

Grozdan Petrović

REFERAT

Dušan Drajić

Elektrotehnički fakultet

Beograd, Bul. Revolucije 73

Djuro Zrilić

ISKRA - TOZD Usmjerenje zveze

Ljubljana, Tržaška 2

SPEKTRALNA GUSTINA SNAGE NEBALANSIRANOG HDB₃ SIGNALAPOWER SPECTRUM OF THE UNBALANCED HDB₃ SIGNAL

SADRŽAJ - U ovome radu razvijen je opšti postupak za određivanje spektralne gustine snage nebalansiranog ternarnog signala. Ovaj postupak je zatim primenjen na konkretnom slučaju nebalansiranog HDB₃ signala kada se amplituda i trajanje impulsa menjaju u granicama $\pm 10\%$ od svojih nominalnih vrednosti.

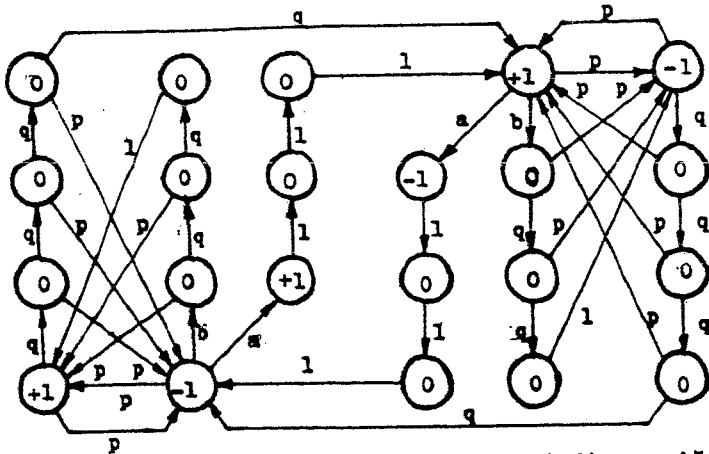
ABSTRACT - In this paper the general method for calculation of power spectrum of the unbalanced ternary signal is presented. This method has been proved for the case of the unbalanced HDB₃ signal when the pulse amplitude and/or duration vary within the limits of $\pm 10\%$ of their nominal value.

1. UVOD

Pri prenosu PCM signala po linijama s fizičkim vodovima koriste se balansirani kodovi koji ukidaju jednosmernu komponentu i imaju malo snage na niskim učestanostima s jedne strane, a koncentrišu snagu oko polovine digistske učestanosti s druge strane. U ovu klasu spada i HDB₃ kod preporučen za primarni PCM prenos u Evropi. Međutim, nebalansiranost se u realnim uslovima redovno javlja i toleriše, te se postavlja ne samo kao interesantno, već i kao važno praktično pitanje kako ova nebalansiranost utiče na spektralnu gustinu snage (u daljem izlaganju "spektar") signala. Da bi se rešio postavljeni problem u ovome radu ćemo najpre doći do opšte formule za spektar nebalansiranog ternarnog signala, a zatim je primeniti na konkretni posmatrani slučaj.

2. SPEKTAR NEBALANSIRANOG HDB₃ SIGNALA

Pretpostavimo da je u originalnom nizu statistički nezavisnih simbola verovatnoća pojavljivanja jedinica p. HDB₃ kodovanjem unosi se u ovaj niz statistička zavisnost. Konkretno, niz kodovan



Slika 1. Dijagram stanja Markovljevog izvora koji generiše HDB3 kod. ovim kodom može se posmatrati kao izlaz Markovljevog izvora. Proširivanjem ovoga izvora dobija se ekvivalentni Markovljev izvor prvog reda sa 22 stanja (Sl. 1.). Tranziciona matrica ovoga izvora ima oblik ($p + q = 1$, „.” označava 0)

$$\underline{P} \triangleq \begin{bmatrix} \underline{P}_1 & \underline{P}_2 \\ \underline{P}_2 & \underline{P}_1 \end{bmatrix} \quad \underline{P}_1 = \begin{bmatrix} .pab..... \\ p.....q.... \\l.... \\ .p..q..... \\ .p..q..... \\ l..... \\ p.....q.... \\ p.....q.... \\l.... \\l.... \end{bmatrix} \quad \underline{P}_2 = \begin{bmatrix} \\ \\ \\ \\ q..... \\ \\ l..... \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$a \triangleq q^4 \quad b \triangleq q - a$$

