

Domagoj Budiša
HEP - ODS d.o.o. Elektroslavonija
domagoj.budisa@hep.hr

Josip Jakić
HEP - ODS d.o.o. Elektroslavonija
josip.jakic@hep.hr

Dejan Šteković
HEP - ODS d.o.o. Elektra Vinkovci
dejan.stekovic@hep.hr

NADOGRADNJA MIKROVALNIH LINKOVA TETRA SUSTAVA NA PODRUČJU SLAVONIJE I BARANJE

SAŽETAK

Radio komunikacijska infrastruktura DIMORAS mreže osim što koristi optičku okosnicu HEP-a, koristi i vlastite mikrovalne veze za komunikaciju baznih postaja s centrom za nadzor radijske mreže (SCN - ESO). Stoga se prišlo modifikaciji mikrovalne opreme ne samo zbog tehnološki zastarjele opreme, već i zbog stvaranja preduvjeta za revitalizaciju TERA radijske opreme.

DIMORAS sustav koristi 9 mikrovalnih veza za komunikacijsko povezivanje baznih postaja s centrom za nadzor TETRA mreže

Stara mikrovalna oprema koristila je C-QPSK modulaciju (besprekidna kvatenarna diskretna modulacija faze) uz brzinu prijenosa podataka od 4Mbit/sek, dok nova mikrovalna oprema koristi 4QAM modulaciju (kvadratura amplitudna modulacija) uz brzinu prijenosa podataka od 10Mbit/sek.

Ključne riječi: DIMORAS, mikrovalne veze, TETRA, SCN-ESO, C-QPSK modulacija, 4QAM modulacija

UPGRADE MICROWAVE LINKS TETRA SYSTEM ON THE SLAVONIA AND BARANJA AREA

SUMMARY

Radio communication infrastructure of DIMORAS network, besides using the optical backbone owned by HEP, is also using its own microwave links for communication between base stations and radio network control center (SC-ESO). Therefore, the modification of microwave equipment is being done not only because of technologically outdated equipment, but also to create preconditions for the revitalization of TETRA radio equipment.

DIMORAS system is using 9 microwave links for communication between base stations and TETRA network control center.

Old microwave equipment was using C-QPSK modulation (Compatible Quaternary Phase shift Keying) with data transfer rate of 4 Mbit/sec, while the new microwave equipment is using 4QAM modulation (Quadrature Amplitude Modulation) with data transfer rate of 10Mbit/s.

Key words: DIMORAS, microwave links, TETRA, SCN-ESO, C-QPSK modulation, 4QAM modulation

1. UVOD

Na osnovi Plana digitalne govorne radio-mreže HEP, te rezultata javnog nadmetanja potpisan je 1998. godine ugovor s firmom Marconi (danas Selex ELSAG), čime je započela izgradnja prvog TETRA sustava u HEP-u pod radnim nazivom DIMORAS (Digitalni Mobilni Radijski sustav) koji je bio projektiran sa sljedećim sastavnim elementima: jedan centralni kontrolno-komutacijski i upravljački sustav (SCN), 13 dispečerskih terminala, 15 osnovnih radijskih postaja (ORP) koje su opremljene s po jednim frekvencijskim nosiocem, 400 pokretnih radijskih postaja za vozila, 300 ručnih radijskih postaja, 150 nepokretnih radijskih postaja. Za povezivanje ORP i centra projektirano je 8 mikrovalnih veza i 7 iznajmljenih kanala. U skladu s Planom digitalne govorne radio mreže izabrano je 15 lokacija za ORP i to: Kaža, Prkos, Lončarski Vis, Osijek, Beli Manastir, Čvorkovac, Vukovar, Ilok, Nijemci, Županja, Drenovci, Borinci, Đakovo, Košarevac i Maksimov Hrast. TETRA sustav je povezan s 10 PSTN kanala i s ISDN PRI na komutaciju HEP-a. Svi ORP povezani su na centar SCN putem 64 kbps kanala. Pristup sustavu upravljanja je putem terminala za nadzor. Primijenjeni standardi u projektu koji se odnose na TETRA su sljedeći: ETS 300 392 (Voice + Data), ETS 300 394 (Voice + Data) - Radio Conformance Testing, ETS 300 395 Speech Codec i ETS 300 396 Direct Mode. Sustav je pušten u pogon krajem 2002. godine. Nešto kasnije su na području DP Elektroslavonija Osijek dograđene dodatne 3 ORP (povezane na SCN putem 4 dodatne zakupljene linije) i to Valpovo, Višnjevac i Eurodom, a u planu je bilo i dodavanje dodatnih ORP za ostala DP područja, što nije realizirano. Dispečerski terminali nisu stavljeni u upotrebu. Osim za govorne komunikacije mreža se koristi i za prijenos SCADA podataka (92 objekta od čega: 74 DURN-a, 1 TS 35/10kV i 17 KTS 10/0,4kV) [1].

Početkom 2015. godine završena je projektna dokumentacija (Idejno rješenje, broj projekt: 14-026, Projekt: Revitalizacija DIMORAS mreže na području Slavonije i Baranje, AZTEK d.o.o., Zagreb) na osnovu koje je TETRA TIM (HEP - ODS d.o.o. Sektor za tehničke poslove, DP Elektroslavonija, DP Elektra Brod, DP Elektra Vinkovci, DP Požega i DP Virovitica) donio odluku o početku modifikacije transmisijskih sustava u vlasništvu HEP - ODS-a. Odluka je donesena iz razloga što postojeći mikrovalni linkovi nisu imali IP prijenos podataka što novi, revitalizirani, TETRA radijski sustav zahtijeva.

