

AVIASIYA ELEKTRONİKASI

UOT: 621.391.272

DOI: 10.34826/NAA.2021.23.3.002

RADİOLOKASIYA SİQNALININ OPTİMAL QƏBULU ÜÇÜN OPTOELEKTRON QURĞU**Əhmədov R.Ə.**

Milli Aviasiya Akademiyası

Məqalədə göstərilib ki, əsas radiolokasiya məsələlərinin həlli kontekstində zondlayıcı signalın növünün və parametrlərinin düzgün seçilməsi yüksək praktiki əhəmiyyət kəsb edir. Geniş tətbiq olunan zondlayıcı siqnallardan birinin radioimpuls dəstəsi olduğu əsaslandırılıb. İxtiyari sayda düzbucaqlı radioimpulsdan ibarət dəstə və onun avtokorrelyasiya funksiyası üçün düsturlar qoşulma funksiyasının tətbiqi ilə işlənib. Bu düsturlar əsasında radioimpuls dəstəsinin optimal qəbulunu reallaşdıracaq qurğuya qoyulan tələblər formalaşdırılıb. Həmin tələblər kontekstində heterodin tipli akustooptik ləngitmə xəttinin xüsusiyyətləri araşdırılıb və onun əsasında ixtiyari sayda eyni düzbucaqlı radioimpulslardan ibarət dəstə formalı signal üçün optimal qəbul qurğusunun sintezinin mümkünlüyü sübut edilib. Üç ədəd radioimpulsdan ibarət dəstə üçün optoelektron optimal qəbul qurğusunun sxemi tərtib edilib və onun iş prinsipi təhlil edilib. Mövcud giriş təsiri üçün qurğunun çıxış reaksiyası tərtib edilib, riyazi model əsasında hesablanıb və müvafiq qrafiki təsvir qurulub. Hesabatın nəticələrinin analizi yolu ilə göstərilib ki, optoelektron optimal qəbul qurğusunun çıxış reaksiyası onun giriş təsirinin avtokorrelyasiya funksiyasının zamanca ləngimiş kopyasıdır.

***Açar sözlər:** qoşulma funksiyası, radioimpuls, riyazi model, optoelektron qurğu, optimal qəbul, avtokorrelyasiya funksiyası.*

Giriş. Radiolokatorlardan çox uzaqda yerləşən hədəf sürətlə hərəkət edərsə, zəif signalın signal-küy toplusundan ayrılmasının təmin edilməsi problemi yaranır. Qəbul edilən signalın parametr və xarakteristikalarının ölçülmə dəqiqliyi təkcə əks olunan signalın enerjisindən deyil, həm də şüalandırılan signalın formasından asılıdır. Ona görə də, bu sahədə intensiv tədqiqatlar iki istiqamətdə aparılır. Bunlardan birincisi zondlayıcı signalın növünün və parametrlərinin həlli tələb olunan məsələ kontekstində optimallaşdırılması, ikincisi isə əks olunan signalın effektiv qəbulunu təmin edən optimal qurğunun sintezidir. Məqalədə ikinci istiqamətə aid məsələ, yəni optimal qəbul qurğusunun sintezi məsələsi müzakirə olunur.

Radiolokasiya hədəfi haqqında məlumat daşıyan zəif signalın signal-küy toplusundan ayrılmasının təmin edilməsi üçün optimal qurğulardan istifadə edilir. Optimal xətti süzgəc bu məqsəd üçün istifadə edilən qurğulardan biridir. Məlum parametrlili giriş təsiri ilə uyğunlaşdırılaraq zamanın müəyyən bir anında, çıxışda signal-küy nisbətinin maksimal qiymətini təmin edən xətti stasionar sistem, optimal xətti süzgəc adlandırılır [1]. Radiolokasiya stansiyasının həm təsir məsafəsini, həm də ayırdetmə qabiliyyətini eyni zamanda artırmaq üçün radioimpuls dəstəsindən istifadə olunur [2]. Lakin bu zaman dəstədə olan impulsların sayına qoyulan məhdudiyyət qurğunun mürəkkəbliyinin artması ilə bağlıdır.

Məqalənin müzakirə mövzusu optimal xətti süzgəcin sintezi üçün akustooptik qarşılıqlı təsirin və optik heterodinləmənin xassələrindən istifadə imkanlarının tədqiqidir.

