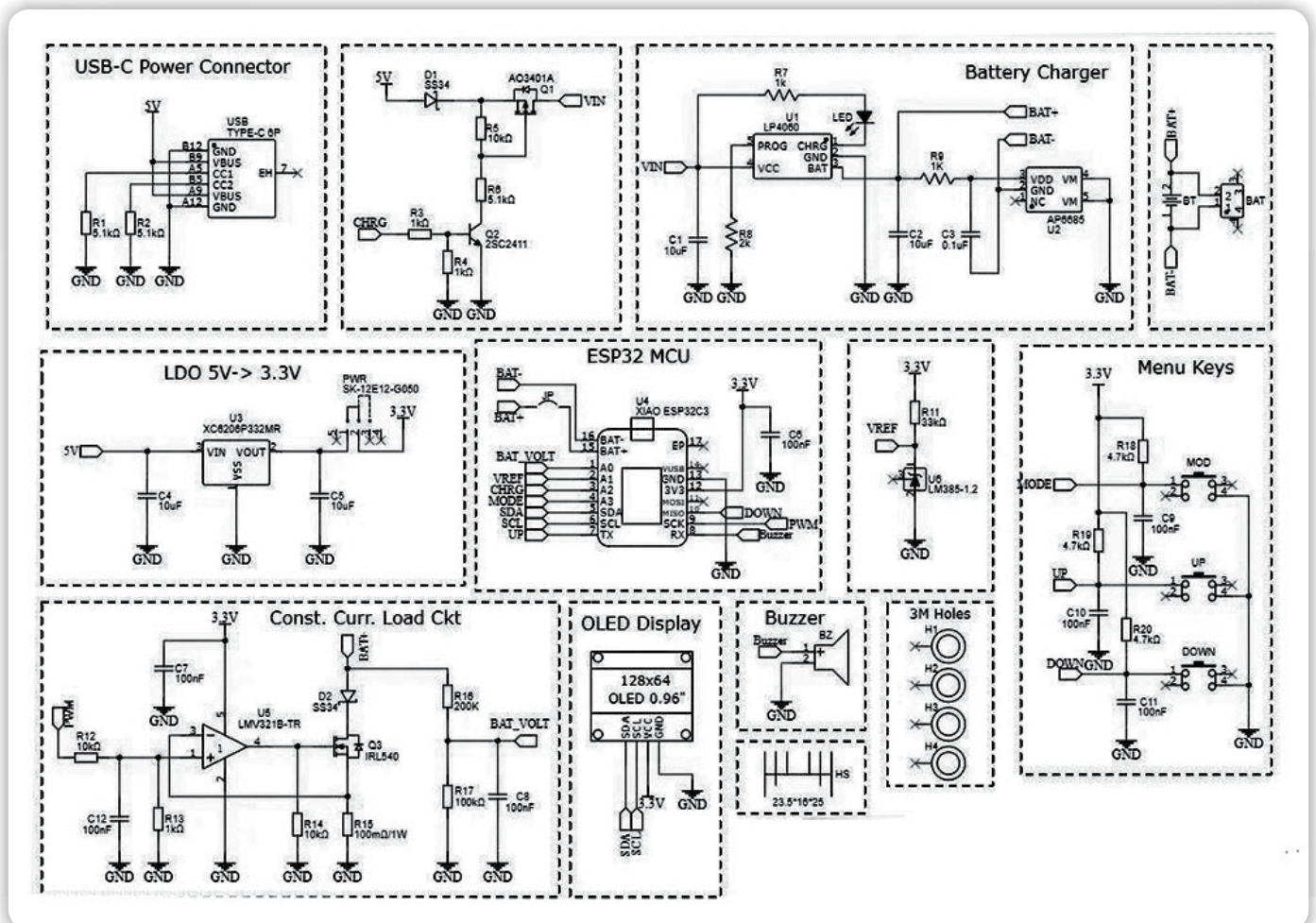
Za potrošnike in ljubitelje, ki se pri svojih projektih »naredi sam«, daljinsko vodenih modelih, prenosni elektroniki ali celo sončnih elektrarnah zanašajo na baterije, je ključnega pomena, da se prepričajo, da baterije, ki jih kupijo, ustrezajo obljubljenim specifikacijam. Na žalost razlikovanje med visokokakovostno baterijo in tisto nižje kakovosti, ni vedno možno zgolj na podlagi videza. Tu pride v ospredje naša naprava »Doma narejen pametni večnamenski tester baterij«. Uporabnikom omogoča, da preverijo zmogljivost kupljenih baterij, s čimer jim pomaga, da se izognejo težavam, povezanim z uporabo ponarejenih ali nekakovostnih baterij.

