

Dr Rade Petrović
Elektronski fakultet, Niš
dipl. ing. Spomenka Zirojević
Elektronska Industrija, Niš

NUMERIČKI PRORAČUN OPTIČKOG PPM SISTEMA ZA PRENOS TV SIGNALA

NUMERICAL CALCULATION OF OPTICAL PPM SYSTEM FOR TV SIGNALS

SADRŽAJ - U radu je dat prikaz proračuna optičkog sistema za prenos TV signala uz pomoć impulsne položajne modulacije za slučaj svetlovoda čija je transfer funkcija u obliku Gauss-ove krive i sa lavinskom fotodiodom za koju je određene optimalne pojačanje. Proračunat je dobitak u odnosu signal-šum u odnosu na modulaciju po intenzitetu u funkciji propusnog opsega svetlovoda pri optimalnoj širini propusnog opsega prijemnog filtra.

ABSTRACT - In this paper we present the numerical calculation of optical PPM system with optical fiber having Gaussian transfer function and with APD whose optimal gain is calculated. We also calculated the gain in SNR compared to optical intensity modulation as a function of the optical fiber bandwidth in the case of optimal receiving filter bandwidth.

1. UVOD

Poslednjih godina u svetu sve više raste interesovanje za primenu svetlovoda u prenosu širokopojasnih signala, naročito TV signala u kablovskoj televiziji, u složenim antenskim sistemima pri satelitskoj TV distribuciji, u televiziji zatvorenog kruga, u profesionalnim vezama, kao i u videotelefonskim i videokonferencijskim sistemima. Svuda dolaze do punog izražaja glavne karakteristike svetlovoda, kao što su, pre svega, veliki domet veze bez pojačavača (usled malog slabljenja), praktično neograničen informacioni kapacitet, male dimenzije i mala težina, nepostojanje elektromagnetne interferencije i sl. Stoga se i u našoj sredini javljaju interesovanja za slične poduhvate, pa je u Elektronskoj industriji u Nišu u okviru odgovarajućeg naučnog pro-

jekta planiran razvoj optičkih sistema za prenos TV signala.

Do sada realizovani optički TV sistemi u svetu su većinom analogni i koriste uglavnom modulaciju po intenzitetu optičkog signala. Ona je tehnički najjednostavnija i zahteva relativno malu širinu propusnog opsega sistema, ali je zato potrebna velika linearnost izvora, sobzirom na direktnu promenu intenziteta svetlosti u zavisnosti od struje kroz diodu. Linearnost LED je manje kritična od linearnosti LD koju je vrlo teško postići i održati u toku rada. Zato se u više radova [1.2] ističe pogodnost primene impulsno položajne modulacije, (PPM), jer se na taj način izbegavaju problemi oko nelinearnosti izvora svetlosti, a osim toga, može bolje da se iskoristi vrlo širok propusni opseg svetlovoda za povećanje dometa veze. Pa ipak, u literaturi ne postoji odgovarajući proračun dobitka primenom PPM koji bi obuhvatao specifične karakteristike optičkog sistema (transfer funkcija svetlovoda, optimizacija lavinske fotodiode, prijemnog filtra i sl.). Stoga će u ovom radu biti ukratko dat postupak koji je korišćen u proračunima, kao i najvažniji rezultati.

2. TEORIJSKE OSNOVE PRORAČUNA

Prvi postupak koji se koristi pri prenosu TV signala impulsno položajnom modulacijom je odmeravanje tog signala odgovarajućom učestanošću koja treba da je veća, ili jednaka dvostrukoj graničnoj učestanosti televizijskog signala. Zatim se varira početak uskih impulsa srazmerno amplitudi dobijenih odmeraka u okviru digitskog intervala odredjenog učestanošću odmeravanja ($T_0 = \frac{1}{f}$). U toku prenosa zbog disperzije u svetlovodu dolazi do širenja impulsa i smanjenja nagiba prednje ivice. Na prijemu se impuls za duge svetlovođe može da aproksimira Gauss-ovim oblikom [3,4]:

$$h(t) = e^{-t^2 / (2 \sigma_s^2)} \quad (1)$$

gde je σ_s efektivna širina impulsa na prijemu. Veza izmedju σ_s i efektivne širine propusnog opsega svetlovoda B_s data je preko relacije:

$$\sigma_s = \frac{1}{2 \sqrt{B_s}} \quad (2)$$

Ako pretpostavimo da je i prijemni filter Gauss-ovog oblika sa efektivnom širinom propusnog opsega B_f , tada na izlazu iz filtra dobijamo takodje Gauss-ov impuls širine:

$$\sigma = \sqrt{B_s^2 + B_f^2} / (2\bar{\mu} B_s B_f) \quad (2)$$

Ovaj impuls se poredi sa pragom odlučivanja, koji je izabran na visini gde Gauss-ov impuls najbrže raste. U trenutku kada prednja ivica impulsa preseče prag odlučivanja regenerišu se uzani impulsi kao na predajnoj strani. Strujni impuls kroz APD detektor se može aproksimirati sa:

