

Analogni univerzalni pružni telefon

Milivoje Ralević
Institut Mihajlo Pupin
Beograd, Srbija
milivoje.ralevic@pupin.rs

Milenko Kabović
Institut Mihajlo Pupin
Beograd, Srbija
milenko.kabovic@pupin.rs
ORCID 0000-0001-6542-681X

Marko Nikolić
Institut Mihajlo Pupin
Beograd, Srbija
marko.nikolic@pupin.rs
ORCID 0000-0002-0529-5683

Vladimir Čelebić
Institut Mihajlo Pupin
Beograd, Srbija
vladimir.celebic@pupin.rs
ORCID 0000-0002-6286-4539

Vladimir Lapčević
Institut Mihajlo Pupin
Beograd, Srbija
vladimir.lapcevic@pupin.rs

Veljko Janić
Institut Mihajlo Pupin
Beograd, Srbija
veljko.janic@pupin.rs

Iva Salom
Institut Mihajlo Pupin
Beograd, Srbija
iva.salom@pupin.rs
ORCID 0000-0002-2163-0939

Abstract—Svaki infrastrukturni sistem ima svoje specifičnosti, koji se, između ostalog, odnose i na zahteve i realizaciju telekomunikacionog sistema. Jedan od uređaja sa karakterističnim zahtevima je pružni telefon u okviru železničke pružne telefonske mreže. Uslovljeno modernizacijom železničkog sistema, ali i zahtevima za kompatibilnošću sa postojećom infrastrukturom, razvijen je analogni univerzalni pružni telefon. U ovom radu je predstavljen ovaj uređaj, kroz prikaz karakterističnih hardverskih i softverskih komponenti, kao i princip funkcionisanja.

Ključne reči—telefon, železnica, vod, prilagođenje impedanse, mikrokontroler

I. UVOD

Telekomunikacije imaju važnu ulogu u obezbeđivanju bezbednog i efikasnog rada železnice. Železnice su bile među prvim komercijalnim sistemima koje su razvile široku rasprostranjenu telekomunikacionu mrežu. Iako su komunikacioni zahtevi kod železničkih kompanija u mnogome slični kao oni u javnom servisima [1], specifična priroda železničkih komunikacija postavlja zahteve za telekomunikacione uređaje koji se razlikuju od javnog sektora. To se pre svega odnosi na železničku pružnu telefonsku mrežu. Telefoni postavljeni duž obe strane pružnog toka koriste se za komunikaciju zaposlenih na železnici sa otpravnikom ili dispečerskim centrom u hitnim slučajevima, kao i za obezbeđivanje sigurnog prijema telekomandi za emitovanje zvučnih signalnih znakova (zvona) koji služe za objavljivanje dolaska i odlaska vozova, kao i za objavljivanje opasnosti. Zvučni signalni znaci se emituju preko električnih signalnih zvona koja predstavljaju sastavni deo pružnog telefona.

Za potrebe modernizacije železničke infrastrukture razvijena su dva rešenja univerzalnog pružnog telefona: digitalni i analogni, koji će zameniti postojeće telefone, stare i po nekoliko decenija. Razvijena rešenja su univerzalna, jer, u zavisnosti od mesta na kome su smešteni mogu biti realizovani u sledećim varijantama:

- telefon kod izlaznih signala – TIS,
- telefon kod ulaznih signala – TUS,
- telefon za potrebe automatskog pružnog bloka (APB) i prostornih signala (TAPB),
- telefon u kućici putnih prelaza – TPP, i
- telefon na pružnim deonicama – PT,

Ovaj rad je finansiran od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije

i omogućavaju povezivanje pružnog telefona na nekoliko vrsta linija:

- RS – međustanični dispečerski vod do susednih stanica,
- ČV – signalno zvonovni (čuvarski) vod – povezuje dve susedne stanice, sve glavne signale i putne prelaze između tih stanica,
- SV – vod službe održavanja TT i SS postrojenja,
- GV – vod službe za održavanje pruge,
- EV – vod službe za održavanje kontaktne mreže, i
- US/IS vod za direktnu vezu sa otpravnikom vozova ili sa dispečerom telekomande.

Dodatno, telefonski ormani su po konstrukciji isti, a razlikuju se samo po sistemu montaže na konkretnoj lokaciji (montaža na signalni stub, na poseban stalak, na zid prostorije, ili ugradnja u kućicu).