Nekaj časa nazaj sem razvil napravo Battery Capacity Tester V2.0, ki je bila namenjena predvsem praznjenju baterij za merjenje njihove zmogljivosti. Ker pa ji je manjkalo nekaj

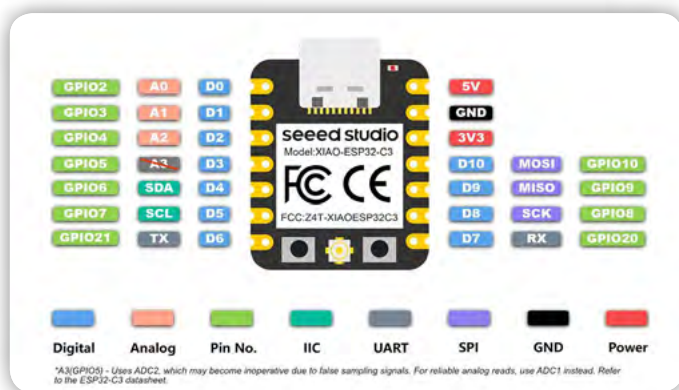


Slika 1: Potreben material za izdelavo testerja baterij

ključnih funkcij, sem se odločil razviti njeno izboljšano različico.



Slika 2: Shema testerja baterij



Slika 3: Priključki ESP32-C3

Kaj je novega v tej različici?

Prejšnja različica je bila namenjena izključno praznjenju baterije za preizkušanje zmogljivosti. V tej različici pa lahko uporabniki baterijo tako polnijo kot tudi praznijo, s čimer se naprava dejansko spremeni tudi v polnilnik baterij.

V primerjavi z različico V2.0 so bile izboljšane predvsem naslednje funkcije:

1. XIAO ESP32 mikrokontroler:

Nova različica namesto Arduina uporablja mikrokontroler XIAO ESP32, kar omogoča manjšo velikost naprave in hkrati dodaja WiFi. To omogoča daljinsko spremljanje in upravljanje, tako da lahko uporabniki rezultate testiranja baterij spremljajo od kjerkoli.

2. Vezje integriranega polnilnika:

Za razliko od različice V2.0, pri kateri je bilo za popolno napolnitev baterije pred testiranjem potreben zunanji polnilnik, ima nova različica vgrajen polnilnik. To uporabnikom omogoča, da baterije napolnijo in testirajo v enem koraku, kar postopek poenostavi in naredi bolj priročen.

3. Kompakten SMD upor za merjenje toka:

Ta različica nadomešča obsežne keramične upore, uporabljene v različici V2.0, s kompaktnim SMD-uporom za merjenje toka. To ne le prihrani prostora, ampak tudi izboljša učinkovitost z zmanjšanjem akumulacije toplote, zaradi česar je tester bolj kompakten in lažji za uporabo.

4. Vgrajen nosilec baterije:

Vključuje nosilec za baterijo 18650, ki je neposredno vgrajen na tiskano vezje. Ta izboljšava odpravlja potrebo po zunanjem priključevanju baterij prek vijčnih sponk, kar je bilo značilno za model V2.0. Sedaj lahko uporabniki za hitro testiranje preprosto vstavijo baterijo 18650 v vgrajeni nosilec. Poleg tega je na voljo JST konektor za priključitev LiPo baterij ali drugih velikosti baterij, ki ne ustrezajo nosilcu 18650, kar ponuja večjo prilagodljivost pri vrstah baterij, ki jih je mogoče testirati.

5. Posodobitev programske opreme:

Trenutna programska oprema zdaj podpira štiri načine delovanja:

- **Način polnjenja:** *Neposredno polnjenje baterije z vgrajenim polnilnim vezjem.*
- **Način praznjenja:** *Nadaljevanje preizkušanja zmogljivosti baterije iz različice V2.0 s praznjenjem.*
- **Način analize:** *Samodejno polni, zaustavi in izprazni baterijo, da se izmeri njena dejanska kapaciteta.*

- **Način IR-preizkusa:** *Izmeri notranjo upornost za oceno stanja baterije.*

6. Nastavitev mejne napetosti:

Uporabniki lahko zdaj nastavijo napetost za prekinitev praznjenja s pomočjo tipk in OLED-zaslona, kar odpravlja potrebo po spreminjanju in ponovnem nalaganju kode.

Korak 1: Kaj potrebujete za izdelavo testerja?

1. Tester zmogljivosti baterij PCB V3.0 (PCBWay)
2. IC polnilnik baterij LP4060 (U1) – 1x (Aliexpress / LCSC)
3. IC za zaščito AP6685 (U2) – 1x (LCSC)
4. LDO XC6206P332MR (U3) – 1x
5. Mikrokontroler XIAO ESP32C3 (U4) – 1x
6. Operacijski ojačevalnik LMV321B (U5) – 1x
7. Napetostni referenčni element LM385-1.2 (U6) – 1x (LCSC)
8. OLED zaslon 0,96 palca 128x64 I2C (DSP) – 1x
9. Zvočni signalizator - piskalč (BZ) – 1x (LCSC)
10. Kondenzator 10 uF (C1, C2, C4, C5) – 4x
11. Kondenzator 100 nF (C3, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12) – 8x
12. Upor 1 kΩ (R3, R4, R7, R9, R13) – 5x
13. Upor 2 kΩ (R8) – 1x
14. Upor 4,7 kΩ (R18, R19, R20) – 3x
15. Upor 5,1 kΩ (R1, R2, R6) – 3x
16. Upor 10 kΩ (R5, R12, R14) – 3x
17. Upor 33 kΩ (R11) – 1x
18. Upor 100 kΩ (R17) – 1x
19. Upor 200 kΩ (R16) – 1x
20. Upor 100 mΩ/1 W (R15) – 1x (LCSC)
21. MOSFET s P-kanalom AO3401A (Q1) – 1x (LCSC)
22. NPN tranzistor 2N3904S (Q2) – 1x (LCSC)
23. MOSFET z N-kanalom IRL540 (Q3) – 1x (LCSC)
24. Dioda SS34 (D1, D2) – 2x
25. LED-0805 rdeča (LED) – 1x
26. Tipki (UP/DOWN) – 2x
27. Drsno stikalo (PWR) – 1x
28. JST konektor (BAT) – 1x (LCSC)
29. Nosilec baterije (BT) – 1x (LCSC)
30. Konektor TYPE-C (USB) – 1x (LCSC)
31. Hladilnik (HS) – 1x (LCSC)