$$i(t) = \frac{h\nu}{h\nu} G p(t) \quad (3)$$

gde je q naelektrisanje elektrona, η kvantna efikasnost fotodetektora, $h\nu$ energija upadnog fotona, G faktor lavinskog pojačanja APD diode. Trenutna vrednost optičke snage $p(t)$ je oblika:

$$p(t) = P_m \cdot e^{-t^2 / (2\sigma^2)} \quad (4)$$

gde je P_m maksimalna optička snaga na prijemu. Može da se pokaže da je srednja optička snaga signala na prijemu P_o oblika:

$$P_o = P_m \sqrt{2\bar{\mu}} \frac{\sigma}{T_o} \quad (5)$$

gde je T_o interval odmeravanja. Strujni impuls na prijemu je:

$$i(t) = \frac{h\nu}{\sqrt{2\bar{\mu}h\nu}} G \cdot k \cdot P_o \cdot e^{-t^2 / (2\sigma^2)} \quad (6)$$

k je definisano kao odnos intervala odmeravanja T_o i efektivne širine impulsa na prijemu:

$$k = \frac{T_o}{\sigma} = 2\bar{\mu} \cdot T_o \cdot \frac{B_s B_f}{\sqrt{B_s^2 + B_f^2}} \quad (7)$$

Usled dejstva struje šuma i_n dolazi do greške τ u određivanju trenutka početka regenerisanog impulsa. Ovo odstupanje se može izračunati kao:

$$\tau = \frac{i_n}{di/dt} \Big|_{t=-\sigma} \quad (8)$$

Trenutak $t = -\sigma$ je trenutak maksimalnog nagiba impulsa na prijemu.

Snaga signala srazmerna je kvadratu maksimalnog odstupanja impulsa od srednje vrednosti, a snaga šuma je srazmerna srednjekvadratnoj vrednosti intervala τ , pa je odnos signal-šum određen sa:

$$S = \frac{\delta^2 (\pi/2 - 2\sigma^2)^2}{\tau^2} \quad (9)$$

δ je odnos efektivne i maksimalne vrednosti kod TV signala.

Dominantne komponente struje šuma su termički i sačma šum, pa može da se piše:

$$i_n^2 = I_Q^2 + I_T^2 \quad (10)$$

gde je I_Q struja sačma šuma, a I_T struja termičkog šuma. Struja termičkog šuma je određena sa:

$$I_T^2 = \frac{4K_0 T}{R} F \cdot B \quad (11)$$

gde je K_0 Bolcmanova konstanta, T je apsolutna temperatura, F je faktor šuma pojačavača, R je ulazna otpornost predpojačavača, a B je ekvivalentni propusni opseg šuma i u ovom slučaju je $B = B_f$ zbog efektivne širine propusnog opsega prijemnog filtra.

Struja sačma šuma zavisi od amplitude signala. Amplituda signala u trenutku odlučivanja $t = -\sigma$ je:

$$i(-\sigma) = \frac{\eta^q}{\sqrt{2\pi} eh\nu} G \cdot k \cdot P_0, \quad (12)$$

pa je struja šuma data sa:

$$I_Q^2 = 2qi(-\sigma)BG^{2+x} = \sqrt{\frac{2}{e\mu}} \frac{k\eta q^2}{h\nu} \cdot G^{2+x} P_o \cdot B_f \quad (13)$$

gde je x faktor šuma lavinske fotodiode.

Na osnovu jednačine (9), uz pomoć (8), (10), (11), (13) i (6) može da se izvede izraz za odnos signal-šum u obliku:

$$S = \frac{\delta^2 (k/2-2)^2 k^2}{2e\mu} \frac{(\eta q / (h\nu) GP_o)^2}{\sqrt{\frac{2}{e\mu}} \frac{k\eta q^2}{h\nu} G^{2+x} P_o B_f + \frac{4k_o T}{R} FB_f} \quad (14)$$

Optimalna vrednost lavinskog pojačanja G_{opt} se dobija iz $\frac{dS}{dG} = 0$ i iznosi:

$$G_{opt} = \left[\sqrt{0,5e\mu} 4k_o T F h \nu / (kxq^2 \eta \cdot P_o R) \right]^{1/(2+x)} \quad (15)$$

Zamenom G_{opt} u jednačinu (9) dobija se maksimalan odnos signal-šum na ulazu u prijemnik za datu prijemnu optičku snagu. Takođe je moguće, znajući podatke za G_{opt} i minimalan odnos signal-šum, iz relacije (9) odrediti potrebnu optičku snagu na ulazu u prijemnik.

Numerička ispitivanja su pokazala da je maksimum funkcije $S(G)$ blag, tj. da varijacije parametra G u okolini G_{opt} ne menjaju bitno odnos signal-šum na prijemu.