2. MIKROVALNE VEZE NA PODRUČJU SLAVONIJE I BARANJE

2.1. Stanje mikrovalne opreme prije nadogradnje

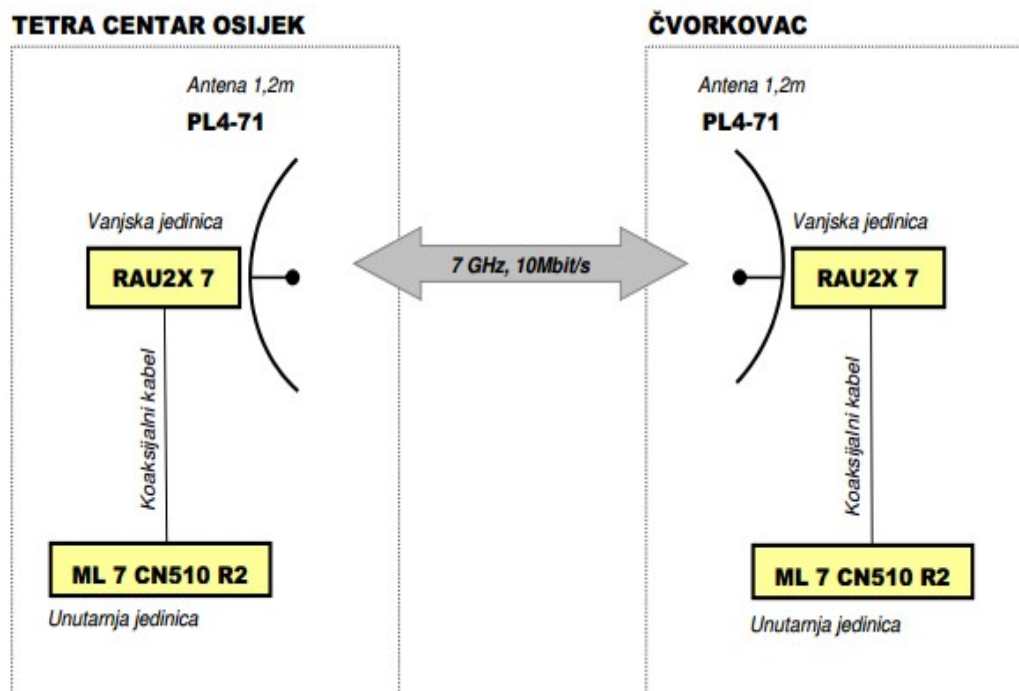
Kao što je u uvodnom dijelu rečeno mikrovalna oprema je u potpunom nadzoru HEP - ODS d.o.o. i predstavlja vlastitu transmisijsku infrastrukturu za komunikaciju baznih postaja DIMORAS sustava s centrom za nadzor (SCN) s lokacija na kojima ne postoji vlastita optička infrastruktura. Ukupno je osam lokacija s kojih postojeće bazne postaje sustava DIMORAS komuniciraju s centrom za nadzor u ESO-Osijek, a to su:

- Maksimov Hrast (DP Elektra Brod),
- Košarevac (DP Elektra Brod),
- Lončarski Vis (DP ESO-Osijek),
- Prkos (DP Virovitica),
- Kaža (DP Virovitica)
- Đakovo Silos (DP ESO-Osijek),
- Čvorkovac (DP ESO-Osijek),
- Borinci (DP Vinkovci).

Konfiguracija i raspored mikrovalne opreme u TETRA mreži je prikazan blok shemom u prilogu broj 1[1]. Mikrovalna oprema na lokaciji Maksimov Hrast, Lončarski Vis, Đakovo Silos, Čvorkovac i Borinci radi u frekvencijskom području 7 GHz, kapaciteta 4Mbit/s, koristeći C-QPSK modulaciju. Mikrovalna oprema na lokaciji Kaža, Prkos i Košarevac radi u frekvencijskom području 18 GHz, kapaciteta 4 Mbit/s, koristeći C-QPSK modulaciju [1].

2.2. Stanje mikrovalne opreme poslije nadogradnje

Nadogradnja mikrovalne opreme nužna je za proces revitalizacije DIMORAS sustava na području Slavonije i Baranje. Nadogradnja predstavlja prestanak rada i demontiranje postojeće radijske opreme, te postavljanje radijskih uređaja nove generacije - primjer na slici 1[2].



Slika 1. Blok shema mikrovalne RR veze [2]

Vanjska jedinica RR uređaja RAU2x7GHz omogućuje prijam i predaju RF signala u frekvencijskom području 7 GHz. Funkcionalni dijelovi radijske jedinice RAU2x7GHz su sljedeći [2]:

- mikrovalna jedinica (Microwave Sub-unit) koja iz složenog dolaznog signala iz unutarnje jedinice RR uređaja izdvaja i obrađuje predajni među-frekventni signal kojeg prebacuje u visokofrekventno područje, filtrira, pojačava i šalje u filtar podjedinice u kojoj se izdvaja i obrađuje komandni i kontrolni signal, te izdvaja istosmjerno napajanje 45-60V, odnosno u prijemnom smjeru prima signal iz filtra podjedinice kojeg pojačava i prebacuje u među-frekventno područje, te formira složeni signal kojeg šalje unutarnjoj jedinici RR uređaja, a koji se sastoji od obrađenog prijemnog među-frekventnog signala, te komandnog i kontrolnog signala,
- filtar podjedinica koja u predajnom smjeru, preko izlaznog filtra grananja, šalje signal anteni RR uređaja, a u prijemnom smjeru prima signal iz antene RR uređaja, te ga preko ulaznog filtra grananja šalje mikrovalnoj podjedinici.