Radioimpuls dəstəsinin optimal qəbulu. Təkrarlanma periodu T , davamətmə müddəti τ_i olan N ədəd eyni radioimpulsdan ibarət olan dəstəyə görə uyğunlaşdırılmış optimal xətti süzgəcin signal-küy toplusunu işləməsi aşağıdakı misal əsasında izah edilə bilər. Çıxış signalının maksimal ani qiymətinin alınması üçün optimal xətti süzgəc giriş signalını tam olaraq işləməlidir. Məhz bu fiziki reallaşdırma şərtinə əsasən, optimal xətti süzgəcin çıxışında signalın maksimal ani

qiyməti $(N - 1)T + \tau_i$ zaman anında yarana bilər. Sözügedən şərtlərə və [3] - də verilən tövsiyələrə müvafiq olaraq, optimal xətti süzgəcin çıxış reaksiyasının riyazi modeli aşağıdakı kimi yazılır:

$$u_{çix}(t) = k \cdot B[\tau - (N - 1) \cdot T + \tau_i], \quad (1)$$

burada k – vahidi $1/V \cdot san$ olan sabit vuruq, $B(\tau)$ – giriş siqnalının $u_{gir}(t)$ avtokorrelyasiya funksiyasıdır və aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$B(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} u_{gir}(t) \cdot u_{gir}(t - \tau) dt. \quad (2)$$

Sonuncu ifadədəki integral tədqiq olunan siqnalın müəyyən bir vaxt ərzində lokallaşdırılmasına əsasən hər zaman mövcuddur. Bununla da, optimal xətti süzgəcin çıxış reaksiyasının (1) sabit vuruğa kimi dəqiqliklə giriş təsirinin avtokorrelyasiya funksiyasının (2) kopyası olduğu aydın görünür.

Qoşulma funksiyasının $\sigma(t)$ xüsusiyyətlərinə əsasən, optimal xətti süzgəcin N ədəd eyni düzbucaqlı radioimpulsdan ibarət olan giriş təsirinin riyazi modeli aşağıdakı kimi tərtib edilir:

$$u_{gir}(t) = U_0 \cdot \cos(\omega_0 t) \cdot \sum_{n=1}^N \{\sigma[t - (n - 1)T - t_0] - \sigma[t - (n - 1)T - \tau_i - t_0]\}, \quad (3)$$

burada U_0 və ω_0 – uyğun olaraq radioimpulsun amplitud və tezliyini, t_0 – dəstənin tərkibində olan birinci impulsun başlanğıc anını, n – radioimpulsun sıra nömrəsini göstərir.

(3) ifadəsini (2) -də yerinə qoyaraq tapırıq:

$$B(\tau) = \cos(\omega_0 t) \cdot \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N \int_{T(n-1)+|\tau[t+(N-n-m+1)T-t_0+t_i]|}^{T(n-1)+\tau_i} U_0^2 dt \{ \sigma[t + (N - n - m + 1)T - t_0 + \tau_i] - \sigma[t + (N - n - m + 1)T - t_0 + \tau_i] \}. \quad (4)$$

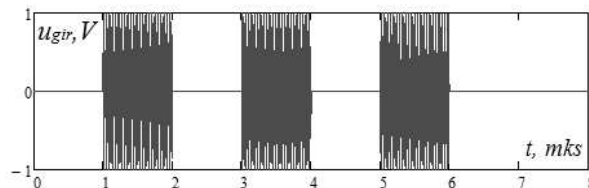
(4) ifadəsini (1)-də yerinə qoyaraq optimal xətti süzgəcin (3) giriş təsirinə uyğun çıxış reaksiyasını hesablamaq üçün aşağıdakı tənliyi alırıq:

$$u_{çix}(t) = k \cdot \cos(\omega_0 t) \cdot \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N \int_{T(n-1)+|\tau[t-(n+m-2)T-t_0]|}^{T(n-1)+\tau_i} U_0^2 dt \cdot \{ \sigma[t - (n + m - 2)T - t_0] - \sigma[t - (n + m - 2)T - 2\tau_i - t_0] \}. \quad (5)$$

N ədəd eyni düzbucaqlı radioimpulsdan ibarət siqnal üçün tərtib olunmuş (3), (4) və (5) ifadələrinin praktiki dəyərini Mathcad sistemində yoxlamaq mümkündür.

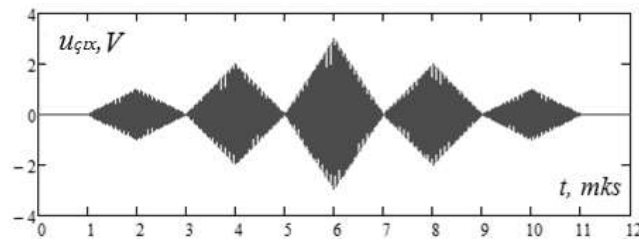
Qəbul edək ki, dəstədəki radioimpulsların sayı $N = 3$, daşıyıcı tezlik $\omega_0 = 50 \cdot 10^6 \text{ san}^{-1}$, bir radioimpulsun davamətmə müddəti $\tau_i = 1 \text{ mks}$, dəstədəki radioimpulsların təkrarlanma periodu $T = 2 \text{ mks}$, birinci radioimpulsun başlanğıc anı $t_0 = 1 \text{ mks}$, impulsun amplitudu $U_0 = 1 \text{ V}$ və sabit vuruq $k = 1$ kimi seçilib.