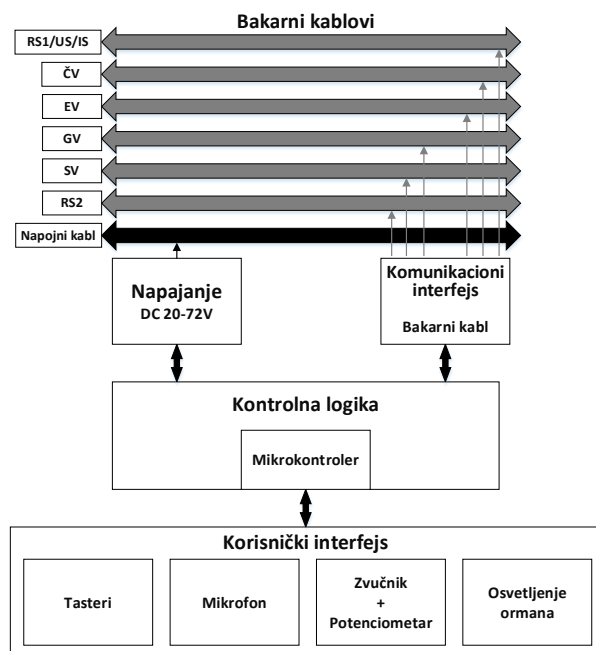
Modernizacija železničke infrastrukture između ostalog podrazumeva i zamenu skupih bakarnih kablova, koji sa sobom povlače i dodatna merenja, kao što su simetrisanje i pupinizacija. Dodatno, korišćenjem optičkih kablova za povezivanje telekomunikacione opreme smanjuje se uticaj smetnji i indukovano napona na ceo sistem. Ipak, na pojedinim deonicama iz određenih razloga, često ekonomskih (zbog potrebe zadržavanja dela postojećih sistema), ali i zbog moguće redundantnosti servisa, nije predviđena digitalizacija i uvođenje optičkih sistema prenosa. Zbog toga se za ove relacije i dalje koriste analogni telefoni, koji moraju biti konstrukcijski i funkcionalno kompatibilni sa postojećim uređajima i pogodni za instalaciju u postojeće sisteme nadgledanja. Takođe je važno da ovi telefoni budu pouzdani, da se jednostavno instaliraju i lako održavaju. Generalno, pružni telefoni moraju da odgovore strogim klimatskim zahtevima definisanim standardom [2], kao i strogim zahtevima za otpornost na vibracije i zahtevima za odgovarajuću elektromagnetsku kompatibilnost, koji su definisani standardom [3].

Za razvoj i realizaciju analognog univerzalnog pružnog telefona bilo je potrebno primeniti tehnike, kojih nema u digitalnim uređajima, kao što su prilagođenje na različite impedanse vodova, smetnje karakteristične za analogne telefone i sl. U ovom radu prikazana je implementacija ovog telefona, koja je odgovorila na sve postavljene zahteve, između ostalog zahvaljujući korišćenjem procesorske tehnologije. Razvijeni uređaj se odlikuje manjom potrošnjom energije, manjim dimenzijama i manjom masom u odnosu na dosadašnje uređaje, što značajno olakšava montažu i demontažu, uz istovremeno povećanje pouzdanosti rada.

II. BLOK ŠEMA I DELOVI ANALOGNOG PRUŽNOG TELEFONA

Funkcionalne blokove analognog pružnog telefona čine (Sl. 1):

- metalni orman sa nosećim stubom i temeljom,
- komunikacioni interfejs za priključenje na liniju,
- napojni deo,
- korisnički interfejs,
- kontrolna elektronika sa mikrokontrolerom.



Sl. 1 Funkcionalni blokovi analognog pružnog telefona

Pružni telefon se preko translatora za galvansko odvajanje povezuje na različite LB (*Local Battery*) i CB (*Central Battery*) linije, a veza sa pristupnim kablovima je izvedena preko priključnih klemata (komunikacioni interfejs).

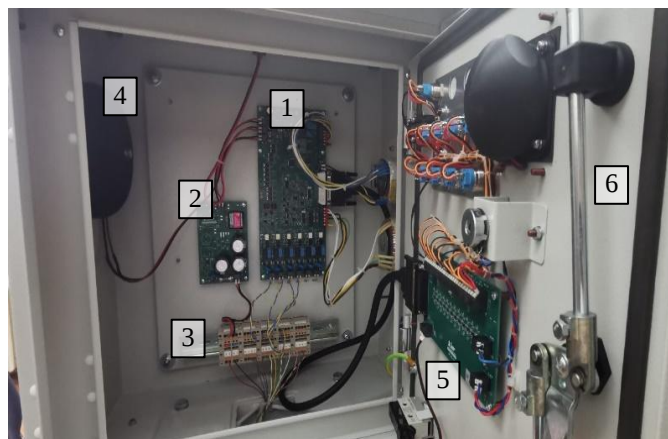
Na Sl. 2 prikazan je izgled unutrašnjosti metalnog ormara analognog pružnog telefona, gde su označeni sledeći delovi:

1. glavna ploča,
2. ploča za napajanje,
3. komunikacioni interfejs,
4. jako zvučno zvono,
5. pomoćna ploča,
6. manipulativna ploča.

III. MEHANIKA

Mehaniku analognog pružnog telefona čine telefonski orman i noseći stub, koji su izrađeni od metala tako da su robusni i otporni na mehaničke uticaje (Sl. 3). Orman je tako dizajniran da ugrađenim sklopovima i delovima obezbeđuje dvostruku zaštitu od pristupa neovlašćenih lica sa vratima koja se zaključavaju (antivandal) i manipulativnom pločom koja je pričvršćena na zidove ormara. Na vratima je prekidač koji je u funkciji automatskog isključivanja svih linija kada su vrata zatvorena. Orman omogućava potrebnu ventilaciju elektronskih komponenti dok istovremeno omogućava IP 54 zaštitu od prodora čvrstih tela i tečnosti.

Telefonski orman je prilagođen kako za postavljanje na signalni stub, tako i na noseći stub. Konstrukcija nosećeg stuba omogućava jednostavno vezivanje sa ormanom odnosno betonskim temeljom ukopanim u zemlju. Preko stuba se vrši uzemljenje telefona kod ulaznog signala.