Vanjska jedinica ima funkciju zaštite od visokog napona, a smještena je u vodonepropusnom kućištu, koje je opremljeno s konektorom za spajanje koaksijalnog kabela koji povezuje vanjsku i unutarnju jedinicu RR uređaja, konektorom za uzemljenje i konektorom AGC (*Automatic Gain Control* - automatska kontrola pojačanja), čija funkcija je priključenje mjernog instrumenta za točno usmjeravanje antene. Uz navedene konektore nalazi se indikacija napajanja i alarma. Vanjska jedinica RR uređaja se uzemljuje na antenski stup. [2]

Tehničke karakteristike vanjske jedinice RR uređaja RAU2x7 prikazane su u tablici I.

Tablica I. Tehničke karakteristike vanjske jedinice RR uređaja RAU2x7

Frekvencijsko područje	7GHz (7,1-7,7 GHz), CD-sub band 46/42, 47/43
Širina kanala (RF)	3,5 MHz
Izlazna snaga	-10 do +30 dBm \pm 2dB
Prag prijema za BER 10-3	-89 dBm
Prag prijema za BER 10-6	-88 dBm
Radni uvjeti: -temperatura okoline	-33°C do 55°C nepromijenjene karakteristike -50°C do 60°C puna funkcionalnost
Relativna vlažnost	8-100%
Dimenzije	97x260x321 mm
Težina	4 kg

Tehničke karakteristike antene (Φ 1,2m) prikazane su u tablici II.

Tablica II. Tehničke karakteristike antene (Φ 1,2m)

Frekvencijsko područje:	7 GHz (7,1 8,5 GHz)
Polarizacija:	horizontalna/vertikalna (konfigurabilno)
Dobitak antene:	37 dBi
Širina snopa (3 dB) min/max:	1,9° / 2,2°
Podešavanje azimuta:	\pm 15°
Podešavanje elevacije:	\pm 15°
Dimenzije:	Φ 1286x565 mm
Težina:	cca 30kg
Dozvoljena brzina vjetra: - radna granica	55 m/s

Proračun mikrovalne veze TETRA Centar Osijek - Čvorkovac prikazan je tablicom III.

Tablica III. proračun mikrovalne veze TETRA Centar Osijek - Čvorkovac

	Tetra centar Osijek	Cvorkovac
Elevation (m)	89.00	188.00
Latitude	45 32 37.74 N	45 31 25.17 N
Longitude	018 44 16.55 E	018 58 31.93 E
True azimuth (°)	96.80	276.97
Vertical angle (°)	0.24	-0.37
Antenna model	PL4-71	PL4-71
Antenna height (m)	34.00	35.00
Antenna gain (dBi)	36.50	36.50
Frequency (MHz)	7300.00	
Polarization	Vertical	
Path length (km)	18.69	
Free space loss (dB)	135.17	
Atmospheric absorption loss (dB)	0.18	
Net path loss (dB)	62.35	62.35
Radio model	510 7/2X 010S/4 St	510 7/2X 010S/4 St
TX power (watts)	6.31e-03	6.31e-03
TX power (dBm)	8.00	8.00
EIRP (dBm)	44.50	44.50
Emission designator	6M21D7W	6M21D7W
RX threshold criteria	BER 10-3	BER 10-3
RX threshold level (dBm)	-90.00	-90.00
Maximum receive signal (dBm)	-20.00	-20.00
RX signal (dBm)	-54.35	-54.35
Thermal fade margin (dB)	35.65	35.65
Geoclimatic factor	1.85E-05	
Path inclination (mr)	5.35	
Fade occurrence factor (Po)	3.09E-03	
Worst month SESR (seconds /month)	8.46E-07	8.46E-07
BBER - multipath	2.22	2.22
ESR - multipath	4.29E-08	4.29E-08
	2.14E-06	2.14E-06
Rain region	ITU Region K	
0.01% rain rate (mm/hr)	42.00	
Flat fade margin - rain (dB)	35.65	35.65
Rain rate (mm/hr)	1320.80	1320.80
Rain attenuation (dB)	35.65	35.65
Annual rain outage (min)	2.02e-19	2.02e-19
BBER - rain	3.73E-10	3.73E-10
ESR - rain	7.47E-07	7.47E-07
BBER - multipath + rain	4.29E-08	4.29E-08
ESR - multipath + rain	2.14E-06	2.14E-06
Annual unavailability (minutes /year)	3.84E-25	3.84E-25
	2.02e-19	2.02e-19

uto, ođi 10 2015
07 - TC Osijek - Cvorkovac.pl4
Reliability Method - ITU-R P.530-7/8
Rain - ITU-R P530-7

Kapacitet nove veze iznosi 10Mbit/s, pri čemu se koristi 4QAM modulacija uz širinu radijskog kanala od 7 MHz. Mikrovalne veze su izvedene u konfiguraciji 1+0. Ukupno je nadograđeno osam mikrovalnih veza uz jednu novu izgrađenu za potrebe komunikacijskog povezivanja bazne postaje Valpovo Silos, što je prikazano blok shemom novog stanja u prilogu 2[1].

3. MODULACIJSKI POSTUPCI

3.1. Modulacija

Nužan uvjet za prijenos neke informacije iz jedne točke prostora u drugu je pripremljenost informacije za prijenos medijem koji okružuje te dvije točke. U točki odašiljanja potrebno je informaciju obraditi tako da se ona pretvori u oblik pogodan za prijenos. U točki prijema obavlja se inverzni postupak tj. informacija se nanovo pretvara u izvorni oblik.

U elektroničkoj se komunikacijskoj tehnici prijenos informacije obavlja pomoću električnog signala koji je reprezentiran veličinom napona, jakošću struje ili, pak elektromagnetskim valom. Postupak transformacije električnog signala koji nosi informaciju radi njegove prilagodbe za prijenos naziva se modulacija. Proces koji je inverzan modulaciji, a sastoji se od povratne transformacije primljenog signala u osnovni oblik, naziva se demodulacija ili detekcija.