(3) və (5) ifadələri əsasında Mathcad mühitində aparılmış hesabatların nəticələrinə əsasən qurulmuş qrafiklər şəkil 1 və şəkil 2-də göstərilib.



Şəkil 1. Üç ədəd radioimpulsdan ibarət olan optimal xətti süzgəcin giriş təsiri

Hər iki qrafikin analizindən aydın olur ki, optimal xətti süzgəcin çıxış reaksiyası maksimum qiymətini $t = 6 \text{ mks}$, yəni $t = (N - 1)T + \tau_i + t_0$ zaman anında alır. İkinci qrafikdən göründüyü kimi bu zaman anında əsas ləçəyin amplitudu maksimaldır və 3 V təşkil edir.



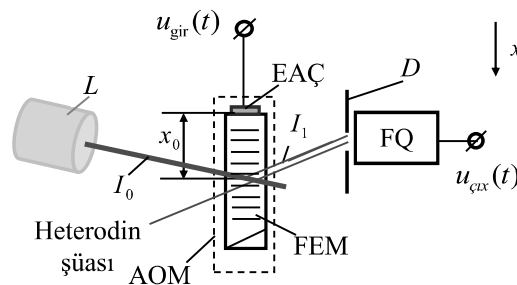
Şəkil 2. Məlum parametrlərə malik üç radioimpulsdan ibarət giriş təsirindən optimal xətti süzgəcin çıxışında formalaşan siqnalın qrafiki

Düzbucaqlı radioimpuls dəstəsi üçün optimal xətti süzgəcin sintezi məsələsi [4] -də araşdırılmış və Matlab/Simulink proqram paketində dörd ədəd radioimpuls üçün optimal xətti süzgəc modelləşdirilib. Müvafiq olaraq əldə olunan nəticələr əsasında göstərilib ki, optimal xətti süzgəcin əsas tərkib hissəsi çoxçıxışlı ləngitmə xəttidir. Qarşıya qoyulmuş məsələnin həlli kontekstində əldə edilmiş nəticələrin analizi və mövcud ədəbiyyatın icmalına əsasən akustooptik effektin və optik heterodinləmənin yüksək potensiala malik olduğu müəyyən edilib [5,6].

Radiosignal üçün akustooptik ləngitmə xətti. Şəkil 3-də göstərilən qurğuda radiotezlikli giriş siqnalı $u_{gir}(t)$ elektroakustik çevirici (EAÇ) vasitəsilə fotoelastik mühitdə (FEM) v sürəti ilə yayılan akustik dalğaya çevrilir. FEM və EAÇ birlikdə akustooptik modulyatoru (AOM) təşkil edirlər [7].

Şəkil 3-də təsvir edilmiş akustooptik ləngitmə xətti (AOLX) üçün Breqq difraksiyasından istifadə edilib. Bu zaman optik dalğa mənbəyi lazerdən (L) işıq şüası AOM-un aperturuna Breqq bucağı θ_B altında düşür və akustooptik qarşılıqlı təsir nəticəsində AOM-un arxa fokal müstəvisində difraksiya tərtibi formalaşır. Breqq bucağı $\theta_B = \arcsin(\frac{0,5\lambda}{\Lambda})$ ifadəsi əsasında təyin edilir, burada λ və Λ müvafiq olaraq işıq və elastik dalğanın uzunluqlarıdır. AOM-da bir çox halda istifadə edilən akustooptik qarşılıqlı təsir zəif xarakterli olur. Bu səbəbdən, sonuncu şəkildə təsvir edilmiş qurğuya xətti stasionar sistem kimi baxmaq mümkündür.

Radiosignalın işlənməsini həyata keçirmək üçün AOLX-da optik heterodinləmənin xüsusiyyətlərindən istifadə edilir. Şəkil 3-də təsvir edilmiş radiosignal üçün AOLX-da diafraqma dəliyindən (D) keçən difraksiya olunmuş işıq və heterodin şüası birlikdə fotoqəbuledicinin (FQ) işığa həssas olan səthinə düşür.



Şəkil 3. Radiosignal üçün akustooptik ləngitmə xəttinin sxemi

Radiosignal üçün akustooptik ləngitmə xəttinin çıxışında radiotezlikli siqnalın formalaşma mexanizmi aşağıdakı kimidir.

FQ-nin səthinə istiqamətlənən heterodin şüası aşağıdakı tənliklə ifadə edilir:

$$\dot{E}_h(t) = \exp[j(\omega_i t + \theta_h)], \quad (6)$$

burada ω_i - optik dalğanın tezliyi, $\theta_h = \omega_i \cdot (x_0/v)$ - EAÇ-dan x_0 məsafədə AOM-un səthinə düşən heterodin selinin başlanğıc fazasıdır.