Sl. 2 Unutrašnji izgled analognog pružnog telefona



Sl. 3 Telefonski orman i noseći stub

IV. KORISNIČKI INTERFEJS

Korisnički interfejs omogućava razmenu govornih informacija između pružnog telefona i centrale, i obezbeđuje siguran prijem telekomandi za emitovanje zvučnih signalnih znakova koji služe za objavljivanje vožnje vozova (dolazak i odlazak) i za objavljivanje opasnosti. Korisnički interfejs se sastoji od manipulativne ploče sa tasterima, mikrofonom, zvučnikom i potencijometrom za podešavanje jačine zvuka. Manipulativni deo je izveden u varijanti interfonskog tipa gde se izbor linije obavlja pritiskom na odgovarajući taster sa pripadajućom LED diodom, pri čemu se za određene potrebe može se koristiti i varijanta sa mikrotelefonskom kombinacijom. Tasteri omogućavaju povezivanje na jedan od vodova, slanje pozivnog signala, kao i signala biranja odgovarajućeg telefona (ukoliko se nalazi više telefona na liniji).

Ispod tastera na prednjem panelu nalazi se kratko uputstvo za korišćenje pojedinih modova rada telefona.

Svaka od 5 varijanti telefona (TIS, TUS, APB, TAPB, TPP, PT) ima odgovarajući izgled manipulativne ploče, koji se razlikuju po broju i funkcijama tastera. Na Sl. 4 je prikazan izgled manipulativne ploče TUS telefona.

Modul za osvetljenje manipulativne ploče nalazi se na kutiji ispod krova telefonskog ormara. Izveden je pomoću LED trake bele boje. Korisniku je omogućeno da uključuje ili isključuje osvetljenje pritiskom na taster OSV.



Sl. 1 Izgled korisničkog interfejsa analognog telefona varijante TUS

V. NAPAJANJE PRUŽNOG TELEFONA

Analogni pružni telefon se napaja jednosmernim naponom koji se dovodi iz napojnog sistema (ispravljač/AKU baterija) telefonskim vodovima lokalnog kabla položenog između stanice i telefona. Napajanje telefona je standardno u širokom opsegu napona od $20 V_{dc}$ do $72 V_{dc}$, dok se po potrebi može koristiti napajanje sa širim jednosmernim opsegom, a može biti konfigurisano i da radi na $220 V_{ac}$. Maksimalna potrošnja uređaja je $10 W$, dok je nominalna $4.5 W$. S obzirom na malu potrošnju telefona, naročito kada je baterija puna i kada se telefon nalazi u *stand by* režimu, pad napona na napojnomvodu je mali. Samim tim rastojanje telefona od napojnog uređaja ne predstavlja problem. Napajanje se vrši preko linijskog konvertora koji je postavljen na nosećoj ploči u kućištu telefona i pored napajanja elektronskih sklopova telefona služi za punjenje AKU baterije koja se ugrađuje na istoj ploči. Napajanje uređaja sadrži filter propusnik niskih frekvencija čiji je zadatak da filtrira dolazni napon da bi se nivo šuma u sistemu sveo na minimum. Napajanje sadrži prenaponske, prekostrujne i temperaturne zaštite kako bi se zaštitila unutrašnja elektronika.

VI. GLAVNA PLOČA ANALOGNOG PRUŽNOG TELEFONA

Blok šema glavne ploče analognog pružnog telefona se može predstaviti sa nekoliko osnovnih blokova, kao što je prikazano na Sl. 5:

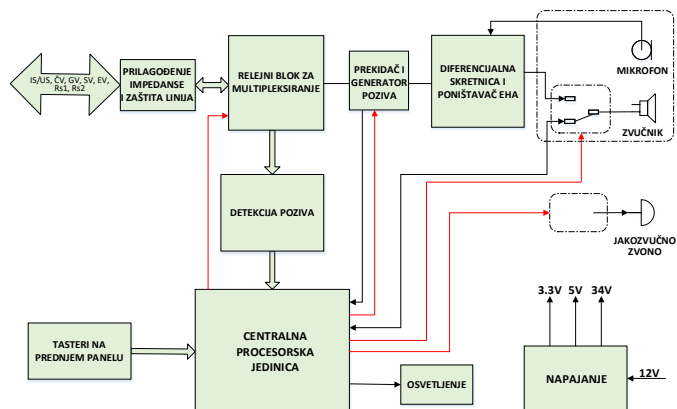
- napajanje,
- relejni blok za multipleksiranje linija,
- blok za detekciju poziva,
- generator poziva,
- diferencijalna skretnica i poništavač eha,
- centralna procesorska jedinica.

A. Napajanje

Osnovni blok napajanja obezbeđuje $12 V_{dc}$, a zatim se dodatnim konvertorima obezbeđuju sva ostala potrebna napajanja na glavnoj ploči ($3.3 V$, $5 V$ i $34 V$).

B. Interfejsni deo

Interfejsni deo analognog pružnog telefona obezbeđuje povezivanje, pored kabla za napajanje, sa do šest različitih telefonskih linija.



