

Mogućnost rada analognih repetitora u digitalnom modu

Dušan P. Marković, YU1AX, Slađan K. Stanković, Zoran N. Gaćinović, Dejan P. Jakšić, Predrag Z. Lazić i Ivana I. Lacković

Sadržaj — Da li će repetitori za analogni PAL B/G signal moći da repetiraju digitalni? Ukoliko je to moguće, koja je degradacija kvaliteta? Moraju li svi analogni repetitori po otpočinjanju digitalnog emitovanja signala (DVB-T) biti odmah zamenjeni digitalnim (*gap-filler*-ima), ili se mogu menjati postupno, što je u našim uslovima opravdavano? U ovom radu daju se odgovori na neka od postavljenih pitanja.

Ključne reči — DVB-T, TV repetitor, MER, BER, *gap-filler*

I. UVOD

NAŠOJ zemlji najdalje do 2015. god. predstoji prelazak sa analognog emitovanja televizije u boji (standard B/G, sistem PAL-625/50) na digitalni standard terestričke (zemaljske) digitalne televizije (DVB-T). Pošto zemlje članice Evropske unije (Mađarska, Rumunija, Bugarska) i kandidati za članstvo (Hrvatska) najavljuju prelazak na digitalno emitovanje počev već od 2012. god., tada nam predstoji izuzetno težak i gotovo nepremostivi problem. To je, zamena postojećih analognih predajnika sa digitalnim. Ovo je veoma izraženo kod velikih nacionalnih emitera poput RTS, koji u svojoj mreži poseduje po 11 magistralnih predajnika za svaki od TV programa (Crveno Selo - Subotica, Čot- Fruška Gora, Vršac, Avala, Crni Vrh - Jagodina, Deli Jovan, Tupižnica, Pogled - Jastrebac, Ovčar, Gobelja - Kopaonik i Besna Kobila) i 430 repetitora u obe TV mreže koji se „naslanjaju“ na magistralne predajnike (tj. repetiraju ih). Ako se ima u vidu realno stanje emisije tehnike RTS, da je zamena magistralnih predajnika (11) itekako ogroman finansijski, organizacioni i tehnički problem, tada je zamena daleko većeg broja repetitora (430) neuporedivo veći.

Jedno od prelaznih rešenja je mogućnost privremenog rada tokom prelaznog perioda postojećih analognih repetitora u digitalnom modu na sadašnjim TV kanalima,

mr. D. P. Markovic, dipl.ing., Emisiona tehnika i veze, RTS, Kneza Višeslava 88, (phone: 381-64-8612801; e-mail: dule.markovic@rts.rs).

S. K. Stanković, dipl.ing., Emisiona tehnika i veze, RTS, Kneza Višeslava 88, Beograd, (phone: 381-64-8612849; e-mail: sladjans@rts.rs)

Z. N. Gaćinović, dipl.ing., Emisiona tehnika i veze, RTS, Kneza Višeslava 88 (phone: 381-64-8613789; e-mail: zoran.gacinovic@rts.rs).

D. P. Jakšić, dipl.ing., Emisiona tehnika i veze, RTS, Beograd, Kneza Višeslava 88, (phone: 381-64-8612830; e-mail: dejan.jaksic@rts.rs).

P. Z. Lazić, dipl.ing., Emisiona tehnika i veze, RTS, Beograd, Kneza Višeslava 88, (phone: 381-64-8612960).

I. I. Lacković, dipl.ing., Emisiona tehnika i veze, RTS, Beograd, Kneza Višeslava 88, (phone: 381-64-8612859; e-mail: ivana@rts.rs).

što implicira rad u MFN (namesto DVB-T planskoj) mreži, čime bi se u prvo vreme izbegla nabavka digitalnih repetitora (*gap-filler*) za kompletnu repetitorsku mrežu i zamena svih postojećih analognih repetitora. Na taj način, period nabavke i zamene bi se produžio na duži vremenski period, a u isto vreme u datim okolnostima omogućio digitalni rad u uslovima koji su tehnički mogući.

Imajući to u vidu, tokom septembra 2008. god., u laboratoriji RTS vršena su ispitivanja mogućnosti rada analognih repetitora u digitalnom radu, bez tehničkih modifikacija na uređajima, reemitovanjem DVB-T signala sa 27 UHF kanala (Avala) na 46UHF kanal u Košutnjaku. Tom prilikom, izvršena je analiza konstelacionog dijagrama, frekvencijskog spektra u TV kanalu na kojem repetitor radi, bitski protok, bitska (BER) i modulaciona (MER) greška.