dok je vektor izlaza, tj. vektor čiji su elementi Fourierove transformacije signala koji odgovaraju pojedinim stanjima izvora

$$G(f) \triangleq \| S_i(f) \| \quad (i=1, \dots, 22) \quad (2)$$

Zapazimo da je u našem slučaju

$$S_i(f) = 0 \quad (i=4, \dots, 11, 15, \dots, 22) \quad (3)$$

Za ovakav izvor se može takođe naći i vektor stacionarnih verovatnoća \underline{w} rešavajući sledeći sistem od 23 linearne jednačine

$$\underline{w} \underline{P} = \underline{w}; \quad \underline{w} \underline{1}_{22} = 1 \quad (4)$$

gde $\underline{1}_{22}$ predstavlja vektor dužine 22 čiji su svi elementi jednaki 1, a (') označava transpoziciju.

U jednom ranijem radu [1] pokazano je da se kontinualni deo spektralne gustine snage digitalnog signala kojeg generiše Markovljev izvor može naći po obrascu

$$r) = \frac{1}{T} [2\text{Re}\{\underline{G}(f)\underline{Y}\underline{G}^H(f)\} - \underline{G}(f)\underline{U}\underline{G}^H(f)] \quad (5)$$

je

$$z(z\underline{I} - \underline{P} + \underline{1}\underline{2}\underline{2}\underline{W})^{-1}, \underline{U} \triangleq \underline{I} + \underline{1}\underline{2}\underline{2}\underline{W}, \underline{\tilde{G}}(f) \triangleq \underline{G}(f)\text{diag}(\underline{w}) \quad (6)$$

je $z \triangleq \exp(j2\pi fT)$, T - digitski interval, \underline{I} - jedinična matrica (\underline{H}) označava konjugovano-transponovanu veličinu.

Diskretni deo spektra dat je izrazom

$$\underline{S}_d(f) = \frac{1}{T^2} |C_o(f)|^2 \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(f - \frac{n}{T}) \quad (7)$$

je $\delta(f)$ - Diracov impuls i

$$C_o(f) = \underline{w}\underline{G}'(f) \quad (8)$$

U slučaju da su svi impulsi istog oblika izraz (5) se može no uprostiti, pa je poznato i rešenje u konačnom obliku (tj. nje gde je već izvršena inverzija matrice \underline{Y}) za opšti slučaj koda [2]. Međutim, ako svi impulsi nisu istoga oblika (tj. postoji nebalansiranost), pojavljuju se znatne teškoće i u em slučaju spektar u izrazu (5) treba računati tačku po tačku i put vršiti inverziju matrice 22 reda (za HDB3 kod).

U daljem radu pretpostavićemo, što dobro odgovara praksi, da vi pozitivni impulsi međusobno istoga oblika, a takodje i da vi negativni impulsi međusobno jednaki. Pokazaćemo da je pri šćenju izraza (5) potrebno izvršiti samo jedanput inverziju ma- e 22 reda. Ako sa $G_A(f)$ obeležimo Fourierovu transformaciju tivnih, a sa $G_B(f)$ negativnih impulsa, vektor izlaza se može sati u sledećem obliku

$$\underline{G}(f) = G_A(f)\underline{A} - G_B(f)\underline{B} \quad (9)$$

se uz oznake

$$\underline{c} \triangleq \| 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \| \quad (10)$$

$$\underline{d} \triangleq \| 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \| \quad (11)$$

ori \underline{A} i \underline{B} mogu skraćeno napisati $\underline{A} = \|\underline{c}\|\underline{d}\|$ i $\underline{B} = \|\underline{d}\|\underline{c}\|$.

Za nalaženje kontinualnog dela spektra treba naći vrednost aza tipa $\underline{\tilde{G}}(f)\underline{Q}\underline{G}^H(f)$ gde je $\underline{Q} = \underline{Y}$, odnosno $\underline{Q} = \underline{U}$.