Sl. 5 Blok šema glavne ploče analognog pružnog telefona

C. Prilagođenje impedanse i zaštitne linije

Linijski priključci imaju nekoliko tipova zaštite, koji omogućavaju prenaponsku zaštitu izazvanu atmosferskim pojavama i blizinom visokonaponskih vodova. Karakteristična impedansa telefonske linije zavisi od dužine linije, prečnika primenjenog kabla, kao i korišćenja Pupinovih kalemova na samoj liniji. Zbog toga je neophodno izvršiti prilagođenje impedanse analognog pružnog telefona na karakterističnu impedansu linije. Prilagođenje impedanse na karakterističnu impedansu linije omogućava optimalni prenos snage i minimizaciju preslušavanja signala na četvorožičnim krajevima diferencijalne skretnice (između predajnog i prijemnog smera). Prilagođenje impedanse na liniju obavlja translator impedanse sa otpornicima i torusnim transformatorom. Podešavanje impedanse se obavlja preko konfiguracije uređaja. Moguća podešavanja impedanse su: $600 \Omega : 600 \Omega$, $600 \Omega : 1200 \Omega$, $600 \Omega : 7000 \Omega$, $800 \Omega : 800 \Omega$, $800 \Omega : 1600 \Omega$, i $800 \Omega : 7000 \Omega$.

D. Relejni blok za multipleksiranje

Relejni blok za multipleksiranje omogućava povezivanje sa svakom od priključenih telefonskih linija na analogni pružni telefon. Uspostava veze se obavlja uz nadzor i kontrolu centralne procesorske jedinice. Treba naglasiti da je potrebno da signalno-zvono (ČV) vod bude stalno povezan na odgovarajuću liniju. U slučaju priključenja signalizacije dolaznog poziva na više vodova, uključujući i ovaj vod, važi prioritet signaliziranja najave kretanja voza po ČV vodu. To znači sledeće: ako u toku signaliziranja dolaznog poziva po bilo kom vodu, ili više vodova istovremeno, naiđe signal za objavljivanje vožnje voza, signaliziranje poziva po prvom vodu (vodovima) se prekida; ovaj prekid traje do završetka signaliziranja najave kretanja voza, posle čega se signaliziranje po prvom vodu (vodovima) automatski nastavlja.

E. Prekidač i generator poziva

Za signalizaciju pozivanjem na LB linije potreban je poseban generator poziva koji ima mogućnost podešavanja nivoa u koracima $60 - 75 - 90 V_{eff}$. Frekvencija generatora poziva je $25 Hz$, dok snaga na izlazu iznosi $P_{min} = 4 W$ sinusa pri $Z_{load} = 1 k\Omega$. Generator ima zaštitu od preopterećenja, koja omogućava da se napon generatora smanjuje usled preopterećenja.

Pored standardnog generisanja poziva, generator poziva se koristi i za selektivnu LB signalizaciju, koja omogućava da se na liniji sa više priključenih LB induktorskih telefona u kolonama duž pruge, jedinstvenom kombinacijom tačka-linija-duga linija pozivnih signala adresira željeni telefon na ovoj LB liniji, odnosno da preko LB prenosnika selektivnom signalizacijom to primeni na bilo koji priključak u centrali. Dolazni poziv sa LB

linije znači prihvatanje poziva od 1 do 8 pozivnih znakova različite dužine (kao što su Morzeovi (Morse) znakovi tačka, linija, duga linija). Ako ih logika pružnog telefona detektuje kao sopstveni broj, pokreće odnosno aktivira lokalni poziv. Ako kombinaciju pozivnih znakova ne detektuje kao sopstveni broj, logika zanemaruje poziv. Detekcija dužine poziva i prenos poziva za tačku-liniju-dugu liniju prikazana je u Tabeli I.

Odlazni poziv na LB liniju predstavlja selektivno pozivanje, koje se takođe odvija u obliku Morzeovih pozivnih znakova različite dužine: tačka-linija-duga linija. Prema izboru pozivnog signala (tačka-linija-duga linija) logika kontroliše prenos poziva na LB liniju preko tastera na prednjoj ploči. Dužina predaje pozivnog signala je podesiva u istim granicama kao i prijem. Prekidačkim elementom (releom), kontrolisanim od strane centralne procesorske jedinice, obezbeđuje se priključivanje generatora poziva na odgovarajuću liniju.

TABELA I. GENERISANJE SELEKTIVNE LB SIGNALIZACIJE

LB pozivni signal	Predaja/prenos podešeno [ms]	Gabariti prijema pozivnog signala sa LB [ms]
Tačka	320	60-520
Linija	1000	540-1420
Duga linija	3000	1500-6000
Pauza između pojedinačnih signala	300	250-500

F. Detekcija poziva

Detektor pozivnog signala je trajno povezan na LB liniju i ima sledeće karakteristike:

- impedansa > 15 k Ω na 20 Hz,
- impedansa > 100 k Ω u govornom opsegu,
- detekcija poziva ± 20 V_{eff} na $f = 16 - 30$ Hz,
- pouzdano nedetektovanje ispod 60 % praga detekcije.

Na taj način se obezbeđuje mogućnost priključivanja različitih LB telefona na liniju. Dužinu pozivnog signala obrađuje centralna procesorska jedinica.