Delovanje naprave lahko na splošno razdelimo na naslednje:

1. Mikrokontroler (XIAO ESP32C3)

Mikrokontroler XIAO ESP32C3 deluje kot možgani naprave. Krmili celotno delovanje naprave tako, da bere uporabniške ukaze prek tipk in obdeluje meritve napetosti in toka. Poleg tega krmili OLED zaslon, kjer prikaže podatke v realnem času.

2. Polnilno vezje

Za polnjenje priključene baterije se uporablja polnilno integrirano vezje LP4060. Mikrokontroler XIAO ESP32C3 krmili proces polnjenja prek MOSFET-a (Q1). Ko se vklopi način polnjenja, se MOSFET vklopi in omogoči pretok toka iz polnilnega tokokroga skozi baterijo.

Polnilnik deluje v načinu konstantnega toka in konstantne napetosti, kar zagotavlja varen postopek polnjenja. Schottky dioda SS34 (D1, D2) ščitijo vezje pred povratno napetostjo.

3. Vezje bremena s konstantnim tokom / vezje za praznjenje

V tem vezju izhod operacijskega ojačevalnika sledi vhodu (referenčni napetosti), da nadzira tok, ki teče skozi MOSFET in stranski upor.

Z nastavitvijo PWM vhoda lahko uporabnik nastavi praznilni tok, ki ga operacijski ojačevalnik vzdržuje prek povratne zanke, s čimer zagotovi enakomeren tok za merjenje kapacitete. V skladu z Ohmovim zakonom ($V = IR$) napetost na uporju za merjenje toka ustreza toku, ki teče skozi njega.

4. Merjenje napetosti in toka

Merjenje napetosti akumulatorja se izvaja z uporabo napestnega delilnika, ki napetost akumulatorja zniža na raven, ki jo lahko meri analogno-digitalni pretvornik (ADC). Merjenje toka se izvaja z uporabo upora z nizko vrednostjo za merjenje toka in spremljanjem padca napetosti na njem.

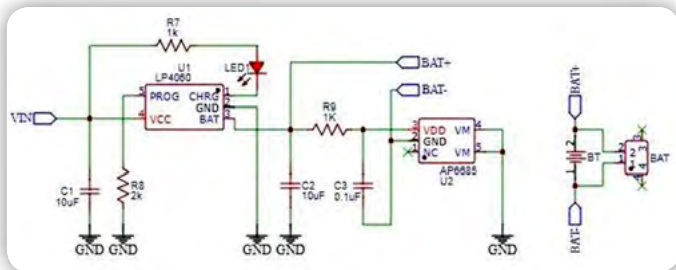
5. Zaslón in uporabniški vmesnik

OLED zaslon ponuja uporabniku prijazen vmesnik za upravljanje in spremljanje delovanja merilnika. Uporabnik lahko izbira med različnimi načini delovanja (polnjenje, praznjenje, analiza), nastavi mejne napetosti ter spremlja podatke v realnem času, kot so napetost, tok, kapaciteta in pretečen čas.

6. Napajanje

Vezje se napaja prek priključka tipa C (USB), ki zagotavlja potrebno napetost za mikrokontroler in polnilni vezje. Napetost 5 V USB se z uporabo LDO U3 zniža na 3,3 V. Stikalo za vklop (PWR) zapre tokokrog in tako napaja napravo.

Korak 2: Polnilno vezje



Slika 4: Shema polnilnega vezja

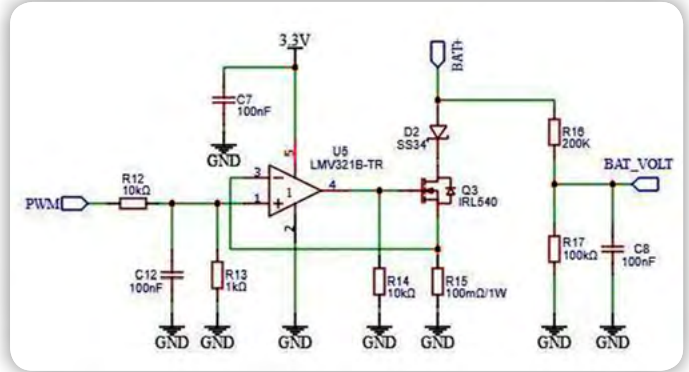
Polnilno vezje:

Zgrajeno je okoli integriranega vezja LP4060 (U1), ki omogoča polnjenje s konstantnim tokom in konstantno napetostjo, kar je idealno za enocelične litij-ionske baterije. Vezje zahteva le minimalno število zunanjih komponent, kot so upori in kondenzatorji. Vezje temelji na vezju za uporabo, navedenem v tehničnem listu.