Pod pojmom modulacije u užem smislu razumijeva se mijenjanje jednog ili više parametara jednog pomoćnog signala ovisno o signalu koji nosi informaciju. Taj se pomoćni signal naziva prijenosni signal. Signal koji nosi informaciju, i koji upravlja promjenama parametara prijenosnog signala naziva se modulacijskim signalom. Kao rezultat modulacije nastaje signal kojem su parametri funkcije razine modulacijskog signala i takav se signal naziva moduliranim signalom.

Modulacija se obavlja u elektroničkom sklopu koji se naziva modulator. Pri provedbi modulacijskog postupka promjena jednog parametra prijenosnog signala vrlo često prati promjenu ostalih parametara. U tom slučaju uz korisnu ili osnovnu modulaciju pojavljuje se i više neželjenih tzv. parazitnih modulacija. Sistematizacija modulacijskih postupaka može se provoditi u dva pravca, prema svrsi modulacijskog signala i prema vrsti prijenosnog signala. U prvom je slučaju riječ o analognom, odnosno kontinuiranim i diskretnim modulacijskim postupcima koji odgovaraju kontinuiranoj, odnosno diskretnoj vrsti modulacijskog signala.

Pri podjeli prema vrstama prijenosnog signala razlikuju se modulacije sinusnog signala, modulacije periodičnih impulsa i modulacije ostalih prijenosnih signala. Ovdje valja spomenuti još jednu klasu modulacijskih postupaka kod kojih se može govoriti o prijenosnom signalu u užem smislu. To su tzv. digitalni modulacijski postupci kojima se obavlja digitalizacija kontinuiranih signala. Modulacijom sinusnog signala premješta se informacijski signal iz osnovnog pojasa frekvencija u područje viših frekvencija. Postavljanjem različitih informacijskih signala u različita frekvencijska područja omogućuje se istodobni prijenos više informacijskih signala preko zajedničkog prijenosnog medija.

Takav je postupak osnova multipleksa s frekvencijskom podjelom kanala (FDM, *Frequency Division Multiplex*). Premještanje informacijskog signala iz osnovnog u viši pojas frekvencija posebno je važno u radiokomunikacijama. Zračenje elektromagnetskih valova znatno je efikasnije u području viših frekvencija, jer postoji mogućnost ostvarenja antene kojoj su geometrijske dimenzije reda veličine valne duljine elektromagnetskog vala koji se zrači.

Modulacijom periodičnih impulsa pridružuju se uzorcima informacijskog signala impulsi u različitim vremenskim intervalima. Time je omogućen istodobni prijenos više različitih informacijskih signala preko zajedničkog prijenosnog medija. Taj je postupak osnova multipleksa s vremenskom podjelom kanala (TDM, *Time Division Multiplex*). Upotreba modulacije nije ograničena samo na područje komunikacija, već ima važnu ulogu i u tehnici pohranjivanja i reprodukcije signala, te u mjernoj tehnici.[3]

3.2. QPSK i C-QPSK modulacija

Modulacijski postupak s četiri moguća diskretna stanja relativne faze moduliranog signala naziva se kvatenarnom diskretnom modulacijom faze (QPSK, *Quaternary Phase Shift Keying* ili *Quadrphase PSK*) ili čak četverofazni PSK tj. 4-PSK. Kao referentna faza uzima se faza prijenosnog signala. Skup mogućih diskretnih vrijednosti faza ϕ_m od M članova npr. formiramo ovako:

(1)

Za svaku vrijednost M možemo formirati dva skupa mogućih diskretnih faza φ_m . Elemente skupa vrijednosti relativne faze QPSK-signalu dobivamo stavljanjem $M=4$ u izraz (1)

$$\text{za } c = 0, \quad \varphi_m = \left\{0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}\right\} \quad (2)$$

$$\text{za } c = 1, \quad \varphi_m = \left\{\frac{\frac{\pi}{2} - \frac{3\pi}{2}}{4}, \frac{\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2}}{4}, \frac{\frac{\pi}{2} - \pi}{4}, \frac{\frac{\pi}{2} - \frac{3\pi}{2}}{4}\right\} \triangleq \left\{\pm \frac{\pi}{4}, \pm \frac{3\pi}{4}\right\} \quad (3)$$

Ova dva skupa rezultiraju dvjema varijantama QPSK-signalu. Svakom elementu skupa φ_m pridružujemo po dva binarna znaka. Prilikom provedbe modulacije znakovi digitalnog modulacijskog signala se grupiraju u parove ili dibite. To pridržavanje može biti sasvim proizvoljno, ali se u te svrhe obično primjenjuje tzv. Grayev kod. U I-Q ravnini susjednim stanjima faze pridružuju se tada parovi koji se međusobno razlikuju samo u jednom binarnom znaku (slika 3).