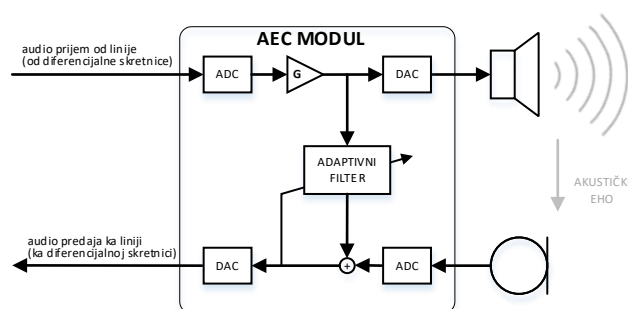
G. Diferencijalna skretnica

Blok diferencijalne skretnice vrši konverziju sa dvožičnog na četvorožični rad i obrnuto [4], a istovremeno treba da obezbedi malo slabljenje dovedenog govornog signala, kao i mogućnost promene pojačanja signala u oba smera [5]. Pored pojačavačkih elemenata, u okviru ovog bloka se nalazi i odgovarajući filter propusnik opsega za govorne signale. Sama diferencijalna skretnica treba da obezbedi minimalno preslušavanje iz predaje u prijem. Da bi se postiglo što bolje prilagođenje na impedansu linije omogućena je promena impedanse balansnog voda diferencijalne skretnice, koja se može kontrolisati centralnom procesorskom jedinicom.

H. Poništavač akustičkog eha

Korisnički interfejs je, kao što je već rečeno, po zahtevu korisnika realizovan u osnovnoj verziji kao interfonski sistem sa mikrofonom i zvučnikom. Posebna pažnja je posvećena izboru mikrofona i zvučnika, kao i mehaničkom smeštanju ovih komponenti i uticaju mehaničke konfiguracije na akustičke karakteristike [6]. Naime, jedan od većih problema ovakvih interfonskih sistema je pojava akustičkog eha, koji predstavlja zvuk sa zvučnika koji dolazi do mikrofona. Jedan od načina da se problem eha smanji je korišćenje usmerenih pretvarača. Međutim, zbog zahteva za stepenom zaštite IP 54 za ceo uređaj, isti zahtev mora da ispuni i sam mikrofoni. Jedini takav mikrofoni dostupan na tržištu je omnidirekzione karakteristike usmerenosti. Odabran je odgovarajući elektret mikrofoni.

U ovom sistemu je nemoguće akustičkom obradom postići zadovoljavajući nivo potiskivanja eha, zbog čega je primenjena namenska komponenta – poništavač eha (Acoustic Echo Canceller – AEC) [7]. Ova komponenta se sastoji od DSP procesora sa integrisanim A/D i D/A konvertorima sa 16-bitskom rezolucijom i frekvencijom odabiranja od 8 kHz. Poništavač eha je povezan preko odgovarajućih interfejsa sa mikrofonom i zvučnikom. Koristeći signale koji dolaze sa mikrofona i sa linije poništavač eha uz pomoć adaptivnog filtriranja smanjuje eho signal u mikrofonskom signalu do 60 dB. Na Sl. 6 prikazan je princip rada i mesto AEC modula u analognom pružnom telefonu. Rezultat poništavača eha dodatno je poboljšao dodavanjem akustičkog apsorpcionog materijala oko zvučnika i mikrofona.



Sl. 6 AEC modul u analognom pružnom telefonu

I. Centralna procesorska jedinica

Ovaj modul predstavlja najvažniji deo sistema jer upravlja svim operacijama analognog pružnog telefona. Osnovu ovog modula čini PIC18F67K40 mikrokontroler [8], koji omogućava jednostavnu kontrolu digitalnih periferija i ima dovoljan broj ulazno/izlaznih pinova za kontrolu svih elemenata analognog pružnog telefona. Za razvoj softvera korišćeno je integrisano razvojno okruženje MPLAB X IDE, verzija 6.15 [9]. Nije bilo potrebe za korišćenjem operativnog sistema, pa je softver koncipiran tako da se sve obrade vrše u glavnoj petlji uz korišćenje prekida, pri čemu se obrada inicira nakon prekida glavnog tajmera. Odabrano je da perioda obrade glavne petlje bude 2 ms. Kompletan softver je napisan u programskom jeziku C. Takt procesora iznosi 64 MHz. Korišćene su sledeće periferije mikrokontrolera: dva UART porta, I2C port, D/A konvertor, A/D konvertor i tajmeri. Drajveri datih periferija su generisani pomoću MCC konfiguratora u okviru integrisanog razvojnog okruženja, uz manje izmene. Ceo softver analognog pružnog telefona moguće je podeliti na nekoliko modula.

Modul za konfiguraciju. Svaki analogni pružni telefon ima konfiguracionu tabelu u EEPROM memoriji mikrokontrolera, koja definiše njegov rad. Tabela sadrži tip i broj telefona (do osam Morzeovih simbola) i programabilne impedanse linija. Zaštićena je kontrolnom sumom i može se izmeniti u toku rada pomoću posebne PC aplikacije preko serijske komunikacije.

Modul za detekciju poziva prikuplja informacije od svih šest hardverski realizovanih detektora poziva. Svaki od detektora poziva ponaša se na identičan način, osim neznatne razlike vezane za ČV vod. Detektori poziva generišu na svom izlazu logičku jedinicu kada na svom ulazu, tj. na odgovarajućoj liniji, detektuju signal frekvencije u opsegu 16 – 30 Hz, a amplitude veće ili jednake 20 V_{eff}, dok u suprotnom generišu logičku nulu. U softveru postoji onoliko instanci detektora poziva koliko se linija koristi za dati tip telefona, a maksimalno šest u slučaju TAPB telefona. Svaka instanca se konfiguriše na početku rada uređaja, nakon što se pročita konfiguraciona tabela i ustanovi o

kom tipu telefona se radi. Moguća su tri tipa detektora: detektor CB linije, detektor LB linije i detektor ČV linije.