Polazeći od izraza (9) i koristeći skraćene izraze za \underline{A} i \underline{B}

ajamo

$$\underline{Q}\underline{G}^H(f) = [G_A(f)\underline{\tilde{A}} - G_B(f)\underline{\tilde{B}}] \underline{Q} [G_A^*(f)\underline{\tilde{A}}' - G_B^*(f)\underline{\tilde{B}}'] = |G_A(f)|^2 \underline{\tilde{A}}\underline{Q}\underline{\tilde{A}}' + \quad (12)$$

$$+ |G_B(f)|^2 \underline{\tilde{B}}\underline{Q}\underline{\tilde{B}}' - G_B(f)G_A^*(f)\underline{\tilde{B}}\underline{Q}\underline{\tilde{A}}' - G_A(f)G_B^*(f)\underline{\tilde{A}}\underline{Q}\underline{\tilde{B}}'$$

(*) označava konjugovanu vrednost, a $\underline{\tilde{A}}$ i $\underline{\tilde{B}}$ se definišu analogno azu (6). Uočavamo da se matrica \underline{Q} (u oba slučaja) može rasbiti blokove (tipa 11x11) na sledeći način

$$Q = \begin{vmatrix} \frac{X}{Y} & \frac{Y}{X} \\ \frac{Y}{X} & \frac{X}{Y} \end{vmatrix} \quad (13)$$

tada lako nalazimo

$$\underline{\overline{AQA}}' = \|\underline{e} \| \underline{d}\| \begin{vmatrix} \frac{X}{Y} & \frac{Y}{X} \\ \frac{Y}{X} & \frac{X}{Y} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \underline{c} \\ \underline{d} \end{vmatrix} = \underline{\overline{BQB}}', \underline{\overline{AQB}}' = \underline{\overline{BQA}}' \quad (14)$$

te konačno dobijamo

$$\underline{\overline{G}}(r)\underline{Q}\underline{Q}^H(r) = (|G_A(r)|^2 + |G_B(r)|^2)\underline{\overline{AQA}}' - (G_A(r)G_B^H(r) + G_A^H(r)G_B(r))\underline{\overline{AQB}}' \quad (15)$$

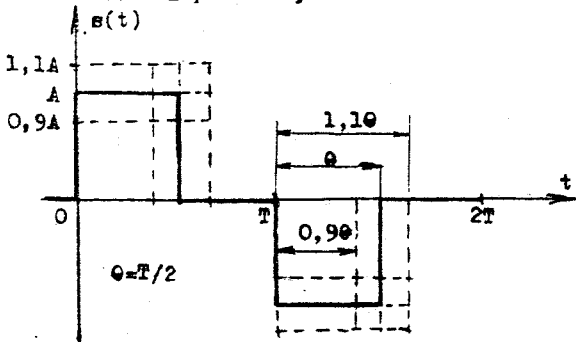
Pošto vektori A i B ne zavise od učestanosti, izrazi AQA' i AQB' kada je Q = U predstavljaju konstantne skalarne veličine. Kada je Q = V, koristeći činjenicu da je matrica V oblika $(zI - R)^{-1}$ za njeno traženje može se primeniti metoda Padejeva [3,4], te se izrazi AVA' i AVB' ovom metodom dobijaju u obliku količnika dva polinoma po z reda 22 čiji koeficijenti ne zavise od učestanosti. Na taj način za nalaženje kontinualnog dela spektra prema izrazu (5) dovoljno je samo jedanput izvršiti inverziju matrice 22 reda (metodom Padejeva), što znatno ubrzava računanje.

Na osnovu razmatranja iz ovoga odeljka može se naći spektar pri bilo kakvom obliku impulsa i s bilo kojom verovatnoćom pojavljivanja impulsa u originalnom nizu (koji se koduje HDB3 kodom) uz jedino ograničenje da su svi pozitivni impulsi međusobno identični, a takodje i svi negativni impulsi međusobno.

3. REZULTATI

Metodu razvijenu u prethodnom odeljku sada ćemo primeniti na konkretnom problemu.

Postoje preporuke CCITT-a koje se odnose na odstupanja parametara impulsa u primarnom PCM sistemu od njihovih nominalnih vrednosti.



Slika 2. Skica odstupanja parametara impulsa od nominalnih vrednosti.