Modulacija faze je postupak kod kojeg modulacijski signal utječe na promjenu relativne faze sinusnog signala. Opći izraz za fazno modulirani signal je:

$$x_{QPSK}(t) = A \cos[2\pi f_0 t + \phi(t)] \quad (4)$$

gdje je f_0 frekvencija nosioca, a $\phi(t)$ je relativna faza. Kod diskretne modulacije, za razliku od kontinuirane, modulacijski signal poprima vrijednosti iz konačnog skupa. Skup relativnih faza je određen brojem mogućih diskretnih faza:

$$\varphi_m = \left\{ \pi \frac{2n}{M} + \frac{\pi}{M} \right\}, n = 0, 1, \dots, M-1. \quad (5)$$

Za $M = 2$ modulacijski postupak zove se binarni, a općenito za $M > 2$ modulacijski postupak zovemo M -narnim. Npr. za $M = 4$ skup relativnih faza je:

$$\Phi = \left\{ \frac{\pi}{4}, \frac{3\pi}{4}, \frac{5\pi}{4}, \frac{7\pi}{4} \right\} \quad (6)$$

Diskretna fazna modulacija s $M = 4$ naziva se *četverofazna diskretna modulacija* (quadrature phase shift keying) – QPSK. Kao rezultat M -narne diskretne modulacije faze dobije se M različitih *elementarnih signala*. Ako se svakom valnom obliku pridruži neki simbol (kodiranje) dobije se sustav kojim je moguće prenositi digitalnu informaciju komunikacijskim kanalom. Svi valni oblici koji se generiraju na prethodno opisani način imaju isto trajanje i ono se naziva interval signalizacije T_s . Brzina signalizacije koja se ostvaruje jednaka je broju prenesenih elementarnih signala u jedinici vremena odnosno broju prenesenih simbola u jedinici vremena:

$$r_s = \frac{1}{T_s} \left[\frac{\text{simbola}}{s} = \text{Baud} \right] \quad (7)$$

Jedinica kojom se izražava broj prenesenih simbola u jedinici vremena naziva se i „*baud*“. Brzina prijenosa informacije može se izraziti i u broju prenesenih bitova u sekundi. Ako je broj simbola jednak M , tada je potrebno $m = \log_2(M)$ bitova za jednoznačno kodiranje M simbola, pa je broj bitova koji se prenosi sustavom u jedinici vremena:

$$r_b = r_s \log_2(M) \left[\frac{\text{bit}}{s} \right] \quad (8)$$

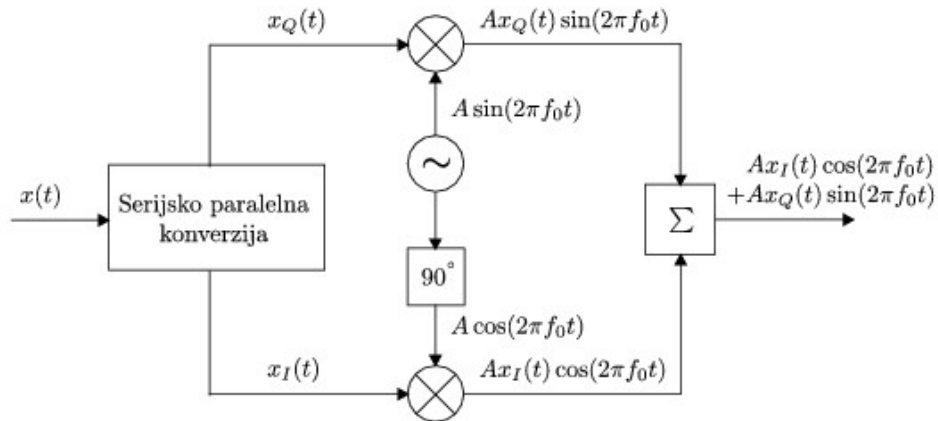
Brzina prijenosa u baud-ima je važna kod procjene pojasne širine koju zauzima fazno modulirani signal. Fazno modulirani signal se može rastaviti na sljedeći način:

$$x_{QPSK}(t) = A \cos[2\pi f_0 t + \phi(t)] = A \cos[x_1(t) \cos(2\pi f_0 t) + x_2(t) \sin(2\pi f_0 t)] \quad (9)$$

uz uvjet:

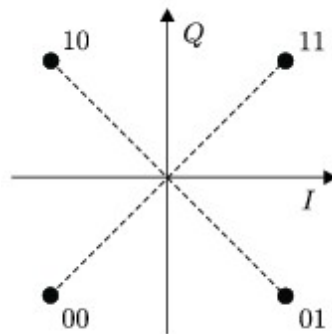
$$A_0 = A \sqrt{x_I^2(t) + x_Q^2(t)} \quad (10)$$

Odnosno, fazno modulirani signal može se zapisati kao superpozicija dvaju amplitudno moduliranih signala, čiji nosioci su međusobno ortogonalni ($\sin(2\pi f_0 t)$ i $\cos(2\pi f_0 t)$). Posebno kod QPSK, $x_I(t)$ i $x_Q(t)$ mogu poprimiti vrijednosti iz skupa $\{+1, -1\}$ (slika 2) pa se QPSK signal dobiva superpozicijom dvaju BPSK signala. [4]



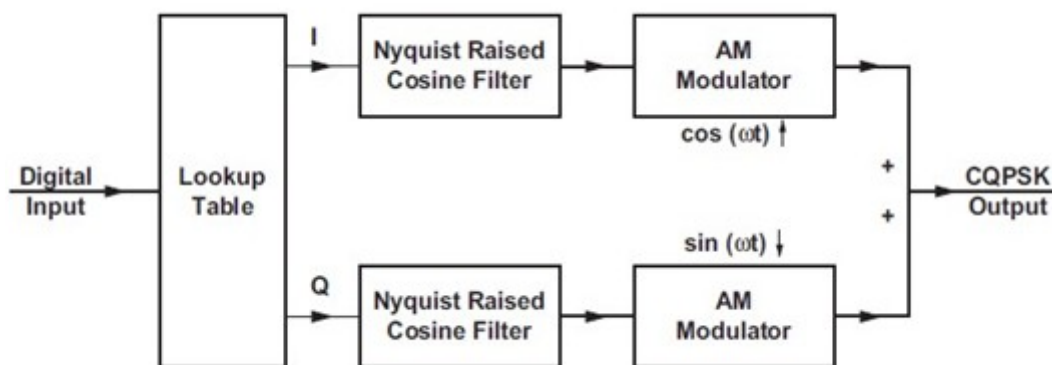
Slika 2. Blok shema dobivanja QPSK – signala [4]

Dijagram stanja (I-Q ravnina) QPSK signala prikazan je na slici 3. U dijagramu stanja susjednim vektorima pridružuju se parovi bitova koji se razlikuju samo u jednom binarnom znaku zbog toga što je vjerojatnost greške veća što su vektori u dijagramu stanja bliži. U komunikacijskim sustavima vrlo je važna analiza pojasne širine koju zauzima signal. Budući da je spektar snage QPSK signala neograničen potrebno ga je ograničiti filtrom. Važan parametar je odnos brzine prijenosa i pojasne širine koju signal zauzima. Taj parametar se naziva *spektralna korisnost* [4].