Zaščitno vezje baterije:

Varnostno vezje za baterijo zagotavlja varnost litij-ionske baterije med delovanjem. Uporablja IC AP6685 (U2), ki vključuje notranji močnostni MOSFET, vezja za zaznavanje napetosti in vezja za zakasnitev, da zagotovi večplastno zaščito. Ta zaščita vključuje zaščito pred obratno polariteto, zaščito pred prekomernim polnjenjem, zaščito pred prekomernim praznjenjem in zaščito pred kratkim stikom obremenitve. To zagotavlja, da baterija ostane varna pred poškodbami med polnjenjem, praznjenjem ali naključno napačno uporabo.

Korak 3: Vezje za praznjenje



Slika 5: Vezje praznilnika baterije

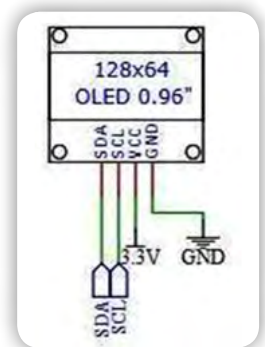
Praznilno vezje je zasnovano kot breme s konstantnim tokom. Za uravnavanje toka, ki se črpa iz akumulatorja, uporablja operacijski ojačevalnik (U5), signal PWM, upor za merjenje toka (R15) in MOSFET (Q3).

PWM-signal, ki ga ustvari XIAO ESP32C3 (U3), se filtrira skozi mrežo uporov in kondenzatorjev, da se ustvari enakovredna analogna napetost. Ta filtrirana napetost se dovaja na neinvertirajoči vhod operacijskega ojačevalnika, ki deluje kot sledilnik z ojačenjem enakim ena. Invertirajoči vhod operacijskega ojačevalnika je povezan prek upora za merjenje toka (R15), ki je v seriji s priključkom vira MOSFET-a.

Operacijski ojačevalnik nenehno prilagaja vrata MOSFET-a (Q3), da regulira tok, ki teče skozi upor, glede na napetost, nastavljeno s PWM signalom. V skladu z Ohmovim zakonom se tok nadzira z ohranjanjem konstantne napetosti na merilnem uporu. S tem se ustvari stabilna, nastavljiva obremenitev, ki prazni baterijo z določenim tokom, kar omogoča natančno merjenje zmogljivosti.

Korak 4: OLED zaslon

OLED je prek komunikacijskega protokola I2C povezan z mikrokontrolerjem XIAO ESP32C3, pri čemer se uporabljata dva priključka: SDA (podatkovna linija) in SCL (taktna linija). I2C-naslov za OLED je običajno 0x3C, ki se uporablja za komunikacijo med mikrokontrolerjem in zaslonom.



Slika 6: Shema priklopa OLED zaslona

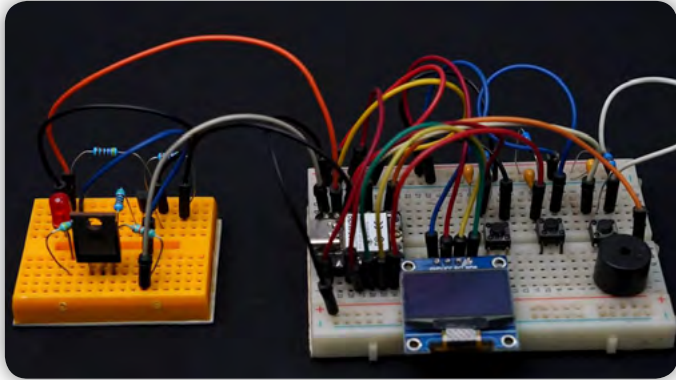
Strojne povezave morajo biti naslednje:

- SDA: priključeno na pin SDA na XIAO (pin 21)
- SCL: priključeno na pin SCL na XIAO (pin 22)
- VCC: priključeno na pin 3,3 V na XIAO ESP32C3
- GND: priključeno na pin GND na XIAO ESP32C3

Korak 5: Testiranje na razvojni plošči

Najprej sem vezje sestavil na preskusni plošči, da bi preveril njegovo delovanje. Tako sem lahko preveril pravilno delovanje vseh komponent, vključno z MOSFET-om, tipkami, zaslonom in drugimi elementi. Pozorno sem opazoval delovanje vezja med

polnjenjem in praznjenjem, da sem se prepričal, da vse deluje, kot je bilo predvideno. Ko je prototip na preskusni plošči deloval, kot sem pričakoval, sem nadaljeval z načrtovanjem tiskanega vezja.