II. DEFINISANJE BITSKE (BER) I MODULACIONE (MER) GREŠKE

Kako se definišu bitska (BER) i modulaciona (MER) greška? U realnim uslovima prijema konstelacione tačke pod dejstvom šuma ne zauzimaju isti položaj, nego dolazi do pomeranja u odnosu na referentni položaj. Na taj način, imamo „oblak“ konstelacionih tačaka, Sl. 1 [1], [2], [3], [4], [5]. S toga, dekodirer nije u mogućnosti da ispravno dekoduje konstelacionu tačku čime dolazi do pogrešnog prijema.

U idealnom dijagramu pozicija svake konstelacione tačke određena je parom (I_j, Q_j) Međutim, usled delovanja interferencija na mestu prijema, može doći do pomeraja vektora od tačke (I_j, Q_j) za iznos ΔI_j i ΔQ_j , tako da su koordinate konstelacione tačke sada $(I_j + \Delta I_j, Q_j + \Delta Q_j)$.

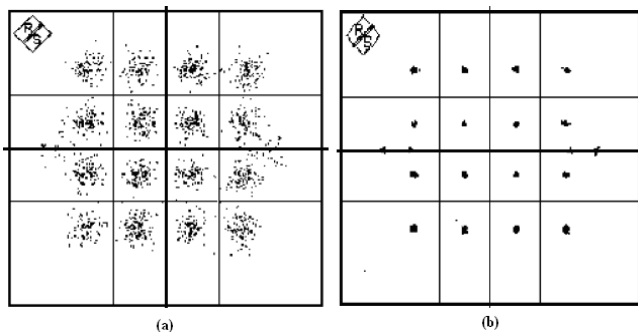
U skladu s odstupanjem od idealnog položaja konstelacione tačke, definiše se modulaciona greška (MER) kao,

$$MER = 10 \cdot \log \left[\frac{\sum_{j=1}^N (I_j^2 + Q_j^2)}{\sum_{j=1}^N (\Delta I_j^2 + \Delta Q_j^2)} \right] \quad (1)$$

Iz (1) sledi da što su pomeraji ΔI_j i ΔQ_j manji, to je količnik izraza (1) veći, pa je i MER veći, što se i želi. U praksi, prijem se smatra dobrim ukoliko je MER (meren pre Viterbi-jevog dekodera) iznad 30-35 dB.

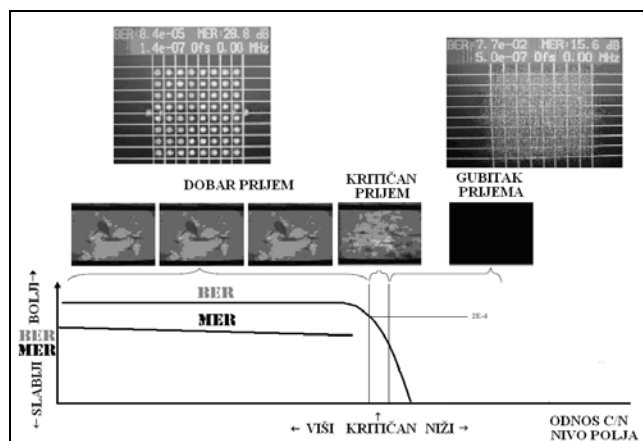
Metod za određivanje sistemske margine opisan je u ETSI tehničkom izveštaju TR101290 (poznatiji kao ETR290). Merenje modulacione greške (MER –

Modulation Error Ratio) na prijemu predviđeno je kao mera za opštu analizu kvaliteta (ili degradacije) DVB-T signala. Jasno je da pri pojavi paketa s greškom MER manji, odnosno BER veći. Smanjenjem MER-a do vrednosti od oko 23-26dB, BER ostaje približno konstantan. Međutim, počev od tačke za koje je MER=18-21dB, promenom MER-a za svega „par decibela“, BER naglo raste čime dolazi do drastičnog porasta broja grešaka u prijemu.



Sl. 1. Tipičan prijem digitalnog signala (a) sa i (b) bez šuma.

Zavisno od nivoa prijemnog polja, MER i BER mogu imati veće ili manje vrednosti (Sl. 2), što se direktno odražava na reprodukovani kvalitet TV slike.



Sl. 2. Uticaj nivoa polja i C/N na MER i BER

III. REZULTATI MERENJA

U cilju ispitivanja mogućnosti rada analognih repetitora u digitalnom modu, korišćeni su repetitori domaćeg proizvođača IMTEL iz Novog Beograda, čiji izlazni RF pojačavači snage rade u klasi "A" (model TVR-1000 66 10) i "AB" (model TVR 2000 66 20) koji se nalaze dugi niz godina u eksploataciji u RTS.