Slika 3. QPSK dijagram stanja [4]

C-QPSK modulacija je kompromis između fazne i kvadrturno fazne amplitudne modulacije, modulacijom dva nositelja. Kvadrturno fazni nositelj kasni za 90° u odnosu na faznog nositelja [5]. Blok shema dobivanja CQPSK – signala prikazana je na slici 4.



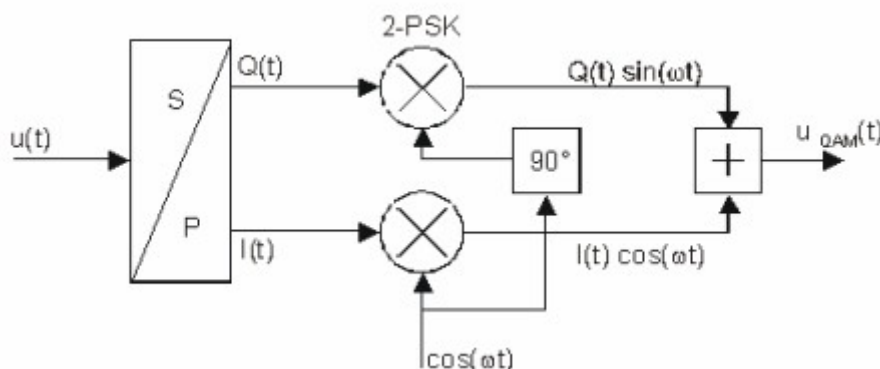
Slika 4. Blok shema dobivanja CQPSK - signala [5]

3.3. 4-QAM modulacija - kvadratura diskretna modulacija amplitude

Kvadratura diskretna modulacija amplitude (QASK, Quadrature Amplitude Shift Keying) nastaje kad dva međusobno neovisna diskretna signala $I(t)$ i $Q(t)$ moduliraju amplitudu dviju kvadraturnih komponenta prijenosnog signala. Ovaj postupak se u bit naziva digitalnom QAM ili jednostavno QAM bez isticanja diskretnog karaktera modulacijskog signala. Postupci kvadrature diskretne modulacije amplitude se češće susreću od odgovarajućih kontinuiranih postupaka. QAM – signal analitički je opisan izrazom (8). QAM je modulacijski postupak kod kojeg dva međusobno neovisna diskretna signala $I(t)$ i $Q(t)$ moduliraju amplitude dviju kvadraturnih komponenta prijenosnog signala:

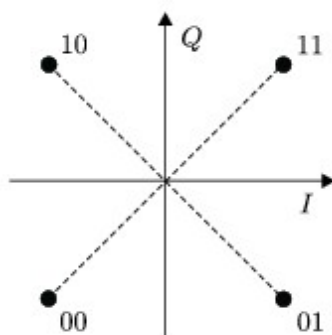
$$u_{QAM}(t) = I(t)\cos\omega_p t - Q(t)\sin\omega_p t \quad (11)$$

gdje su $I(t)$ i $Q(t)$ predočeni s "N" razina, a QAM signal ima N^2 elementarnih signala ili simbola. Na slici broj 5 prikazana je blok shema dobivanja QAM - signala koji se dobije zbrajanjem ta dva signala, dakle sinusoide i kosinusoide istih frekvencija. Rezultantni modulirani signal $u_{QAM}(t)$ imati će promjenjivu amplitudu, ali i fazu [7].



Slika 5: Blok shema dobivanja QAM – signala [6]

$I(t)$ i $Q(t)$ su binarni signali sa po dvije razine. Na taj način dobije se 4-QAM signal čiji je dijagram stanja prikazan na slici broj 6. Kvadratni oblik dijagrama stanja QAM-signal dobivamo samo kada je broj diskretnih stanja moduliranog signala parna potencija od dva. Svakom se stanju tada pridružuje paran broj binarnih znakova, a razine modulacijskog signala $I(t)$ i $Q(t)$ međusobno su potpuno neovisne. Kvadratni oblik i struktura dijagrama stanja rezultat su najjednostavnijeg postupka dobivanja QAM-signal. Promjenom oblika i strukture dijagrama mogu se poboljšati obilježja QAM-signal u pogledu šuma i potrebne vršne snage moduliranog signala.