Qurğunun girişinə verilən radiosignal $u_{gir}(t) = \exp(j\omega_0 t)$ EAÇ vasitəsi ilə tezliyi ω_0 olan ultrasəs dalğalarına çevrilir. Bu dalğaların yayılması prosesində FEM - də qaçan difraksiya qəfəsi yaranır. Qaçan difraksiya qəfəsinin optik dalğa ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində yaranan difraksiya tərtiblərindəki optik dalğanın tezliyi Dopler effekti nəticəsində akustik dalğanın tezliyinin misilləri qədər dəyişir. Difraksiya olunmuş optik şüanın bu hissəsi signal sahəsi olaraq FQ-nin səthinə istiqamətlənir və uyğun olaraq, aşağıdakı bərabərliklə ifadə edilir:

$$\dot{E}_s(t) = \exp[j(\omega_i - \omega_0)t] \quad (7)$$

Müvafiq olaraq fotodetektor heterodin və signal sahələrinin ümumi intensivliyinə cavab verir. Buna əsasən, fotodetektorun çıxış reaksiyası üçün aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$u(t) = \frac{1}{d} \int_{x-0,5d}^{x+0,5d} |\dot{E}_s + \dot{E}_h|^2 dx = \frac{1}{d} \int_{x-0,5d}^{x+0,5d} [|\dot{E}_s|^2 + |\dot{E}_h|^2] dx + \\ + \frac{1}{d} \int_{x-0,5d}^{x+0,5d} [\dot{E}_s \cdot \dot{E}_h^* + \dot{E}_s^* \cdot \dot{E}_h] dx. \quad (8)$$

FQ-nin çıxışında ω_0 tezliyinə malik olan təşkeledici süzgəclənərək ayrılır. (6) və (7)-ni (8)-də yerinə qoyaraq FQ-nin çıxışında formalaşan signal üçün növbəti ifadəni alırıq:

$$u_{cix}(t) = c \cdot \text{sinc} \left[\frac{\pi d}{\lambda} \sin(\Delta\theta) \right] \cdot \cos[\omega_0(t - x_0/v)]. \quad (9)$$

Sonuncu bərabərlik eyni zamanda aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$u_{cix}(t) = c \cdot \text{sinc} \left[\frac{\pi d}{\lambda} \sin(\Delta\theta) \right] \cdot u_{gir}(t - \frac{x_0}{v}), \quad (10)$$

burada c – sabit vuruq, $\Delta\theta$ isə signal ilə heterodin şüası arasındakı bucaqdır. Əgər $\Delta\theta = 0$ olduğunu qəbul etsək çıxış signalı üçün yekun ifadəni aşağıdakı kimi yazmaq olar

$$u_{cix}(t) = c \cdot u_{gir}(t - \frac{x_0}{v}). \quad (11)$$

Yekun bərabərlikdən aydın olur ki, şəkil 3-də verilən qurğunun çıxışındakı signal giriş signalının x_0/v qədər gecikdirilmiş formasını təkrarlayır. Riyazi ifadələrdən aydın olur ki, şəkil 3-də verilmiş qurğunun çıxışındakı gərginliyi dəqiqliklə hesablamaq olar. Bunun üçün çıxış gərginliyinin yaranma mexanizminin riyazi modeli tərtib edilir. Bu məqsədlə AOLX-un keçid xarakteristikası və çıxışında formalaşan gərginlik üçün [8] -də əldə edilmiş riyazi ifadələrdən istifadə etmək olar.

AOLX-un keçid xarakteristikasının riyazi ifadəsi:

$$g(t) = 2,5465 \cdot (d/v)^{-2} \cdot \int_{\tau}^t \sqrt{(d/v) \cdot (\xi - \tau) - (\xi - \tau)^2} \cdot d\xi, \quad \tau \leq t \leq \tau + d/v, \quad (12)$$

burada d - işıq selinin en kəsiyinin diametridir.

(12) -yə əsasən giriş təsiri davamətmə müddəti τ_i , tezliyi ω_0 olan radioimpulsa AOLX-un çıxış reaksiyasını tapırıq:

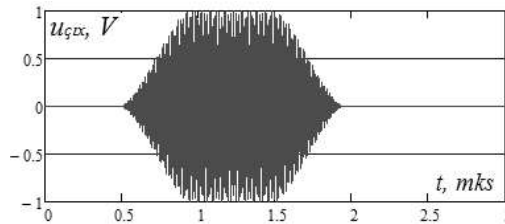
$$u_{cix}(t) = c \cdot \{g(t)[\sigma(t - \tau) - \sigma(t - \tau - d/v)] + [\sigma(t - \tau - d/v) - \sigma(t - \tau - \tau_i)] + \\ + [1 - g(t - \tau_i)][\sigma(t - \tau - \tau_i) - \sigma(t - \tau - \tau_i - d/v)]\} \cdot \cos[\omega_0(t - \tau)], \quad (13)$$

Qəbul edək ki, radiosignal üçün AOLX - nın parametrləri $v = 3630 \text{ m/s}$; $d = 1,6 \text{ mm}$; $\tau = 0,5 \text{ mks}$; $c = 1$ kimidir. Bu qurğunun girişinə davamətmə müddəti $\tau_i = 1 \text{ mks}$, daşıyıcı tezliyi $\omega_0 = 50 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}$ olan düzbucaqlı radioimpuls verildiyi hala baxaq. Radiosignal üçün AOLX-un çıxış reaksiyası (13) tənliyi ilə Mathcad proqram mühitində hesablanır.

