

## Fotoimtuvo triukšmų svorinių koeficientų priklausomybės

J. Anilionienė, R. Bajorūnaitė (KTU)

Šiuo metu visame pasaulyje plačiai naudojamos diskretinės optinio ryšio sistemos. Jas sudaro siųstuvas, optinis kabelis ir fotoimtuvas (*FI*). Pagrindinis ryšio sistemos kokybės rodiklis yra jos atsparumas triukšmams, matuojamas klaidos tikimybe. Optinėse ryšio sistemose svarbiausi yra fotodetektoriaus (*FD*) triukšmai. Jei kaip *FD* naudojamas griūtinis fotodiodas, tai atsiranda papildomi triukšmai, sąlygojami griūtinio dauginimo proceso.

Triukšmų galia *FI* išėjime [1]

$$E[n_{ir}^2(t)] = \frac{h\nu}{\eta} \cdot F_e(b_0 \cdot In_1 + b_{\max} \cdot (\Sigma_1 - In_1)) + \left(\frac{h\nu}{\eta}\right)^2 \cdot F_e \cdot \lambda_0 \cdot T \cdot In_2 + \left(\frac{h\nu}{e \cdot \eta \cdot G}\right)^2 \cdot \left(FD_1 \cdot T \cdot In_2 + FD_2 \cdot \frac{In_3}{T}\right); \quad (1)$$

čia  $h\nu$  – fotono energija,  $\eta$  – *FD* kvantinis efektyvumas,  $F_e$  – griūtinis *FD* triukšmo faktorius,  $b_{\max}$  ir  $b_0$  – priimamų signalų reikšmės, perduodant impulsą arba ne,  $\lambda_0$  – tamsioji *FD* srovė,  $T$  – diskretizacijos periodas,  $G$  – *FD* stiprinimas,  $FD_1$  ir  $FD_2$  – *FI* parametrai,  $In_1$ ,  $In_2$ ,  $In_3$ ,  $\Sigma_1 - In_1$  – *FI* triukšmų dedamųjų svoriniai koeficientai.

Skaičiuojant diskretinės optinės ryšio sistemos klaidos tikimybę, reikia ištirti svorinių koeficientų, apibūdinančių fotoimtuvo (*FI*) triukšmų dedamąsias, priklausomybes nuo patenkančio šviesos impulsų ir išėjimo signalų formos.

Tegul,  $h_{iN}(t)$ ,  $h_{iS}(t)$  ir  $h_{FI}(t)$  yra skaitmeninio *FI* įėjimo signalo, išėjimo signalo ir *FI* perdavimo laiko funkcijos, o  $H_{iN}(f)$ ,  $H_{oS}(f)$  ir  $H_{FI}(f)$  – jas atitinkantys spektrai [2]. Kad šios funkcijos nepriklausytų nuo diskretizacijos periodo, normuosime jas atžvilgiu  $T$

$$\begin{aligned} h'_{iN}(t) &= T \cdot h_{iN}(t \cdot T) & H'_{iN}(f) &= F[h'_{iN}(t)] = H_{iN}(f/T), \\ h'_{iS}(t) &= h_{iS}(t \cdot T) & H'_{iS}(f) &= F[h'_{iS}(t)] = \frac{1}{T} \cdot H_{iS}(f/T), \\ h'_{FI}(t) &= h_{FI}(t \cdot T) & H'_{FI}(f) &= F[h'_{FI}(t)] = \frac{1}{T} \cdot H_{FI}(f/T) = H'_{iS}(f)/H'_{iN}(f); \end{aligned} \quad (2)$$

čia  $F$  – Furje transformacija.

Tada, (1) svoriniai koeficientai yra tokie:

a) Apibūdinantys netolydžius ir priklausančius nuo signalo fotodetektoriaus triukšmus

$$\begin{aligned}
 \Sigma_1 &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} h'_{iN}(t) * h'_{FI}(t) \Big|_{t=-k} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h'_{iN}(\tau - k) h'^2_{FI}(-\tau) d\tau \\
 &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-j2\pi f k} H'_{iN}(f) \times (H'_{FI}(f) * H'_{FI}(f)) df \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(f - k) \right] H'_{iN}(f) \times (H'_{FI}(f) * H'_{FI}(f)) df \quad (3) \\
 &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} H'_{iN}(k) \times (H'_{FI}(f) * H'_{FI}(f)) \Big|_{f=k} \\
 &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} H'_{iN}(k) \left( \frac{H'_{iS}(k)}{H'_{iN}(k)} \times \frac{H'_{iS}(k)}{H'_{iN}(k)} \right);
 \end{aligned}$$

čia  $k$  – diskretizacijų momentai,  $h'_{iN}(t)$  ir  $h'_{FI}$  – normuotos atžvilgiu diskretizacijos periodo įėjimo signalo ir  $FI$  perdavimo funkcija,  $*$  – superpozicija;  $\delta(t)$  – Dirako funkcija.