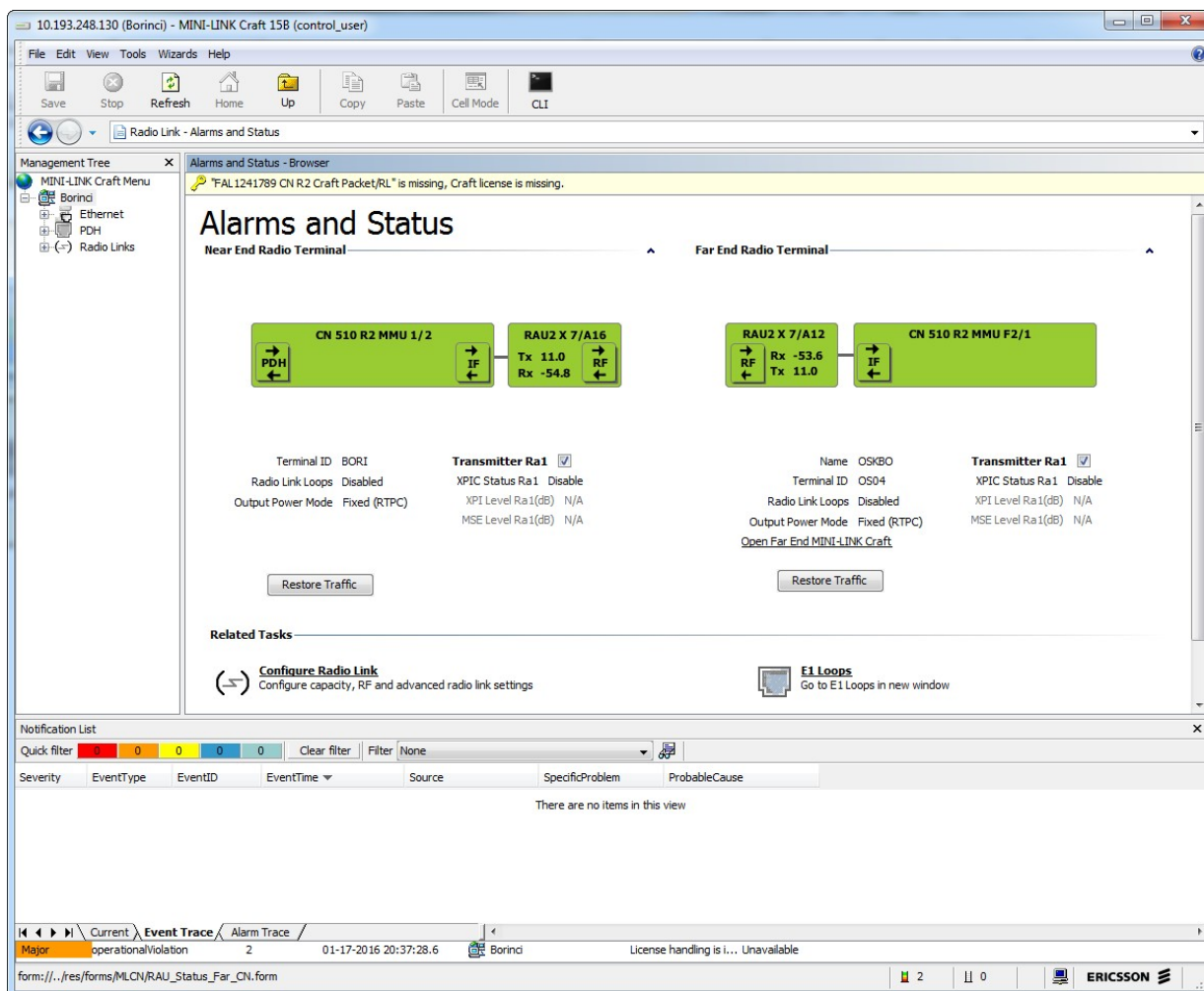


Slika 6. 4-QAM dijagram stanja [6]

QPSK modulacija je u stvari poseban slučaj QAM modulacije. Razlika je da QPSK nema modulaciju amplitude, dok QAM ima. Ovisno o razini kvantizacije imamo 4-QAM, 16-QAM, 64-QAM modulaciju. Više stanja znači veću mogućnost pogreške. Radi poboljšanja osobina moduliranog signala u pogledu šuma valja ostvariti što veći razmak točaka dijagrama stanja. Vrlo dobrim rješenjem pokazuje se heksagonalna struktura dijagrama stanja. Kvadraturna diskretna modulacija amplitude primjenjuje se za prijenos digitalnih signala velikih brzina [7].

4. DALJINSKI NADZOR I PARAMETRIRANJE RADIO-LINKA

Programski paket MINILINK-Craft omogućava daljinski nadzor nad linkovima i njihovo daljinsko parametriranje. Na slici 6. prikazan je izgled sučelja programskog paketa MINILINK-Craft kojim se lokalno ili s udaljene lokacije vrši spajanje na mikrovalnu opremu putem TCP/IP protokola koristeći HEP WAN/LAN mrežu.



Slika 6. sučelje programskog alata za nadzor i parametrisanje opreme mikrovalnih linkova

Navedeni programski paket služi za dijagnosticiranje kvara na linku, a ujedno prikazuje prijamne razine signala u stvarnom vremenu, koje omogućavaju kontrolu linka na fizičkom nivou. Važno je napomenuti kako ovaj programski paket u kombinaciji s infrastrukturom omogućava proširenje postojeće mreže s lokacije A na udaljenu lokaciju B ukoliko instalirana oprema to traži. Pod tim se misli da je s udaljene strane moguće „širiti“ mrežnu infrastrukturu, što se pokazalo vrlo korisno u pogledu redundancije veze te mogućeg zatvaranja komunikacijskog prstena.

5. ZAKLJUČAK

Nadogradnja mikrovalne opreme nužna je bila za daljnji proces revitalizacije DIMORAS sustava na području Slavonije i Baranje. Omogućila je prelazak i rad opreme na 4QAM modulaciji, kojom se dobio širi frekvencijski kanal, te pouzdanija i sigurnija komunikacijska veza s nadređenim centrom za nadzor TETRA radijske mreže u ESO-Osijek. Prednost 4QAM modulacije naspram C-QPSK modulacije je što se 4QAM modulacijom vrši modulacija osnovnog signala po amplitudi i fazi, dok se pomoću C-QPSK modulacije vrši modulacija osnovnog signala samo putem modulacije faze.