U slučaju CB linije koristi se prosta signalizacija. Detektor CB linije treba da prepozna impuls u trajanju kratke Morzeove linije da bi signalizirao prijem poziva. Ako se ovaj signal ne ponavlja periodično prekida se signalizacija poziva. Detektor za CB liniju koristi se za IS liniju kod TIS i za US liniju kod TUS telefona.

Detektor LB linije omogućava prijem kako selektivnih tako i grupnih poziva. Odnosi se na GV, SV i EV linije, kao i na RS1 i RS2 linije kod TAPB telefona, s tim što za RS1 i RS2 linije nije dozvoljen prijem grupnog poziva. U slučaju prijema selektivnog poziva nakon svakog primljenog simbola proverava se njegovo trajanje (Tabela I) i ako je trajanje simbola ispravno, dati simbol se upisuje u niz primljenih simbola. Nakon detekcije završetka primljene sekvence simbola, odnosno pauze duže od 500 ms, proverava se da li primljena sekvenca znakova odgovara sopstvenom broju telefona, u kom slučaju se signalizira prijem selektivnog poziva centralnom modulu. Da bi se signalizirao prijem grupnog poziva potrebno je da se primi jedna kratka linija.

U slučaju ČV linije koristi se prosta signalizacija. Prijem poziva se signalizira centralnom modulu kada se primi jedna kratka crta. ČV linija je specifična, jer se po njoj šalje i signal najave voza, koji se sastoji od niza Morzeovih tačaka između kojih se nalaze pauze. Modul za detekciju poziva za ČV liniju ima zadatak da kada detektuje prvu ispravnu Morzeovu tačku signalizira početak signala najave voza. Kada se detektuje dovoljno duga pauza ili simbol koji nije Morzeova tačka, signalizira se kraj signala najave voza.

Treba napomenuti da je prijem poziva po dispečerskim vodovima (IS, US, RS1 i RS2) uvek dozvoljen, dok je prijem po ostalim vodovima neophodno odobriti. Dozvola prijema poziva po ČV, GV, SV ili EV vodu se obavlja pritiskom na taster „UP“, a zatim pritiskom na jedan ili više odgovarajućih linijskih tastera, pod uslovom da u tom trenutku nema aktivnih poziva, niti dolaznog poziva po dispečerskoj liniji.

Ako se na primljeni poziv po LB linijama ne odgovori u roku od 60 s (programabilan parametar), modul smatra da je reč o propuštenom pozivu i prosleđuje ovu poruku centralnom modulu, koji inicira prestanak treperenja odgovarajuće LED diode i zvona (ako je to bio jedini primljeni poziv).

Modul za generisanje signala poziva generiše sekvencu Morzeovih znakova, pri čemu je moguće generisati selektivni ili grupni poziv. Signal poziva se generiše pomoću D/A konvertora i strujnog pojačavača. Ovaj signal je zapravo sinusoida nominalne frekvencije 25 Hz, dok se izbor amplitude (60, 75 ili 90 V_{eff}) obavlja hardverski. Prilikom inicijalizacije se generiše *look-up* tabela sinusoide koja će se koristiti prilikom generisanja signala poziva. Period promene signala koji daje D/A konvertor je 1 ms, tako da *look-up* tabela sadrži 40 odbiraka. Po potrebi je lako moguće promeniti frekvenciju sinusoide izmenom jednog parametra.

Kod CB linija se ne generiše signal poziva, već se prilikom iniciranja poziva uređaj povezuje na CB liniju aktiviranjem odgovarajućeg linijskog relea. Centrala detektuje promenu impedanse voda i preusmerava poziv na odgovarajući telefon.

Kod GV, EV i SV linija moguće je inicirati selektivni ili grupni poziv. Selektivni poziv se inicira izborom jednog od linijskih tastera (GV, SV ili EV), a zatim se pritiskom odgovarajućih tastera („2“ za Morzeovu tačku i „7“ za Morzeovu crtu) definiše niz simbola koji treba poslati. Ovaj modul

prikuplja dati niz simbola i kada se unese maksimalni broj simbola (osam) ili istekne period od 2 sekunde od poslednjeg simbola, započinje se generisanje željene sekvence. Pauza između simbola je fiksna i iznosi 300 ms. Grupni poziv po GV, EV ili SV liniji se inicira slanjem jedne duge crte, pri čemu je prethodno potrebno odabrati liniju, a zatim pritisnuti taster „P“ u trajanju od barem 5 sekundi.

U slučaju ČV linije moguće je inicirati samo grupni poziv. Analogni pružni telefon komunicira preko ČV linije sa dve susedne stanice. Moguće su tri varijante grupnog poziva linije:

- poziv ka obe stanice (šalje se duga crta; nakon pritiska tastera ČV, korisnik bira taster „P“),
- poziv ka stanici levo (šalje se kombinacija duga crta i crta; nakon pritiska tastera ČV, korisnik bira taster „2“),
- poziv ka stanici desno (šalje se kombinacija duga crta, i dve kratke crte; nakon pritiska tastera ČV, korisnik bira taster „7“).

U slučaju RS1 ili RS2 linije analogni pružni telefon šalje po odgovarajućem vodu Morzeovu kombinaciju koja odgovara sopstvenom broju. Na taj način centrala ima informaciju odakle je iniciran poziv.