Slika 7: Testiranje na razvojni plošči

Korak 6: Načrtovanje tiskanega vezja

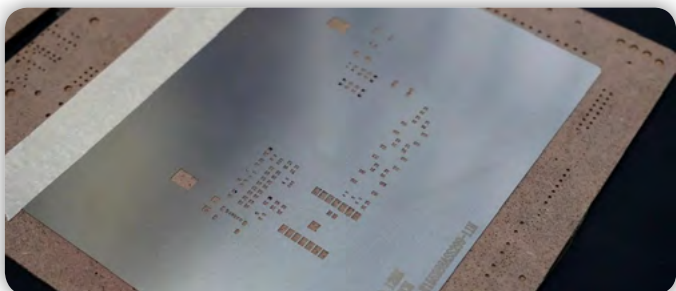
Po uspešnem načrtovanju prototipa tiskanega vezja sem oddal naročilo pri podjetju PCBWay in, kar me je zelo razveselilo, so mi ga v roku enega tedna dostavili na dom. Črno tiskano vezje s površinsko obdelavo z zlato potopno galvansko prevleko je izgledalo fantastično, kar mu je dajalo profesionalen in dovršen videz. Poleg tiskanega vezja sem naročil tudi šablono, kar se je izkazalo za pametno odločitev, saj je izboljšal proces sestavljanja.

Uporaba šablone prinaša številne prednosti. Znatno skrajša čas, potreben za nanos spajkalne paste, in zagotavlja, da je prava količina enakomerno porazdeljena po vseh kontaktnih ploščicah. To ne le pospeši proces sestavljanja, temveč tudi zmanjša možnost napak, kot so premoščanje ali premalo spajke na pad-ih. Natančnost šablone zagotavlja, da so komponente pravilno nameščene in spajkane, kar poveča učinkovitost celotnega procesa in zmanjša verjetnost popravkov.

Ko sem imel vse pripravljeno, sem se lotil sestavljanja tiskanega vezja s pomočjo šablone.

Korak 7: Poravnava šablone

Ploščo s tiskanim vezjem položite na ravno površino, da bo med postopkom ostala vodoravna.



Slika 8: Poravnava šablone

Okoli plošče s tiskanim vezjem razporedite štiri dodatne plošče s tiskanim vezjem, da se glavna plošča ne bo premikala. Te dodatne plošče delujejo kot opore, ki preprečujejo kakršno koli premikanje.

Z lepilnim trakom pritrdite štiri okoliške plošče s tiskanim vezjem na površino, da bo vse ostalo na svojem mestu.

Šablono previdno poravnajte na tiskanim vezju in poskrbite, da je popolnoma poravnana s SMD padi, na katere bodo nameščeni sestavni deli.

Robove šablone pritrdite z lepilnim trakom, da se med nanašanjem spajkalne paste ne bo premikala.

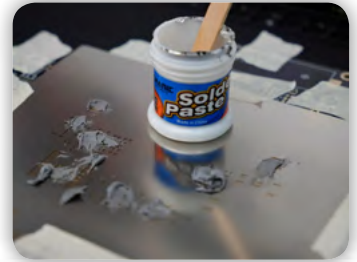
Korak 8: Dodajte spajkalno pasto

Ko je šablona pravilno poravnana, nanesite majhno količino spajkalne paste na zgornjo stran šablone.

S pomočjo lopatice ali kreditne kartice enakomerno razporedite spajkalno pasto po šabloni. Poskrbite, da pokrijete vsa izrezana mesta, na katera bodo nameščeni sestavni deli.

Odstranite vso odvečno spajkalno pasto in poskrbite, da je pasta nanesena le na izpostavljene površine.

Šablono previdno dvignite s tiskanega vezja, tako da spajkalna pasta ostane na površinah za SMD elemente.



Slika 9: Nanašanje spajkalne paste

Korak 9: Postavljanje komponent na TIV

S pomočjo pincete vzemite vsak element enega po enega v skladu s shemo.

Vsak element namestite na ustrezna SMD mesta na tiskanim vezju, na katera je že nanesena spajkalna pasta. Pri polariziranih elementih, kot so diode in LED-ice, poskrbite za pravilno usmeritev.

Ta postopek nadaljujte, dokler niso vsi elementi nameščeni na tiskanim vezju v skladu z načrtom.



Slika 10: Postavljanje komponent na TIV

Korak 10: Pretaljevanje paste

Ko so vsi sestavni deli na svojem mestu, previdno prenesite tiskano vezje na grelno ploščo ali v pečico za pretaljevanje. Nastavite temperaturo v skladu z navodili proizvajalca spajkalne paste (običajno med 220 °C in 240 °C). Za spajkanje sestavnih delov sem uporabil svojo grelno ploščo Miniware MHP50.

Pustite, da se grelna plošča ali pečica segreje in spajka tiskano vezje. Ko se spajkalna pasta stopi, se bodo komponente samodejno poravnale na spajkalne pad-e.

Ko je postopek spajkanja končan, odstranite tiskano vezje z



Slika 11: Pretaljevanje paste

grelna plošča, da preprečite pregrevanje, ki bi lahko poškodovalo komponente.

Pustite, da se tiskano vezje naravno ohladi. Ko se ohladi, očistite tiskano vezje z izopropilnim alkoholom (IPA), da odstranite morebitne ostanke spajke.