$$\begin{aligned}
 In_1 &= h'_{iN}(t) * h'^2_{FI}(t) \Big|_{t=0} = \int_{-\infty}^{\infty} h'_{iN}(\tau) \times h'^2_{FI}(-\tau) d\tau \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} H'_{iN}(f) \times (H'_{FI}(f) * H'_{FI}(f)) df \quad (4) \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} H'_{iN}(f) \times \left( \frac{H'_{iS}(f)}{H'_{iN}(f)} * \frac{H'_{iS}(f)}{H'_{iN}(f)} \right) df.
 \end{aligned}$$

Skirtumas  $\Sigma_1 - In_1$  nusako fotodiodo triukšmus dėl interferencijos tarp simbolių.

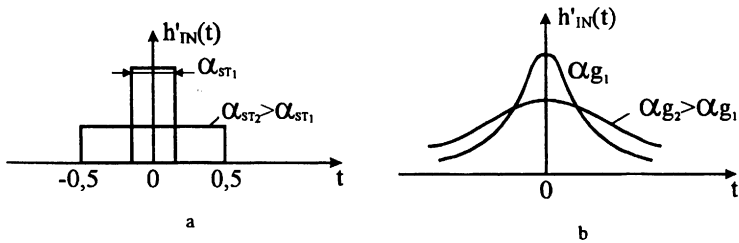
b) Apibūdinantys tolydžius fotoimtuvo šiluminius triukšmus

$$In_2 = \int_{-\infty}^{\infty} |H'_{FI}(f)|^2 df = \int_{-\infty}^{\infty} \left| \frac{H'_{iS}(f)}{H'_{iN}(f)} \right|^2 df, \quad (5)$$

$$In_3 = \int_{-\infty}^{\infty} f^2 |H'_{FI}(f)|^2 df = \int_{-\infty}^{\infty} f^2 \left| \frac{H'_{iS}(f)}{H'_{iN}(f)} \right|^2 df; \quad (6)$$

jei  $In_2$  priklauso tik nuo  $FI$  perdavimo charakteristikos, t.y. tik nuo įėjimo ir išėjimo impulsų formos, tai  $In_3$  priklauso nuo priimamojo modulio tiesinio kanalo dažninės charakteristikos.

Idealiu atveju į  $FI$  patenkantys šviesos impulsai yra stačiakampiai (1 pav., a), tačiau dėl fotoimtuvo inertiškumo, dispersijos šviesolaidyje ir pan. impulsai praplatėja, juos galima laikyti eksponentiniais (1 pav., b).



1 pav. Fotoimtuvo normuotų įėjimo impulsų sekos: a – stačiakampių, b – eksponentinių.

Staciakampių impulsų sekos laikinė ir dažninė funkcijos

$$h'_{iN}(t) = \begin{cases} \frac{1}{\alpha}, & \text{kai } |t| < \frac{\alpha}{2}, \\ 0, & \text{kt. atvejais;} \end{cases} \quad (7)$$

$$H'_{iN}(f) = \frac{\sin(\alpha\pi f)}{\alpha\pi f}; \quad (8)$$

čia  $\alpha$  – impulsų formos koeficientas ( $\alpha \leq 1$ ).

Gauso impulsų sekos

$$h'_{iN}(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\alpha}} \exp(-t^2/2\alpha^2), \quad (9)$$

$$H'_{iN}(f) = \exp(-2(\pi f\alpha)^2). \quad (10)$$

Norint įvertinti svorinius koeficientus, reikia žinoti  $FI$  tiesinio kanalo išėjimo impulsų formą.

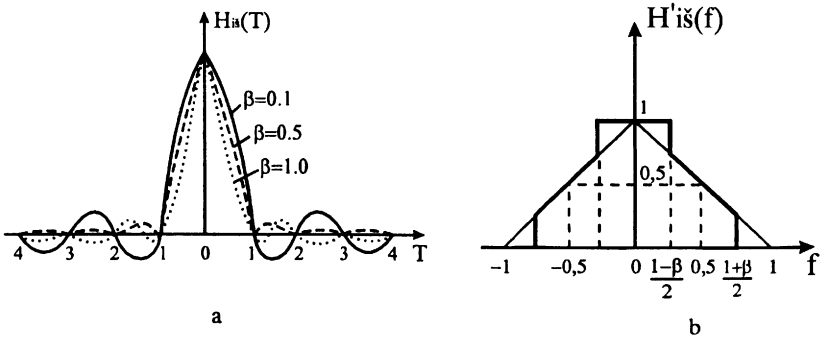
Išėjimo impulsai, leidžiantys sumažinti šiluminius triukšmus ir interferenciją tarp simbolių, aprašomi funkcija (2 pav., a)

$$h'_{iS}(t) = \frac{\sin(\pi t)}{\pi t} \left( (1 - \beta) \cos(\beta\pi t) + \frac{\sin(\beta\pi t)}{\pi t} \right); \quad (11)$$