U opštem slučaju, realno je očekivanje da će zbog linearnosti radnog režima, repetitor u klasi „A“ (TVR-1000 66 10) dati bolje rezultate od repetitora u klasi „AB“ (TVR 2000 66 20). S toga je testiranje na repetitorskom uređaju u klasi „A“ vršeno bez filtra propusnika opsega, dok je na uređaju u klasi „AB“ korišćen filter propusnik opsega (*band-pass filter*). Merenja su obavljena u realnim uslovima – na izdvojenoj lokaciji u Košutnjaku, repetiranjem DVB-T signala sa 27. UHF kanala sa Avale

na 46 UHF kanal. Programski paket sadrži 4TV programa, 3 radijska i teletekst. U tom smislu, uporedno su merene karakteristike dolaznog signala sa Avale i izlaznog signala iz oba repetitora. U tabeli 1 prikazani su rezultati merenja bitske (BER) i modulacione (MER) greške.

TABELA 1: REZULTATI MERENJA.

64-QAM, 8K, $\Delta=1/4$, 19,1Mbit/s				
		AVALA	„A“	„AB“
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1/2	BER	---	---	---
	MER	---	---	---
	Mbit/s	14,930	---	---
	dB μ V	---	---	---
2/3	BER	2,7E-4	5,9E-3	1,2E-2
	MER	29,6dB	22,7dB	26dB
	Mbit/s	19,906	---	---
	dB μ V	55,5	83	91
3/4	BER	3,1E-4	1,6E-2	1,7E-2
	MER	29,7dB	21,2dB	23,6
	Mbit/s	23,394	---	---
	dB μ V	54,5	80,5	93,5
5/6	BER	3,1E-4	4,8E-3	1,1E-2
	MER	29,2dB	23,9dB	25,2dB
	Mbit/s	26,127	---	---
	dB μ V	53	78,5	90
7/8	BER	2,6E-4	---	1,2E-2
	MER	29,4dB	18-21,5dB	25,7dB
	Mbit/s	24,882	---	---
	dB μ V	55	---	91,5

Kako RTS kao nacionalni emiter zbog većih zona pokrivanja koristi 8K mod i zaštitni interval $\Delta=1/4$, tretirana je prvenstveno 64-QAM modulaciona šema, s normiranim neophodnim bitskim protokom svih TV programa od 19,1Mbit/s (računajući radijske ukupno 19,9Mbit/s). To je normirani protok koji mora biti doveden na ulaz DVB-T predajnika na Avali da bi radio. Prostim sabiranjem pojedinačnih protoka koji obrazuju multipleks i to: 1) 6.144kbit/s, 2) 6.144kbit, 3) 4.096kbit/s i 4) 4.096kbit/s dobija se 20.400kbit/s odnosno 19,9Mbit/s.

U koloni (3), tabela 1, dat je bitski protok koji zahteva modulaciona šema pri datom kodnom količniku - kolona (1). Zapaža se da pri nižim vrednostima od normiranog neophodnog bitskog protoka, za kodni količnik 1/2 nije bio moguć rad DVB-T predajnika. Generalno, što je niži kodni količnik, pri čemu se 1/2 smatra najnižim, a 7/8 najvišim, zahtevani bitski protok je niži. Takođe, što je niža modulaciona šema, pri čemu je 16-QAM niža od 64-QAM modulacione šeme, neto bitski protok je niži. Samim tim proizilazi da DVB-T predajnik ne može da podrži neto bitski protok niži od 19,1Mbit/s - vrednosti date u tabeli 2.

Istovremeno, pri najvišem kodnom količniku (7/8) repetitor u klasi „A“ izlaznog RF pojačavača, bez filtra propusnika opsega, davao je izuzetno visoku bitsku grešku, koja se nije mogla izmeriti, dok je pri tom modulaciona greška (MER) bila veoma niska (između 18 i 21.5dB) tabela 1. Na Sl. 3 prikazan je slučaj izuzetno

slabog prijema (64-QAM, kodni količnik 2/3) za repetitor s RF pojačavačem u klasi "A" bez izlaznog filtra. Bitska (BER) modulaciona greška (MER) je veća kod repetitora koji na svom izlazu ne poseduje filtar propusnik opsega.