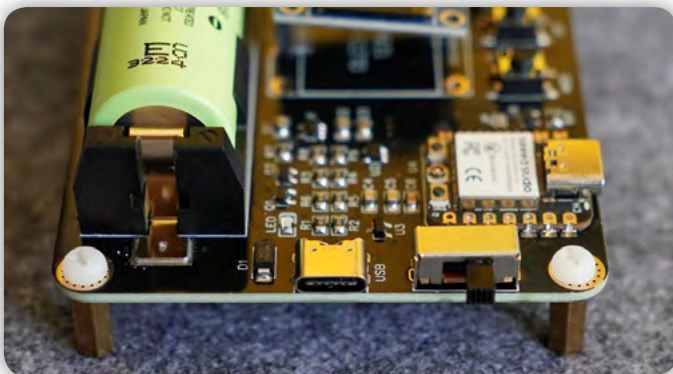
Ko se tiskana vezja ohladijo, jih natančno pregledajte, da se prepričate, da so vsi elementi pravilno spajkani.

Z lupo ali mikroskopom preverite, ali so prisotne slabo spajkane točke, napačno nameščeni elementi ali neželeni kratki stiki. Če opazite kakršne koli težave, kot so nepopolne povezave ali odvečna spajka, te težave odpravite z dodatnim spajkanjem s spajkalnikom.

Prepričajte se, da je vsak element pravilno nameščen in trdno spajkan, da se izognete kasnejšim težavam z delovanjem.

Korak 11: Namestite klasične THT komponente

Po spajkanju vseh SMD-komponent je naslednji korak spajkanje klasičnih komponent (THT), kot so: stikalo, piskač, MOSFET, hladilnik in ženski priključni konektorji za OLED-zaslon. Najprej spajkajte stikalo. Vstavite te komponente na ustrezna mesta na tiskanem vezju in rahlo upognite priključke, da se ne premikajo.



Slika 12: Namestitev THT komponent

Stikalo: Spajkajte priključke stikala

Piskač: Trdno pripajkajte priključke piskača, da zagotovite stabilno povezavo; razmik med priključki piskača je 5 mm, premer pa 9 mm. Na žalost sem kupil piskača napačne velikosti.

Ženski priključni konektor: Odstranite 4 priključke z ženskega priključnega konektorja in ga prispajkajte na tiskano

vezje, pri čemer poskrbite za pravilno poravnavo.

MOSFET: MOSFET pritrdite na hladilnik. Na MOSFET nanosite tanko plast paste za hlajenje, da izboljšate toplotno prevodnost, in MOSFET pritrdite na hladilnik z vijakom, da zagotovite trdno pritrditev. To bo pomagalo pri učinkovitem odvajanju toplote. Nato spajkajte priključke MOSFET-a in hladilnika na tiskano vezje. Pri spajkanju MOSFET-a poskrbite, da so vodniki pravilno povezani, da lahko prenesejo visok tok.

Po končani montaži vseh komponent na tiskanem vezju sem nadaljeval z vgradnjo medeninastih šestkotnih distančnikov M3 v montažne luknje na tiskanem vezju. Ti distančniki so ključnega pomena za zagotavljanje opore in dvig tiskanega vezja nad tla/ohišje, s čimer preprečujejo kakršen koli stik s površino pod njim, ki bi lahko povzročil kratke stike ali poškodbe občutljivih komponent.

Da bi zaščitil tiskano vezje in mu dal profesionalen videz, sem z uporabo programa Autodesk Fusion 360 zasnoval ohišje po meri. Ohišje sestavljajo trije deli: Pokrov, Ohišje in 3 x tipke. Spodnji del ohišja za tiskanje ne potrebuje nobene podporne strukture, kar olajša postopek. Pokrov in tipke pa potrebujejo podporno strukturo, da se zagotovi pravilno tiskanje.



Slika 13: 3D natisnjeno ohišje in gumbi za tipke

Z veseljem sporočam, da so bili vsi trije deli (ohišje, pokrov in gumbi) uspešno natisnjeni v 3D-tehniki, kar je skupaj trajalo približno 7 ur. Rezultate si lahko ogledate na sliki 13.

Nato sem tri gumbe vstavil v ustrezne luknje, kot je prikazano na sliki 13, in pokrov pritrdil na ohišje s pomočjo zaskočnega mehanizma.

Po sestavi sem opazil, da USB-C vrata niso bila popolnoma poravnana. Menim, da je ta težava nastala zato, ker je bil 3D-model tiskanega vezja, ki sem ga uporabil pri načrtovanju v programu Fusion, tanjši od dejansko izdelanega tiskanega vezja.

Korak 12: Programska oprema

Programska oprema testerja upravlja z delovanjem, vključno s polnjenjem, praznjenjem in analizo zmogljivosti baterije. Deluje na platformi XIAO ESP32C3.

Uporabljene knjižnice: Adafruit GFX, Adafruit SSD1306, JC_Button, Wire

Nastavitev in programiranje:

Odprite Arduino IDE.

Pojdite na Sketch -> Include Library -> Manage Libraries.

V oknu Library Manager poiščite in namestite naslednje knjižnice: Adafruit GFX Library, Adafruit SSD1306 (za OLED-zaslon), *JC_Button* (za upravljanje tipk)

XIAO ESP32C3 priključite na računalnik z USB-kablom.

Izberite ustrezno ploščo tako, da odprete meni ju Orodja ->

Plošča -> Izberite svojo napravo (XIAO ESP32C3).

Izberite pravi vmesnik tako, da greste v Orodja -> Vmesnik in izberete vmesnik, na katerega je priključena vaša naprava.