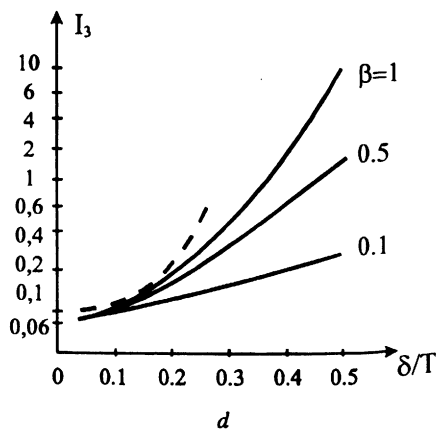
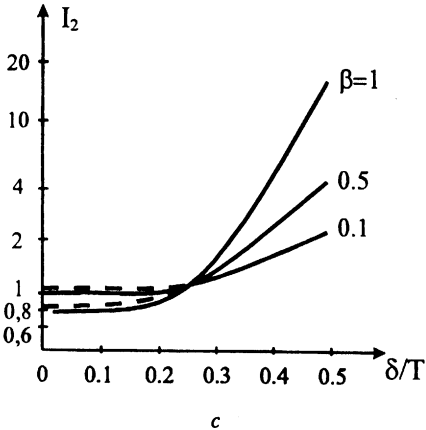
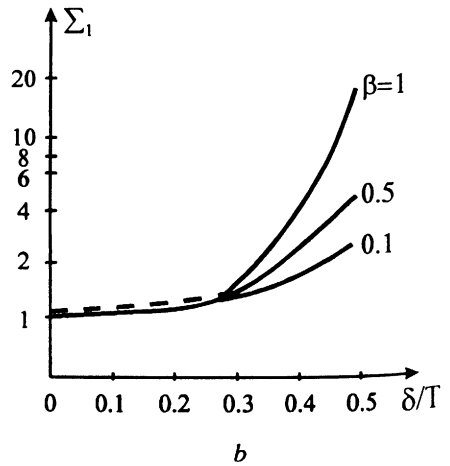
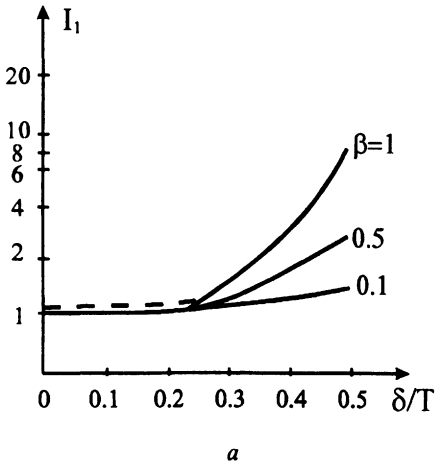
čia  $\beta$  – impulsų formos koeficientas ( $0 \leq \beta \leq 1$ ).

Išėjimo impulsų spektras (2 pav., b)

$$H'_{iS}(f) = \begin{cases} 1, & \text{kai } |f| < (1 - \beta)/2, \\ 1 - |f|, & \text{kai } (1 - \beta)/2 \leq |f| < (1 + \beta)/2, \\ 0, & \text{kt. atvejais.} \end{cases} \quad (12)$$



2 pav. Išėjimo impulsų seka: a – laikinė charakteristika, b – spektras



3 pav. Svoriniai koeficientai, kai įėjimo impulsai stačiakampiai (- - -) arba Gauso (-).

3 pav. pateikti svorinių koeficientų skaičiavimo rezultatai (naudojant greitos Furje transformacijos algoritmą). Parametras  $\delta/T$  – tai normuotas optinio impulso plotis

$$\left(\frac{\delta}{T}\right)^2 = \int_{-\infty}^{\infty} t^2 h'_{iN}(t) dt - \left(\int_{-\infty}^{\infty} t h'_{iN}(t) dt\right)^2; \quad (13)$$

stačiakampiems impulsams  $\alpha = \sqrt{12}\delta/T$ , o Gauso –  $\alpha = \delta/T$ .

## LITERATŪRA

- [1] Lighthwave Communications Technology. Photodetector. / Vol. Editor W. T. Tsong. – AT&T Bell Laboratories, New Jersey, 1995.
- [2] J. Anilionienė, R. Bajorūnaitė, Skaitmeninio imtuvo tikimybinės charakteristikos. – Matematika ir matematinis modeliavimas. Konferencijos pranešimo medžiaga. K., Technologija, 1996, 32–34 p.

### Dependences of the noise weight coefficients of digital photo receiver

*J. Anilionienė, R. Bajorūnaitė*

The analytical expressions of the noise weight coefficients of digital photo receiver and calculating results are obtained.