Okvirno gledano može se smatrati da su dozvoljena odstupanja u iznosu $\pm 10\%$ od nominalne amplitude i takodje $\pm 10\%$ od nominalnog trajanja impulsa. U daljem istraživanju smatraćemo da su impulsi pravougaonog oblika a odstupanja jednaka maksimalno dopuštenim (Sl. 2.). Takodje pretpostavljamo da prednja ivica impulsa

menja svoj položaj u vremenu. Već u prethodnom odeljku smo predstavili da su svi pozitivni impulsi međusobno identični, a takođe i svi negativni impulsi međusobno. Očigledno da postoji 9 različitih oblika pozitivni i isto toliko oblika negativnih impulsa što ukupno daje 81 kombinaciju. Neke od ovih kombinacija su dualne, tj. ako pozitivan impuls ima parametre $1,1A$ i Θ , a negativan A i Θ , spektar će biti isti kao da pozitivan impuls ima parametre A i Θ , a negativan $1,1A$ i Θ). Postoji takođe niz kombinacija koje se razlikuju samo po razmeri, tj. ako oba impulsa imaju isto trajanje, amplituda se kod oba od A povećala na $1,1A$ ili smanji na $0,9A$, promeniće se samo razmera na ordinati. Na osnovu ovakvih razmatranja eksperimentalnog rada na računaru uvideli smo da se pri analizi uticaja nebalansiranosti može ići i dalje u uprošćavanju na taj način što se recimo pozitivni impulsi mogu zadržati s nominalnim vrednostima parametara, a da se menjaju samo vrednosti parametara od negativnih impulsa. U daljem radu daćemo konkretne rezultate samo za kombinacije ovoga poslednjeg tipa koje su nabrojane u Tab.1.

Tabela 1. Analizirani tipovi nebalansiranosti.

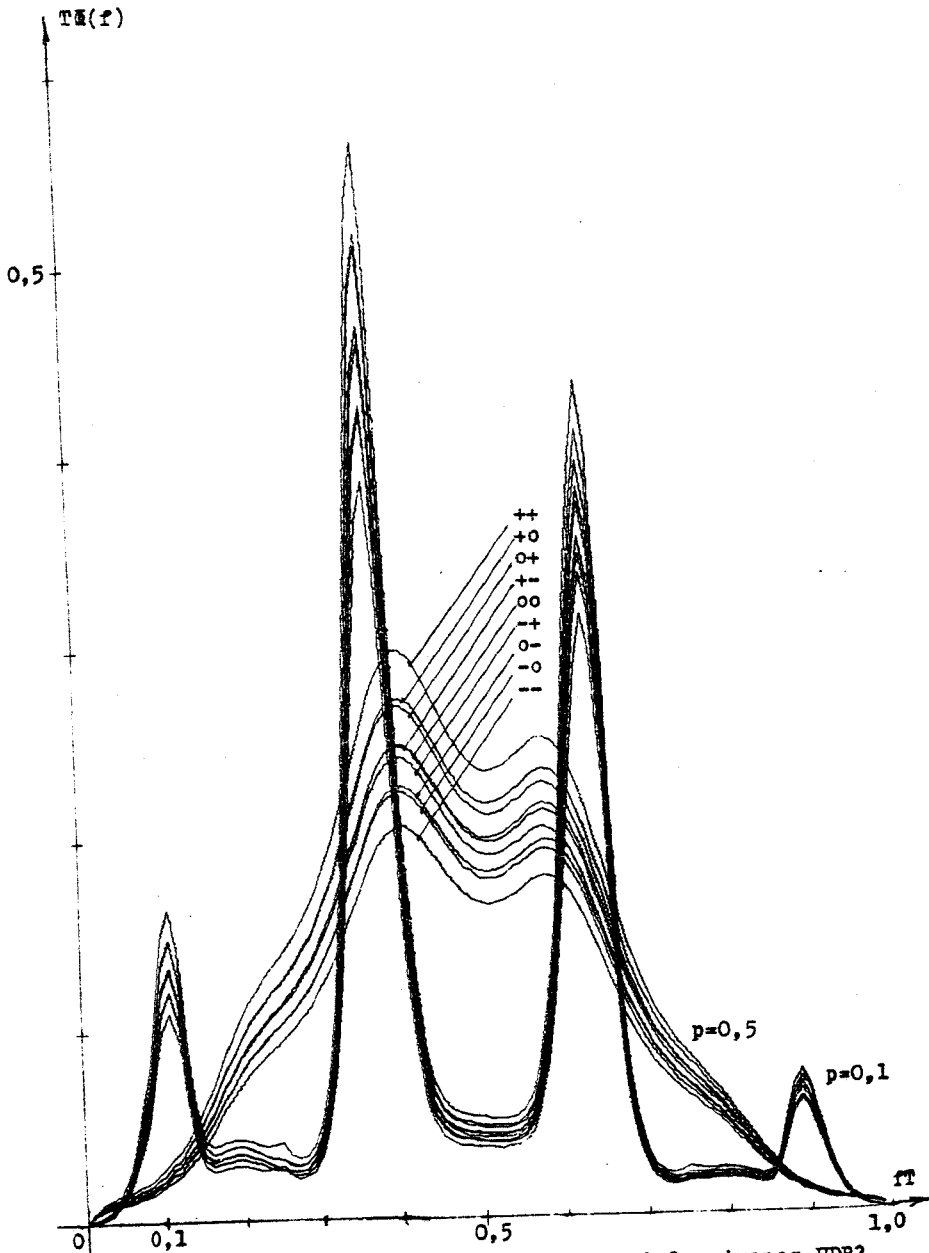
Redni broj	Negativni impulsi		Skraćena oznaka
	Ampl.	Tr.	
1	A	Θ	oo
2	A	0,9 Θ	o-
3	A	1,1 Θ	o+
4	0,9A	Θ	-o
5	0,9A	0,9 Θ	--
6	0,9A	1,1 Θ	+-
7	1,1A	Θ	+o
8	1,1A	0,9 Θ	+-
9	1,1A	1,1 Θ	++