Kliknite tipko Naloži (ikonka puščice) v zgornjem levem kotu Arduino IDE.

Počakajte, da se skica prevede in naloži na napravo.

Ko je nalaganje končano, bo IDE prikazal sporočilo »Nalaganje končano.«

Korak 13: Kako uporabljati napravo

Napajanje naprave: Napravo priključite na vir napajanja z USB-kablom. Najvišja napetost USB priključka je 5 V.

Priključitev baterije: Baterijo, ki jo želite preizkusiti ali napolniti, vstavite v nosilec baterije 18650 ali priključek BAT, pri čemer pazite na pravilno polariteto (plus na plus in minus na minus).

Naprava ima štiri načine delovanja: polnjenje, praznjenje, analiza in merjenje notranje upornosti (IR). S tipko Mode ter tipkama UP in DOWN lahko preklapljate med načini in jih izbirate.

Izbiranje načina

Ko je baterija priključena, pritisnite tipko Mode, da preklopite med načini.

S tipkama UP in DOWN se pomikajte med možnostmi. Razpoložljivi načini se prikažejo na OLED zaslonu: Način polnjenja, Način praznjenja, Način analize, Način merjenja notranje upornosti.

Ko je zeleni način označen, ponovno pritisnite tipko Mode, da potrdite izbiro. Dolgi zvočni signal potrdi, da je način izbran.

A. Način polnjenja: Za varno polnjenje baterije do polne zmogljivosti.

V meni ju izberite način polnjenja.

Naprava bo samodejno začela polniti baterijo in aktivirala MOSFET za priključitev polnilnika.

Na OLED zaslonu se prikaže stanje polnjenja, ki prikazuje pretečen čas, napetost baterije in izbrani način. Polnjenje se samodejno ustavi, ko napetost baterije doseže 4,18 V, in prikaže se sporočilo o zaključku.

B. Način praznjenja: Za varno praznjenje akumulatorja do določene mejne napetosti.

V meni ju izberite »Način praznjenja«.

S tipkama »GOR« in »DOL« izberite praznilni tok.

Naprava bo praznila baterijo z vklopom obremenitve, krmiljene s PWM.

Na OLED zaslonu se prikaže pretečen čas, napetost baterije in skupna izpraznjena kapaciteta (v mAh).

Praznjenje se samodejno ustavi, ko baterija doseže izbrano mejno napetost.

Končna izpraznjena kapaciteta se prikaže na OLED zaslonu.

C. Način analiziranja: za določitev dejanske zmogljivosti baterije s pomočjo celotnega cikla polnjenja in praznjenja

V meni ju izberite »Način analiziranja«.

Naprava bo najprej napolnila baterijo do napetosti 4,18 V.

Po napolnitvi bo počakala 5 minut, da se baterija stabilizira.

Nato bo baterijo izpraznila, da izmeri njeno dejansko zmogljivost.

Na OLED zaslonu se prikaže stanje polnjenja, faze mirovanja in napredek praznjenja.

Dejanska zmogljivost baterije (v mAh) se prikaže po končanem ciklu.

D. Način analiziranja: za določitev dejanske kapacitete baterije s pomočjo celotnega cikla polnjenja in praznjenja

V meni ju izberite »Način analiziranja«.

Naprava bo najprej napolnila baterijo do napetosti 4,18 V. Po napolnitvi bo počakala 5 minut, da se baterija stabilizira.

Nato bo baterijo izpraznila, da izmeri njeno dejansko kapaciteto. Na OLED zaslonu se prikaže stanje polnjenja, faze mirovanja in napredek praznjenja.

Dejanska kapaciteta baterije (v mAh) se prikaže po končanem ciklu.

E. Način merjenja notranje upornosti baterije (IR): Za merjenje notranje upornosti (IR) baterije storite sledeče:

V meni ju izberite način merjenja notranje upornosti (IR).

Naprava bo izmerila napetost baterije brez obremenitve (napetost v odprtem krogu).

Nato bo z uporabo PWM krmiljenja dodala obremenitev in izmerila napetost pod obremenitvijo.

Naprava izračuna notranjo upornost po Ohmovem zakonu:

$$R = (U_{\text{prazn}} - U_{\text{obremen}}) / I$$

kjer je I tok, ki ga uporabnik nastavi s tipkama UP in DOWN.

Vrednost IR se prikaže na zaslonu OLED v miliohmih (mΩ).

OPOZORILO: Varnostni ukrepi

Prepričajte se, da uporabljate le ustrezen tip baterije; ta različica je namenjena izključno litij-ionskim baterijam (3,7 V, napetost pri polnem bateriji znaša 4,2 V)

Med praznjenjem se ne dotikajte hladilnika, saj se lahko zelo segreje in povzroči opekline.

Med polnjenjem ali praznjenjem baterij vedno pozorno spremljajte napravo, da preprečite morebitne težave.

Če opazite kakršno koli nenormalno delovanje, kot je prekomerno pregrevanje ali nenavadni zvoki, takoj odklopite baterijo.

Notranja upornost (IR) litij-ionske baterije se nanaša na upornost znotraj baterije, ki ovira pretok električnega toka. Gre za pomemben parameter, ki vpliva na učinkovitost, zmogljivost in nastajanje toplote baterije med delovanjem.