Strujni pojačavač generatora signala poziva generiše dva signala koji ukazuju da li je detektovano strujno prekoračenje, a ti signali se dovode na digitalne ulaze mikrokontrolera. Ako strujno prekoračenje traje duže od propisanog intervala privremeno se smanjuje amplituda, a ako se i dalje nastavi prekida se sa generisanjem signala poziva, a korisniku se signalizira ovakvo stanje treperenjem LED diode „P“ u trajanju od 5 sekundi.

Modul za detekciju pritiska tastera ima zadatak da detektuje pritisak tastera. Informacija o pritisnutom tasteru se prosleđuje centralnom modulu koji vrši odgovarajuće odlučivanje. Skeniranje svih tastera se obavlja periodično (perioda je 2 ms). Pojedini tasteri su povezani direktno na ulazne digitalne pinove mikrokontrolera, dok su preostali tasteri povezani na GPIO ekspanzer koji koristi I2C komunikaciju za dobijanje informacija o stanju linija. Kada se detektuje stanje „taster pritisnut“ u intervalu od barem 20 ms, signalizira se centralnom modulu da je taster pritisnut. Treba napomenuti da dok se jedan taster drži pritisnut ignoriše se pritisak drugih tastera.

Modul za upravljanje LED diodama. Svakom tasteru je pridružena odgovarajuća LED dioda. Pojedini LED diodama se upravlja direktno pomoću digitalnih izlaznih pinova mikrokontrolera, a preostalim pomoću GPIO ekspanzera, koji takođe koristi I2C interfejs. Mogući su sledeći režimi rada LED dioda: isključena LED dioda, uključena LED dioda, treperenje LED dioda i LED dioda aktivna u ograničenom vremenskom intervalu (uključena *N* milisekundi, zatim isključena). Centralni modul direktno kontroliše rad modula za upravljanje LED diodama.

Modul za upravljanje linijskim releima kontroliše aktivaciju linijskih releja, koji se upravljaju direktno preko digitalnih izlaza mikrokontrolera. Svaka linija ima svoj relej, a u datom trenutku može biti aktivan samo jedan.

Modul za kontrolu impedanse. Mikrokontroler omogućava podešavanje odgovarajuće impedanse za translator impedanse, kao i za balansni vod diferencijalne skretnice. Digitalni izlazni pinovi mikrokontrolera direktno upravljaju opto relejima koji podešavaju ulaznu impedansu uređaja.

Modul za generisanje tona kontrole poziva treba da generiše sinusni signal nominalne frekvencije 425 Hz. Mikrokontroler upravlja jednim digitalnim izlaznim pinom, koji je povezan na

analogni niskopropusni filter. U aktivnom stanju signal na izlazu mikrokontrolera je periodična povorka impulsa frekvencije 425 Hz, a analogni filter treba da eliminiše sve harmonike, osim osnovnog. Aktivno stanje traje 1 sekundu, a neaktivno 4 sekunde. Za vreme neaktivnog stanja, digitalni izlazni pin je sve vreme u stanju logičke nule. Za potrebe ovog modula koristi se poseban tajmer čija je perioda podešena na $1/(2 \cdot 425 \text{ Hz}) \approx 1.176 \text{ ms}$. U aktivnom stanju se na svaki prekid tajmera, koji se koristi u ovu svrhu, menja stanje digitalnog izlaza. Ton kontrole poziva se generiše jedino u slučaju kada se detektuje prijem selektivnog poziva, ako pre toga nije bilo aktivnih poziva.

Modul za upravljanje jakozvučnim zvonom. Postoje dva slučaja u kojima se aktivira zvono: prijem poziva ili detekcija signala najave voza. U prvom slučaju se zvono periodično aktivira, pri čemu je uključeno 1 sekundu, a isključeno 4 sekunde. U slučaju prijema signala najave voza jakozvučno zvono se aktivira u ritmu dolaznog signala po ČV liniji, s tim što je zakašnjen za trajanje prvog impulsa. Ovo je neophodno zbog provere trajanja simbola, jer bi inače bilo kakav impuls na ČV liniji mogao da aktivira jakozvučno zvono. Signalni znaci koji se emituju jakozvučnim zvonom definisani su Pravilnikom o vrstama signala, signalnim oznakama i oznakama na pruzi Republike Srbije [10].

Modul za kontrolu softverskog pojačanja. Analogni pružni telefon omogućava softversku kontrolu pojačanja mikrofonskog i zvučničkog signala pomoću dualnog digitalnog potencijometra (digipota) u kolu operacionog pojačavača. Pojačanja se podešavaju komandama preko I2C magistrale, uz 256 nivoa otpornosti (0Ω do $50 \text{ k}\Omega$). Postoje dva režima: fiksno pojačanje tokom razgovora ili dinamička regulacija, gde se jedno pojačanje povećava, a drugo smanjuje, održavajući konstantan proizvod, čime se smanjuje akustički eho. Ugrađeni A/D konvertor meri amplitudu signala, a ako je prijemni signal ispod praga, prekid nastupa automatski nakon 60 s (programabilan parametar).

Modul za komunikaciju sa računarom služi, pre svega, za prijem konfiguracione tabele i koristi UART port mikrokontrolera sa razvijenim specifičnim komunikacionim protokolom. Pored toga, omogućava slanje informacija o sistemskim događajima, poput prijema poziva na GV liniji ili uspostave veze na CV liniji.