Kao parametar takođe je merjena verovatnoća jedinica (p) u ulaznom (nekodovanom) signalu. Odlučili smo se da posmatramo kao karakteristične slučajeve $p = 0,1$ i $p = 0,5$. Na osnovu napred izloženog teorijskog pristupa razvijen je odgovarajući program za računsku mašinu. Rezultati dobijeni za spektar prikazani su na sl. 3. Lako se zapaža da se spektar ne menja praktično po obliku, ali da se po raz-

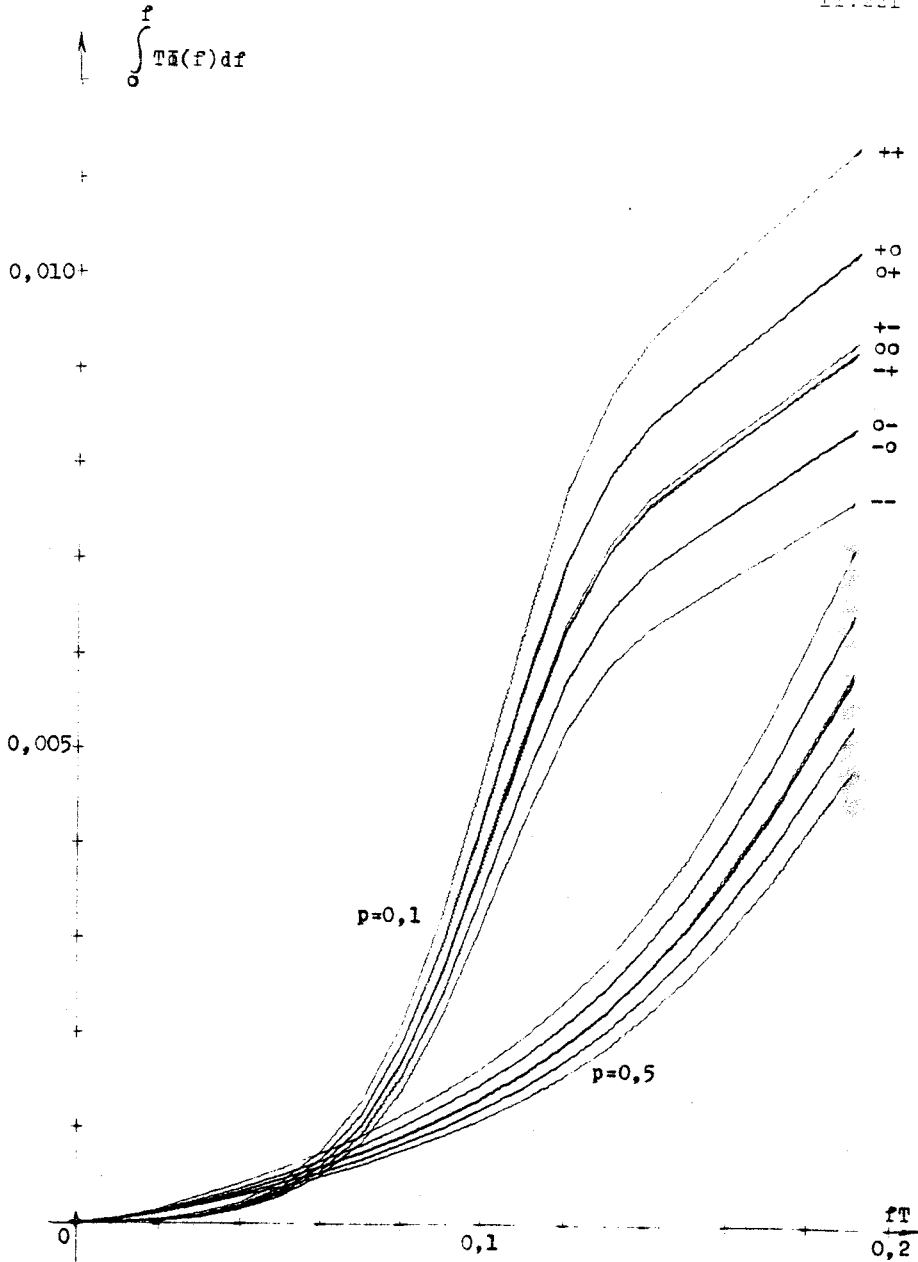
meri menja saglasno promeni snage impulsa. Takođe se zapaža da promene amplitude imaju veći uticaj od promena trajanja impulsa. Interesantno je uočiti i efekt kompenzacije kada su promene amplitude i trajanja suprotnog smera. U Tabeli 2. date su odgovarajuće vrednosti snage prve 3 diskretne komponente.