Zakaj je notranja upornost pomembna?

Padec napetosti: Ko tok teče skozi baterijo z neko notranjo upornostjo, pride do padca napetosti na priključkih baterije, kar pomeni, da se razpoložljiva napetost zmanjša. Večji kot je tok, večji je ta padec napetosti.

Nastajanje toplote: Notranja upornost povzroča kopičenje toplote v bateriji med cikli praznjenja ali polnjenja, zlasti pri višjih tokovih.

Prekomerna toplota lahko sčasoma poslabša delovanje baterije. **Učinkovitost:** Baterija z nižjim IR deluje učinkoviteje, ker se manj energije izgubi v obliki toplote.

Kakšna je tipična vrednost notranje upornosti (IR) za baterije 18650?

Nove ali visokokakovostne celice 18650: Običajno imajo notranjo upornost od 15 mΩ do 40 mΩ (miliohmov).

Standardne baterije 18650 za potrošnike: Na splošno imajo IR med 40 mΩ in 60 mΩ.

Stare ali izrabljene baterije 18650: IR lahko presega 60 mΩ do 100 mΩ ali več, ko se baterija izrablja.

Plani za bodočnost

V prihodnosti imam zanimive načrte za nadaljnje izboljšave naprave. Moji prihodnji načrti za ta projekt vključujejo:

1. Vgradnjo hladilnega sistema z majhnim ventilatorjem in termistorjem za uravnavanje toplote med preskusi z visokim tokom. Ventilator se bo samodejno vklopil in ohladil hladilnik, ko bo temperatura presegla nastavljeno mejo, s čimer bo zagotovil optimalno delovanje in preprečil pregrevanje.

2. Vključitev zmogljivosti WiFi modula ESP32 za daljinsko spremljanje delovanja baterije v realnem času. Podatki se bodo beležili in prikazovali na spletnih nadzornih ploščah ali v mobilnih aplikacijah, kar bo omogočalo prikaz ključnih parametrov, kot so napetost, tok in notranja upornost, v realnem času. To bo olajšalo spremljanje delovanja baterije skozi čas, izvajanje podrobnih analiz in odkrivanje zgodnjih znakov poslabšanja zmogljivosti.

Zaključek

Ta večnamenska naprava za samostojno izdelavo ponuja celovito rešitev za navdušence nad baterijami, ki želijo testirati in

oceniti litij-ionske baterije. Z združitvijo več funkcij v eni napravi lahko baterije polnite, praznite, analizirate in merite njihovo notranjo upornost. Ta pristop samostojne izdelave prinaša znatne prednosti v primerjavi s komercialnimi izdelki, saj omogoča prilagajanje, razširljivost in globlji vpogled v delovanje baterij brez višjih stroškov, povezanih z gotovimi napravami.

Ena največjih prednosti takšnega projekta »naredi sam« je prilagodljivost in možnost razširitve, ki ju omogoča lastno načrtovanje. Komercialni izdelki so pogosto omejeni v svojih funkcionalnostih in jih je težko prilagoditi. S to napravo »naredi sam« lahko spreminjate zasnovano, dodajate nove funkcionalnosti in jo prilagajate različnim vrstam baterij ali potrebam testiranja. Poleg tega vam delo z odprtokodno strojno in programsko opremo omogoča svobodo pri izboljševanju, deljenju in nadgrajevanju svojega dela, s čimer spodbujate sodelovanje znotraj skupnosti ustvarjalcev. Odprtokodna narava tega projekta spodbuja sodelovanje skupnosti in nenehno izboljševanje. Z delitvijo načrtov strojne opreme in kode lahko drugi prispevajo nove ideje in izboljšave, zaradi česar bo ta naprava še zmogljivejša in vsestranska.

Če se vam zdi ta projekt zanimiv ali koristen, ga prosim delite z drugimi, ki bi jim ta naprava lahko koristila. Vaša povratna informacija in predlogi so neprecenljivi za nadaljnji razvoj in izboljšanje tega projekta. Brez zadržkov mi predlagajte funkcije, ki bi jih radi videli v projektu, ali izboljšave, ki jih lahko uvedem.

Povzeto po:

- <https://www.instructables.com/DIY-Smart-Multipurpose-Battery-Tester/>

<https://www.instructables.com>



TEHNOLOGIJA IN TEORIJE ZAROTE

Svet, v katerem nič ni naključje

- Ali nam telefon res prisluškuje?
- Windows kot vohunska soba
- 5G!
- Ukinili nam bodo gotovino!
- Ko pametna hiša pokliče domov



KAJ PA ČE JE VSE RES?

Razkrinkane teorije zarote

IZ TUJEGA TISKA

- Nadzor vremena
- Napovedujejo nam pogubo
- Kako razbiti teorije zarote

Monitor
www.monitor.si



programming has never been easier

Smo uradni zastopnik za ELNEC v Sloveniji!

BeeProg3



70-0074



BeeProg4



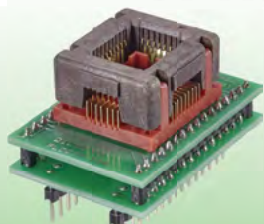
BeeProg4C



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