Centralni modul prikuplja ulazne informacije od modula za detekciju poziva i modula za skeniranje i debaunsiranje tastature, na osnovu kojih odlučuje u kom stanju analogni pružni telefon treba da bude. Na početku rada uređaja, centralni modul dobija informaciju od modula za konfiguraciju o tome da li postoji validna konfiguraciona tabela. U procesu proizvodnje uređaja, pre isporuke, neophodno je konfigurisati uređaj pomoću posebne PC aplikacije. Ako postoji validna konfiguraciona tabela, naizmenično će se uključiti svaki red LED dioda na manipulativnoj ploči, a zatim isključiti. Centralni modul dobija informaciju o tipu telefona na osnovu koga inicira i konfiguriše sve module za detekciju poziva. Na početku rada uređaja svi linijski releji su neaktivni, odnosno uređaj nije povezan ni na jednu liniju. Kada se u neaktivnom režimu pritisne neki od linijskih tastera, aktivira se odgovarajući linijski relej, odnosno uređaj se povezuje na traženu liniju. U slučaju RS1 i RS2 linija automatski se generiše niz Morzeovih simbola koji predstavljaju sopstveni broj telefona nakon čega se prelazi u režim govorne veze. Kod ostalih vodova potrebno je inicirati uspostavljanje poziva bilo pritiskom tastera „P“ (grupni poziv) ili unosom Morzeove kombinacije pomoću tastera „2“ (tačka) i „7“ (selektivni poziv). Prekid veze se inicira pritiskom na odgovarajući linijski taster. Kada centralni modul primi informaciju od modula za detekciju poziva da je primljen poziv po određenoj liniji, inicira treperenje odgovarajuće LED diode u

ritmu 100 ms/100 ms i aktivaciju jakozvučnog zvona (zvono se uključuje samo ako prethodno nema aktivnih poziva). Ako korisnik tada pritisne odgovarajući linijski taster, aktivira se odgovarajući linijski relej i telefon se povezuje na datu liniju, tj. uspostavlja se govorna veza. Treba napomenuti da centralni modul pre svake uspostave veze šalje komandu modulu za kontrolu impedanse, tako da se postavi odgovarajuća impedansa za dati vod, u skladu sa konfiguracionom tabelom. Centralni modul ima zadatak i da ograniči trajanje govornog poziva na 5 minuta (programabilan parametar).

VII. ZAKLJUČAK

Iako su danas digitalni pružni telefoni mnogo zastupljeniji, analogni pružni telefoni se još uvek koriste. Predstavljeni pružni telefon je omogućio obnavljanje analogne komunikacione strukture u železnici na mestima na kojima se za to pokazala potreba, istovremeno obezbeđujući kompatibilnost sa do sada instaliranom opremom. Većina analognih telefona ima slabiji kvalitet zvuka u odnosu na digitalne telefone, međutim ono što posebno ističe ovaj analogni telefon je mogućnost prilagođenja impedanse i vrlo dobar kvalitet zvuka zahvaljujući odgovarajućoj procesorskoj obradi i kvalitetnom audio sistemu. Mogućnost prilagođenja impedanse je vrlo značajna osobina jer minimizuje prilike pri prenosu signala bez obzira na otpornost vodova.

REFERENCE

- [1] A. Michael Noll, „Introduction to Telephones and Telephone Systems“, Third Edition, Artech House, Inc., 1999. (references)
- [2] SRPS EN 50125-3:2011 – „Primene na železnici - Uslovi okoline za opremu - Deo 3: Oprema za signalizaciju i telekomunikacije“, mart 2011.
- [3] SRPS EN 50121-5:2017/A1:2019 – „Primene na železnici – Elektromagnetska kompatibilnost – Deo 5: Emisija i imunost stabilnih postrojenja i uređaja za napajanje – Izmena 1“, septembar 2019.
- [4] Telecom Circuit Protection, Selection Guide, Bourns
https://bourns.com/docs/technical-documents/technical-library/telecom-circuit-protection/publications/telecom_cp_selection_guide.pdf
- [5] Lao R. Two-to-four wire hybrid circuits in telecommunications [EB/OL]. Zenodo (2017-12-29). <http://doi.org/10.5281/zenodo.1162334>
- [6] J. Sunnanväder, „Design of an Optimal Analogue Microphone System for Best Possible Capture of Incoming Acoustic Signals“, Department of Electrical and Information Technology Lund University & Axis Communications AB, 2016.
- [7] P. Eneroth “Stereophonic Acoustic Echo Cancellation: Theory and Implementation,” Doctoral Thesis (compilation) Department of Electrical and Information Technology, Department of Electroscience, Lund University, 2021
- [8] DS40001841D – „64-Pin, Low-Power, High-Performance Microcontrollers with XLP Technology“, Microchip Technology Inc., 2017.
- [9] <https://www.microchip.com/en-us/tools-resources/develop/mplab-x-ide>
- [10] Pravilnik o vrstama signala, signalnim oznakama i oznakama na pruzi, "Službeni glasnik RS", broj 51/20, 6. aprila 2020.

ABSTRACT

Every infrastructure system has specific characteristics, which, among other things, relate to the requirements and implementation of its telecommunication system. One of the devices with distinctive requirements is the trackside telephone within the railway trackside telephone network. Driven by the modernization of the railway system, as well as the need for compatibility with the existing infrastructure, an analog universal trackside telephone has been developed. This paper presents the device by outlining its key hardware and software components, as well as its operating principle.

ANALOG TRACKSIDE TELEPHONE

Milivoje Ralević, Marko Nikolić, Vladimir Lapčević,
Milenko Kabović, Vladimir Čelebić, Veljko Janić, Iva Salom