3. NUMERIČKI REZULTATI I ZAKLJUČAK

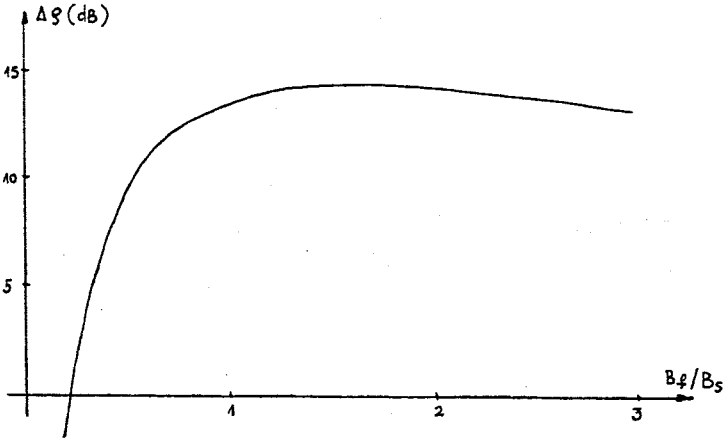
Na osnovu gornje analize prvo je izvršeno ispitivanje optimalne širine propusnog opsega prijemnog filtra. Pritom su korišćeni sledeći parametri sistema: $\eta = 0.75$, $h\nu = 3.117 \cdot 10^{-19} J$, $P_o = 0.1 \mu W$, $F=4$, $R=10k\Omega$, $T=300^\circ K$, $\delta = 0.8$, $x=0.4$, $B_g = 100 MHz$, $T_o = 83 ns$. Izvršeno je poredjenje sa rezultatima dobijenim za slučaj modulacije po intenzitetu prema formulama iz [1]. Dobijeni rezultati su prikazani na sl. 1. Sa slike se vidi da postoji optimalna vrednost širine propusnog opsega prijemnog filtra i da iznosi približno $1,5B_g$. Međutim, sobzirom da je taj maksimum vrlo blag, kriterijum za izbor prijemnog NF filtra nije oštar i ne utiče bitno na poboljšanje odnosa signal-šum, osim ako opseg

nije suviše uzan, kada φ naglo pada.

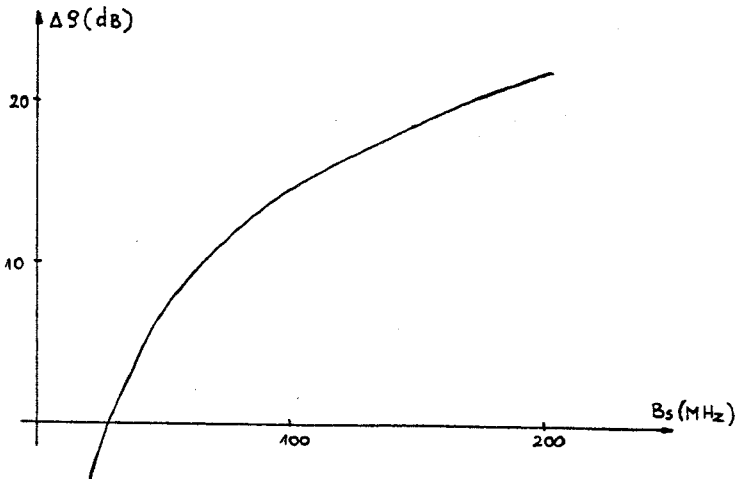
Na sl.2. prikazan je dobitak u odnosu signal-šum na prijemu koji može da se očekuje primenom PPM umesto modulacije po intenzitetu pri različitim širinama propusnog opsega svetlovoda i pri optimalnom izboru lavinskog pojačanja i prijemnog filtra. Vidi se da dobitak dolazi do izražaja tek pri većim vrednostima propusnog opsega (preko 30MHz) i da pri većim raspoloživim opsezima može da iznosi i preko 20dB. Dakle, PPM zahteva veću širinu propusnog opsega čitavog sistema, pa njene prednosti u odnosu na modulaciju po intenzitetu dolaze do punog izražaja kod svetlovoda velikog propusnog opsega.

LITERATURA

- [1] W.M. Hubbard, "Utilization of optical-frequency carriers for low and moderate bandwidth channels", BSTJ, pp731-765, May-June 1973
- [2] A. Moncalvo, R. Pietrousti, "Transmission systems using optical fibers", Telecom. J., pp84-92, Feb. 1982.
- [3] W. Heinlein, "Equivalent circuit and transfer function of the multimode glass fiber with random mode conversions", Siemens-Forsch.u.entwickl.-Ber.Bd.2, pp185-188, 1973.
- [4] D. Gloge, "Impulse Response of clad optical multimode fibers", Bell Syst. Tech. J., vol.52, pp 801-816, July-August 1973.



Sl. 1. Dobitak u odnosu signal-šum u zavisnosti od odnosa propusnih opsega filtra i svetlovoda



Sl. 2. Dobitak u odnosu signal-šum na prijemu primenom PPM umesto modulacije po intenzitetu za različite vrednosti širine propusnog opsega svetlovoda i za optimalan izbor lavinskog pojačanja i prijemnog filtra