Modifikacijom mikrovalne opreme omogućen je još jedan segment vrlo bitan za HEP, a to je da je omogućeno proširenje HEP WAN/LAN mreže ne samo za potrebe TETRA mrežnog sustava, već i za potrebe povezivanja krajnjih lokacija u HEP-ovu mrežnu okosnicu, a samim time i povezivanje objekata tj. automatizaciju postrojenja po dubini SN mreže u smislu uvođenja lokacija u sustav za daljinsko vođenje.

6. LITERATURA

[1] Idejno rješenje, broj projekt: 14-026, Projekt: Revitalizacija DIMORAS mreže na području Slavonije i Baranje, AZTEK d.o.o., Zagreb, 2015.

[2] Projekt izvedbenog stanja, broj projekta: 00153-PRI HEP 01, Projekt: Nadogradnje mikrovalnih veza - TETRA centar Osijek, ERICSSON Nikola Tesla d.d., Zagreb, 2015.

[3] Ivan Modlic, Borivoj Modlic: Visokofrekvencijska elektronika (modulacija, modulatori, sintezatori frekvencije), Školska knjiga Zagreb, 1995.

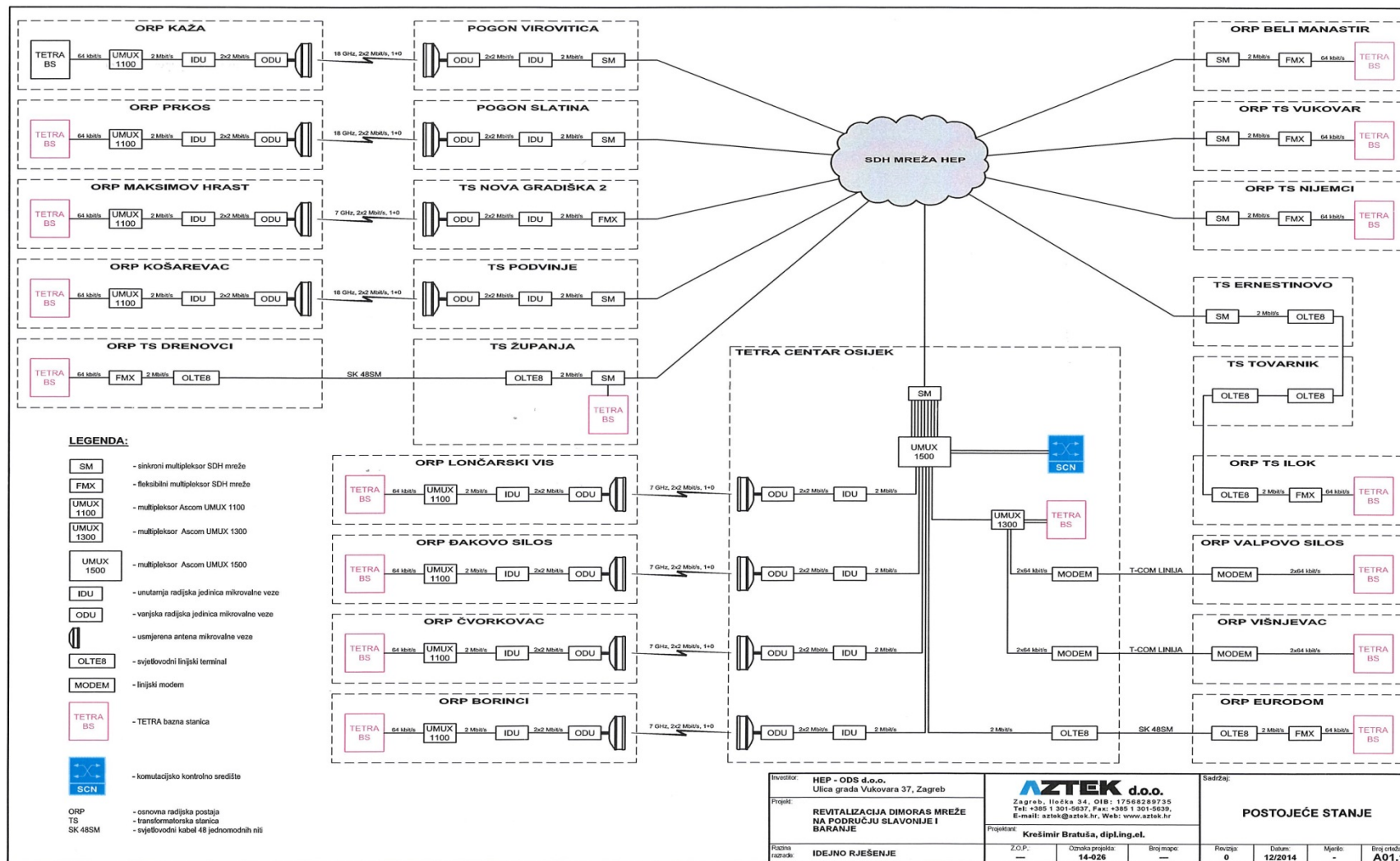
[4] http://marjan.fesb.hr/~radic/ksip_0708/ksl_0708ch4.html

[5] http://www.dvsinc.com/papers/p25_training_guide.pdf

[6] http://www.hakom.hr/UserDocsImages/2010.g/Zeno/Studije/Studija_FER_utjecaj_DTV_kanala_na_ATV_mre%C5%BEu_RH.pdf

[7] Borivoj Modlic, Ivan Modlic: Modulacije i modulatori, Školska knjiga Zagreb, 1995.

PRILOG 1



PRILOG 2