Mathcad sistemində aparılan hesabatin nəticəsi şəkil 4-də verilən qrafiklə təsvir edilmişdir. Qrafikdə göstərilən impulsun davamətmə müddəti girişə verilən impulsun davamətmə müddətinə bərabərdir, yəni 1 mks (0,5 səviyyəsinə görə təyin edilir) təşkil edir. Buna baxmayaraq, çıxışda

yaranan impuls düzbucaqlı formaya malik deyil. Ona görə ki, çıxışdakı impulsun ön və arxa cəbhəsi akustik dalğa paketinin işıq selinə daxil olub çıxması ilə müəyyən bir vaxt ərzində yaranır. Bu impulsun ön və arxa cəbhəsinin formalaşdığı müddət d/v nisbəti ilə müəyyən edilir. Optik şüanın diametrinin d qiyməti azaldıqca AOLX-un düzbucaqlı impuls formasına malik giriş təsirinə uyğun çıxışda verdiyi reaksiya da düzbucaqlı formaya yaxınlaşır.

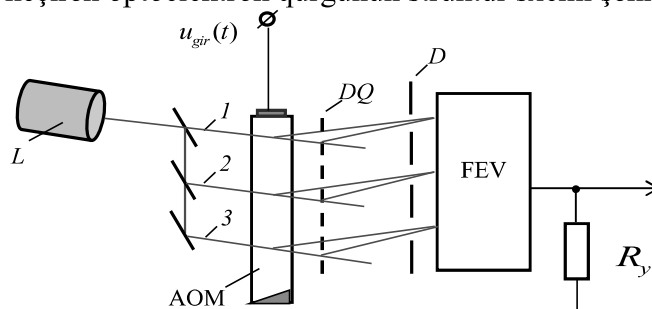
Səkil 4-də verilən qrafiki təsvir və hesabat üçün istifadə olunan riyazi ifadələrin birgə analizindən görünür ki, EAÇ-la işıq şüasının x_0 AOM-un aperturuna düşən nöqtə arasındakı məsafəni dəyişdirməklə AOLX-un çıxış reaksiyası üçün geniş diapazonda ləngimə müddətini səliss tənzimləmək mümkündür.



Şəkil 4. Giriş təsiri davametmə müddəti $\tau_i = 1 \text{ mks}$ düzbucaqlı radioimpuls olan $v = 3630 \text{ m/s}$; $d = 1,6 \text{ mm}$; $\tau = 0,5 \text{ mks}$; $c = 1$ parametrlərinə malik AOLX-un Mathcad proqramında hesablanmış çıxış reaksiyası

Tərkibində üç radioimpuls olan signalın optimal qəbulu üçün optoelektron qurğu.

Yuxarıdakı hesabatların nəticəsindən və AOLX-un işləmə prinsipindən aydın olur ki, mövcud metodla radioimpuls dəstəsinin optimal qəbulunu həyata keçirmək olar. Sözügedən proses üçün optik şüanı yarımsəffaf və qeyri-şəffaf güzgülərin köməyi ilə dəstədəki radioimpulsun sayına bərabər olaraq, işıq dəstələrinə bölüb, AOM-un səthinə Breqq bucağı altında kollinear yönləndirmək lazımdır (şəkil 5). Radiosignalın optimal qəbulu üçün akustooptik qurğuda AOM-un arxa fokal müstəvisində difraksiya qəfəsi (DQ) quraşdırılır. Bu zaman, sıfır tərtibli işıq şüaları difraksiya qəfəsində əylirək heterodin sahələri əmələ gətirirlər. Diafraqma dəliklərindən (D) keçən bu işıq şüaları FQ kimi istifadə olunan fotoelektron vurucunun (FEV) səthinə düşür və signal dəstələri ilə qarşılıqlı təsirdə olurlar. Üç ədəd eyni düzbucaqlı radioimpulsdan ibarət dəstənin optimal qəbulunu həyata keçirən optoelektron qurğunun struktur sxemi şəkil 5-də göstərilir.