Tabela 2. Normirana snaga prve 3 diskretne komponente ($P_0 = (5pA)^2$).

Tip signala	++	+o	o+	+-	oo	-+	o-	-o	--
$P(0)/P_0$	1,102	0,250	0,250	0,002	0,0	0,002	0,250	0,250	0,903
$P(1/T)/P_0$	0,347	0,101	0,248	0,347	0,0	0,347	0,248	0,101	0,347
$P(2/T)/P_0$	0,293	0,0	0,242	0,293	0,0	0,196	0,242	0,0	0,196



Slika 3. Normirani kontinuelni deo spektra nebalansiranog HDB3 signala.



Slika 4. Normirana kumulativna funkcija snage kontinualnog dela spektra nebalansiranog HDB3 signala.

Na sl. 4. prikazana je kumulativna funkcija snage na nižim učestanostima (od 0 do $0,2/T$). Već smo napomenuli da je ovaj dijagram interesantan za ocenu preslušavanja u FDM sisteme koji eventualno koriste isti prenosni medijum. Vidimo da se zbog nebalansiranosti ukupna snaga u posmatranom opsegu menja za skoro $\pm 25\%$ od nominalne (kada postoji balansiranost).

4. ZAKLJUČAK

U ovome radu izložen je opšti postupak za efikasno nalaženje spektra nebalansiranog ternarnog signala. Jedino ograničenje je da se smatra da su pozitivni impulsi međusobno identični, a takođe i negativni međusobno. Takođe se pretpostavlja da je verovatnoća pojavljivanja jedinica u originalnom statistički nezavisnom nizu (koji se koduje) proizvoljna. Ovaj postupak je primenjen na konkretnom slučaju HDB3 koda, a analizirani su slučajevi kada pravougaoni (negativni ili pozitivni) impulsi menjaju amplitudu ili trajanje za $\pm 10\%$, što je unutar dozvoljenog gabarita. Konstatovano je da do značajne promene u spektru dolazi samo kada se menja snaga impulsa i da je pri tome uticaj promene amplitude značajniji od uticaja promene trajanja. Takođe je pokazano da se zbog nebalansiranosti javljaju kako jednosmerna, tako i linijske komponente u spektru, što je već ranije bilo primećeno u merenjima na praktičnom modelu. U radu su takođe dati dijagrami i za kumulativnu snagu koji mogu biti od koristi kada se proučava problem preslušavanja.

5. LITERATURA

- 1 G. Petrović, "Power spectrum of the balanced digital signal generated by Markov source", Electronics Letters, vol. 15. No. 24. 1979. pp. 769-770.
- 2 G. Petrović, D. Drajić, "Opšti izraz za spektralnu gustinu snage HDBn signala", Zbornik radova XXIII Konf. ETAN-a, Zadar 1978, str. II.43-II.50.
- 3 G. L. Cariolaro, G.P. Tronca, "Spectra of block coded digital signals", IEEE Trans. Commun., vol. COM-22, Oct. 1974, pp. 1555-1563.
- 4 D. S. Mitrinović, D. Miheilović, "Linearna algebra - analitička geometrija - polinomi", Građjevska knjiga, Beograd 1962.