TABELA 2: BITSKI PROTOCI

16-QAM, 8K, $\Delta=1/4$, 19,1Mbit/s	
Kodni količnik	Neto bitski protok [kbit/s]
1/2	9.953
2/3	13.271
3/4	14.929
5/6	16.588
7/8	17.418



Sl. 3. Slučaj slabog prijema za repetitor u klasi "A" (bez filtra propusnika opsega)

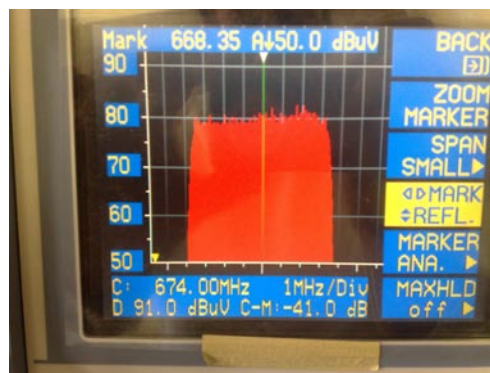
Na Sl.4. dat je primer varijante sistema s 16-QAM, 8K, $\Delta=1/4$, za kodni količnik 3/4 (protok 14.929kbit/s) - tabela 2, gde je protok nedovoljan, tako da DVB-T predajnik na Avali ne može da podrži dati protok. Ako je zahtevani bitski protok niži od normiranog, DVB-T predajnik nije u stanju da ga podrži, tako da je neophodno iz programskog paketa eliminisati jedan TV program.



Sl.4. Slučaj protoka za 16-QAM, 8K, $\Delta=1/4$, kodni količnik 3/4 (protok 14.929kbit/s),

Frekvencijski spektar u 46 UHF kanalu za repetitorski uređaj s RF izlaznim pojačavačem u "AB" klasi, prikazan je na Sl. 5. Vidi se da je relativno ravan i da ga analogni repetitor relativno malo izobličava, što je jedno od merila da analogni repetitor u zadovoljavajućoj meri može da reemituje DVB-T signal.

S toga je neophodno obezbediti što korektniji prijem dolaznog DVB-T signala na repetitorskoj lokaciji (MER>32dB), kako bi reemitovani signal bio s manjom greškom.



Sl. 5. Spektar DVB-T signala nakon reemitovanja analognim repetitorom ("AB" klasa).

Modulaciona greška nastala repetiranjem, niža je za 3-5dB od MER-a ulaznog signala. Pri vrednosti MER>22dB, prijem je korektan, ali nepouzdan. Uzimajući 3dB marginu implementacije, sledi da bi 25dB bila krajnja donja granica pouzdanosti prijema za MER. Ispravnost tvrdnje može se videti na Sl. 6.



Sl. 6. Konstelacioni dijagram korektnog prijema s MER-om od oko 26dB

IV. ZAKLJUČAK

Obavljenim ispitivanjima, pokazano je da analogni repetitori mogu da reemituju DVB-T signal uz određeni stepen degradacije kvaliteta. Kompletnija slika može se sagledati ispitivanjem ostalih veličina koje utiču na kvalitet - dodatnom korekcijom linearnosti izlaznih RF pojačavača, poboljšanjem faznog šuma oscilatora, izborom selektivnijeg *saw* filtra i filtra propusnika opsega, primenom ostalih modulacionih šema (16-QAM). Time se očekuju još bolji rezultati što će svakako biti tema za dalja istraživanja i naredni korak u RTS-u. Značaj dosadašnjih ispitivanja ogleda se u tome da se u prvoj fazi prelaska sa analognog na digitalno emitovanje može koristiti deo postojeće mreže repetitora za digitalno emitovanje.

LITERATURA

- [1] H. Benoit, *Digital Television: Satellite, Cable, Terrestrial, IPTV, Mobile TV in the DVB Framework*, 3rd edition, Amsterdam, February 2008.
- [2] W. Fischer, *Digital Television, A Practical Guide for Engineers*. Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag, 2004.

- [3] J. Arnold, M. Frater, M. Pickering, *Digital Television-Technology and Standards*. The University of New South Wales, ADFA Canberra, ACT, Australia.
- [4] U. Reimers, *Digital Video Broadcasting (DVB)*. The International Standard for digital Television.
- [5] G. W. Collins, *Fundamentals of Digital Television Transmission*, PE: John Wiley & Sons, Inc, 2001, ISBNs: 0-471-39199-9 (Hardback); 0-471-21376-4.

ABSTRACT

Would all analogue repeaters after comensing digital signal transmitting (DVB-T) have to be replaced with

digital (gap fillers), or they can be replaced gradually, which is in our case resonable? In this paper you can find some of the answers.

**POSBILITY OF OPERATING ANALOG
REPEATERS IN DIGITAL MODE**

Dušan P. Marković, YU1AX, Slađan K. Stanković,
Zoran N. Gaćinović, Dejan P. Jakšić, Predrag Z. Lazić,
and Ivana I. Lacković