Şəkil 5. Tərkibində üç ədəd radioimpuls olan signalın optimal qəbulu üçün optoelektron qurğunun struktur sxemi

Burada EAÇ-dan birinci şüaya qədər və hər bir şüa arasındakı məsafənin eyni olduğunu nəzərə alaraq, hər birinin zaman üzrə τ qədər gecikmə verdiyini qəbul edək. Deyilənə uyğun olaraq, AOLX-un keçid xarakteristikası üçün (12) bərabərliyini hər bir işıq dəstəsinə görə ayrı-ayrılıqda aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$g_1(t) = 2,5465 \cdot (d/v)^{-2} \cdot \int_{\tau}^t \sqrt{(d/v) \cdot (\xi - \tau) - (\xi - \tau)^2} d\xi, \quad \tau \leq t \leq \tau + d/v; \quad (14)$$

$$g_2(t) = 2,5465 \cdot (d/v)^{-2} \cdot \int_{2\tau}^t \sqrt{(d/v) \cdot (\xi - 2\tau) - (\xi - 2\tau)^2} d\xi, \quad 2\tau \leq t \leq 2\tau + d/v; \quad (15)$$

$$g_3(t) = 2,5465 \cdot (d/v)^{-2} \cdot \int_{3\tau}^t \sqrt{(d/v) \cdot (\xi - 3\tau) - (\xi - 3\tau)^2 d/v} d\xi, \quad 3\tau \leq t \leq 3\tau + d/v. \quad (16)$$

(14)-(16) bərabərliklərinin müqayisəli analizindən aydın olur ki, hər bir riyazi ifadə eyni olub zaman oxu üzrə τ qədər sürüşmə verirlər.

Şəkil 5 - də göstərilən akustooptik qurğuda formalaşdırılmış işıq dəstələrinin ayrı-ayrılıqda radioimpuls dəstəsindəki birinci impuls (şəkil 1) qarşılıqlı təsiri nəticəsində yük müqavimətində yaranan gərginliklər $u_{\text{çix.11}}(t)$, $u_{\text{çix.12}}(t)$, $u_{\text{çix.13}}(t)$ aşağıdakı tənliklər vasitəsilə hesablanır:

$$u_{\text{çix.11}}(t) = c \cdot \{g_1(t)[\sigma(t - \tau) - \sigma(t - \tau - d/v)] + [\sigma(t - \tau - d/v) - \sigma(t - \tau - \tau_i)] + [1 - g_1(t - \tau_i)][\sigma(t - \tau - \tau_i) - \sigma(t - \tau - \tau_i - d/v)]\} \cdot \cos[\omega_0(t - \tau)], \quad (17)$$

$$u_{\text{çix.12}}(t) = c \cdot \{g_2(t)[\sigma(t - 2\tau) - \sigma(t - 2\tau - d/v)] + [\sigma(t - 2\tau - d/v) - \sigma(t - 2\tau - \tau_i)] + [1 - g_2(t - \tau_i)][\sigma(t - 2\tau - \tau_i) - \sigma(t - 2\tau - \tau_i - d/v)]\} \cdot \cos[\omega_0(t - \tau)], \quad (18)$$

$$u_{\text{çix.13}}(t) = c \cdot \{g_3(t)[\sigma(t - 3\tau) - \sigma(t - 3\tau - d/v)] + [\sigma(t - 3\tau - d/v) - \sigma(t - 3\tau - \tau_i)] + [1 - g_3(t - \tau_i)][\sigma(t - 3\tau - \tau_i) - \sigma(t - 3\tau - \tau_i - d/v)]\} \cdot \cos[\omega_0(t - \tau)]. \quad (19)$$

Əvvəldə də qeyd olunduğu kimi, dəstədəki birinci impuls müqayisədə, ikinci və üçüncü impulsların mövcud işıq dəstələri ilə qarşılıqlı təsiri yalnız müvafiq zaman gecikməsinin uyğun misilləri ilə fərqlənir. Bütün bunları nəzərə alaraq, ikinci və üçüncü radioimpulsların hər bir işıq dəstəsi ilə ayrılıqda qarşılıqlı təsirinin yük müqavimətində yaratdığı gərginlikləri hesablamaq üçün aşağıdakı riyazi ifadələri tərtib etmək olar:

$$u_{\text{çix.21}}(t) = u_{\text{çix.11}}(t - \tau); u_{\text{çix.22}}(t) = u_{\text{çix.12}}(t - \tau); u_{\text{çix.23}}(t) = u_{\text{çix.13}}(t - \tau). \quad (20)$$

$$u_{\text{çix.31}}(t) = u_{\text{çix.11}}(t - 2\tau); u_{\text{çix.32}}(t) = u_{\text{çix.12}}(t - 2\tau); u_{\text{çix.33}}(t) = u_{\text{çix.13}}(t - 2\tau). \quad (21)$$

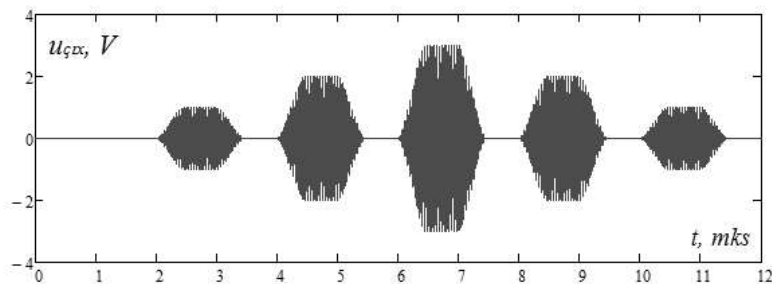
Dəstədəki hər üç impulsun uyğun sayda işıq dəstələri ilə (şəkil 5) qarşılıqlı təsirindən yük müqavimətində yaranan ümumi gərginliyin təyin edilməsi üçün növbəti bərabərliyi tərtib edirik:

$$u_{\text{çix}}(t) = u_{\text{çix.11}}(t) + u_{\text{çix.12}}(t) + u_{\text{çix.13}}(t) + u_{\text{çix.21}}(t) + u_{\text{çix.22}}(t) + u_{\text{çix.23}}(t) + u_{\text{çix.31}}(t) + u_{\text{çix.32}}(t) + u_{\text{çix.33}}(t) \quad (22)$$

Sxemi şəkil 5-də verilən və parametrləri $v = 3630 \frac{m}{s}$; $d = 1,6 \text{ mm}$; $\tau = 2 \text{ mks}$; $c = 1$ kimi olan optoelektron optimal qəbul qurğusunun çıxış reaksiyası (17) – (22) bərabərliklərinə əsasən Mathcad sistemində hesablanır. Bunun üçün hər bir radioimpulsun davam etmə müddəti $\tau_i = 1 \text{ mks}$, daşıyıcı tezliyi $\omega_0 = 50 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}$ seçilir. Eyni zamanda qəbul edilib ki, dəstədə üç radioimpuls var.

Hesabatın nəticəsinin qrafiki təsviri şəkil 6 -da göstərilib.

Şəkil 6 və şəkil 2 -də verilən qrafiklərin müqayisəli analizi göstərir ki, sxemi şəkil 5-də verilən optoelektron qurğu, düzbucaqlı radioimpuls dəstəsinin optimal qəbulunu reallaşdırır.



Şəkil 6. Parametrləri $v = 3630 \text{ m/s}$; $d = 1,6 \text{ mm}$; $\tau = 2 \text{ mks}$; $c = 1$ kimi verilən optoelektron optimal qəbuledicinin hər birinin davam etmə müddəti $\tau_i = 1 \text{ mks}$, daşıyıcı tezliyi $\omega_0 = 50 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}$ olan üç ədəd düzbucaqlı radioimpulsa verdiyi çıxış reaksiyasının Mathcad mühitində reallaşdırılmış qrafiki

Nəticə

Optoelektron optimal qəbul qurğusu genişzolaqlı sistem olduğuna görə, onun sintezi məsələsi özlüyündə yüksək elmi-texniki əhəmiyyətə malikdir. Akustooptik modulyatorun buraxma zolağı onun mərkəzi tezliyinin 40-60 faizini təşkil edir. Ona görə də, optoelektron optimal qəbul qurğusunu asanlıqla müxtəlif daşıyıcı tezliyə malik olan radioimpulsların qəbulu üçün istifadə etmək mümkündür. Məqalədə təqdim edilən üç ədəd radioimpulsdan ibarət dəstə formalı signal üçün optoelektron optimal qəbul qurğusunun sintez üsulu, tərkibində istənilən sayda radioimpuls olan dəstənin optimal qəbulu üçün universal metod kimi tətbiq edilə bilər.

Ədəbiyyat

1. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 1988, 448 с.
2. <http://www.cplire.ru/joined/win/lection7/1.html>
3. Макаров А.М., Ермаков А.С. Оптимальный согласованный фильтр для обнаружения сигнала на фоне шума с неизвестной корреляционной функцией. Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. №11(172). С.42-54.
4. Həsənov R.A., Əhmədov R.Ə. Radioimpuls dəstəsinin razılaşdırılmış süzgəcləməsi.. «Aviakosmik məsələlərin həllində gənclərin yaradıcı potensialı» VI Beynəlxalq Elmi-Praktiki Gənclər Konfransının materialları. MAA, Bakı, 2-4 fevral 2021-ci il, səh. 119-121.
5. Machikhin A., Batshev V., Pozhar V., Naumov A. Single-volume dual-channel acousto-optical tunable filter. Opt. Express 2020, 28, 1150–1157.
6. Benkler E. et al., “Characterization of ultrashort optical pulse properties by amplitude-modulation-balanced heterodyne gating”, Opt. Lett. 30 (15), 2016 (2005), doi:10.1364/OL.30.002016
7. Гасанов А.Р., Гасанов Р.А. Акустооптические линии задержки низкочастотных и высокочастотных электрических сигналов // Специальная техника, 2013, №1, с.11÷21.
8. Ахмедов Р.А., Гасанов А.Р., Гасанов Р.А., Гусейнов А.Г. Переходная характеристика акустооптической линии задержки и ее применения // Физические основы приборостроения, 2020, том 9, № 1(35), с. 71–78 (DOI: 10.25210/jfop-2001-071078)

References

1. Baskakov S.I. Radiotekhnicheskie cepi i signaly. M.: Visshaya shkola, 1988, 448 s.
2. <http://www.cplire.ru/joined/win/lection7/1.html>
3. Makarov A.M., Ermakov A.S. Optimal'nyj soglasovannyj fil'tr dlya obnaruzheniya signala na fone shuma s neizvestnoj korrelyacionnoj funkciej. Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki. 2015. №11(172). S.42-54.
4. Həsənov R.A., Əhmədov R.Ə. Radioimpuls dəstəsinin razılaşdırılmış süzgəcləməsi.. «Aviakosmik meselelerin hellinde genclerin yaradıcı potensialı» VI Beynəlxalq Elmi-Praktiki Gencler Konfransinin materiallari. MAA, Bakı, 2-4 fevral 2021-ci il, seh. 119-121.
5. Machikhin A., Batshev V., Pozhar V., Naumov A. Single-volume dual-channel acousto-optical tunable filter. Opt. Express 2020, 28, 1150–1157.
6. Benkler E. et al., “Characterization of ultrashort optical pulse properties by amplitude-modulation-balanced heterodyne gating”, Opt. Lett. 30 (15), 2016 (2005), doi:10.1364/OL.30.002016
7. Gasanov A.R., Gasanov P.A. Akustoopticheskie linii zaderzhki nizkochastotnyh i vysokochastotnyh elektricheskikh signalov // Special'naya tekhnika, 2013, №1, s.11*21.
8. Ahmedov R.A., Gasanov A.R., Gasanov R.A., Guseynov A.G. Perekhodnaya harakteristika akustoopticheskoy linii zaderzhki i ee primeneniya // Fizicheskie osnovy priborostroeniya, 2020, tom 9, № 1(35), s. 71–78 (DOI: 10.25210/jfop-2001-071078)

ОПТОЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПРИЕМА РАДИОЛОКАЦИОННОГО СИГНАЛА

Ахмедов Р.А.

Национальная Академия Aviации

Показано, что в контексте решения основных радиолокационных задач правильный выбор типа зондирующего сигнала и его параметров имеет высокую практическую значимость. Обосновано, что одним из широко применяемых зондирующих сигналов является пачка радиоимпульсов. Формулы для пачки из произвольного числа прямоугольных радиоимпульсов и для его автокорреляционной функции получены с применением функции включения. На основе этих формул сформулированы требования к устройству для оптимального приема пачки радиоимпульсов. В контексте этих требований обсуждены особенности акустооптической линии задержки гетеродинного типа и доказана возможность синтеза устройства оптимального приема сигнала, состоящего из произвольного числа прямоугольных одинаковых радиоимпульсов, на ее основе. Составлена схема оптоэлектронного устройства для оптимального приема пачки из трех радиоимпульсов и обсужден принцип ее работы. На основе составленной математической модели вычислена выходная реакция устройства на известное входное воздействие и построен соответствующий график. Путем анализа результатов, проведенных расчетов, показано, что выходная реакция оптоэлектронного устройства для оптимального приема представляет собой задержанную копию автокорреляционной функции его входного воздействия.

Ключевые слова: функция включения, радиоимпульс, математическая модель, оптоэлектронное устройство, оптимальный прием, автокорреляционная функция

OPTOELECTRONIC DEVICE FOR OPTIMUM RECEPTION OF RADAR SIGNAL

Ahmadov R.A.

National Aviation Academy

It is shown that in the context of solving the main radar problems, the correct choice of the sounding signal type and its parameters is of high practical importance. It is substantiated that one of the widely used probing signals is a radiopulses packet. Formulas for a packet of an arbitrary number of rectangular radiopulses and for its autocorrelation function are obtained by using the switch-on function. On the basis of these formulas, the requirements for the device for optimal reception of a packet of radiopulses are formulated. In the context of these requirements, the features of an acousto-optic delay line of the heterodyne type are discussed and the possibility of synthesizing a device for optimal reception of a signal consisting of an arbitrary number of rectangular identical radiopulses on its basis is proved. Optoelectronic device diagram for optimal reception of a three radio pulses packet is drawn up and the principle of its operation is discussed. On the basis of the compiled mathematical model, the output response of the device to a known input action is calculated and the corresponding graph is built. By analyzing the calculation results, it is shown that the output response of the optoelectronic device for optimal reception is a delayed copy of the autocorrelation function of its input action.

Keywords: switching function, radio pulse, mathematical model, optoelectronic device, optimal reception, autocorrelation function

Rəyçi: *t.e.d., prof. X.İ. Abdullayev*

Müəllif haqqında məlumat:

Soyadı, adı, atasının adı	İş yeri	Vəzifəsi, elmi dərəcəsi, elmi adı	Əlaqə
Əhmədov Rövşən Ərrahman oğlu	Milli Aviasiya Akademiyası	Radioelektronika kafedrası, müəllim	rovshan.ahmadov96@list.ru mob: (994) 055-350-40-26