

QƏBULEDİCİ SİSTEMLƏRİN PARAMETRLƏRİNİN HESABLANMASI

E.Ə. KƏRİMOV

Milli Aerokosmik Agentliyi, Təbii Ehtiyatların Kosmik Tədqiqi İnstitutu,
S.S. Axundov küç. 1, Az-1115

S.N. MUSAYEVA

Azərbaycan Texniki Universiteti, H. Cavid pros. 23, AZ-1073
E-mail: E_Kerimov.fizik@mail.ru

Tədqiqatlar göstərir ki, siqnal toplanan qəbuledicilər üçün soyudulan diafraqm vasitəsi ilə ekranlaşdırma təmin olunmalıdır. Həssas elementə düşən fon şüalanmasının apertur bucağı şüalanma qəbuledicisində obyektin toplanan şüalanmasının apertur bucağından o qədər də böyük olmamalıdır.

Açar sözlər: Skanedici sistemlər, skanetməyən sistemlər, elektron-optik çevirici, foton qəbulediciləri, İQ - diapazon, şüalanma qəbulediciləri, şüalanma mənbəyi.

UOT: 535.317

PACS: 72.10.-d

Yarımqeçiricili bərk cisim təsvir qəbuledicili İQ – diapazonlu optik-elektron qəbuledici sistemlərini istilik görüntülü sistemlərə, elektron-optik çeviricilər və ya fotoelektron vakuüm qəbuledici-ötürücü tipli foton qəbulediciləri istifadə edən sistemləri isə, adətən, gücə görüntülü cihazlara aid edilir. Baxılan işdə yalnız birinci növ çoxelementli şüalanma qəbulediciləri sistemləri nəzərdən keçiriləcəkdir.

1. SKANEDİCİ SİSTEMLƏR

Tutaq ki, giriş bəbəyinin effektiv sahəsi A_0 və fokus məsafəsi F – olan optik sistemdən L – məsafədə özünü T_1 – temperaturlu mütləq qara cisim kimi aparən şüalanma mənbəyi yerləşmişdir. Şüalanma mənbəyi hər-hansı fon üzərində müşahidə olunur ki, bu fonun da şüalanması T_0 – temperaturlu mütləq qara cismin şüalanması kimidir.

Optik sistem tərəfindən toplanan və şüalanma qəbuledicisinə düşən şüalanmanın spektral seli:

$$P(\lambda) = \frac{R(\lambda, T_1) A_0}{\pi L^2} L^2 \omega = \frac{R(\lambda, T_1) A_0 \omega}{\pi}, \quad (1)$$

qəbuledicidən götürülən siqnal isə:

$$U_s = S(\lambda) = S(\lambda) \frac{R(\lambda, T_1) A_0 \omega}{\pi} \quad (2)$$

burada, $S(\lambda)$ – qəbuledicinin mütləq volt həssaslığı, V/Vt ; $R(\lambda, T_1)$ – T_1 temperaturunda mütləq qara cismin şüalanması selinin spektral sıxlığı, $Vt/sm^2 \cdot mkm$; ω – qəbuledici sistemin ani görmə sahəsi bucağıdır (qəbuledicinin ayrı elementinin apertur bucağı).

Qeyri-monoxromatik şüalanma üçün siqnal-küy münasibəti:

$$\frac{U_s}{U_N} = \frac{A_0 \omega}{\pi U_N} \cdot \int_0^\infty S(\lambda) R(\lambda, T_1) d\lambda \quad (3)$$

Adətən, $S(\lambda)$ – mütləq volt həssaslığı yerinə gətirilmiş aşkaretmə qabiliyyəti istifadə olunur:

$$D^* = (A \Delta f)^{\frac{1}{2}} \frac{1}{p_{th}} \quad (4)$$

burada, A – həssas elementin sahəsi, sonralar isə sadəlik üçün a – tərəflərə malik kvadrat; Δf – siqnal və küyün güclənməsinin elektron traktının buraxma zolağının eni; p_{th} – şüalanmanın siqnal-küy nisbəti vahidə bərabər olduqda energetik selidir. $S(\lambda) = U_s/p_s$ olduğundan, onda:

$$p_{th}(\lambda) = \left(\frac{U_s}{S(\lambda)} \right)_{U_s=U_N} = \frac{U_N}{S(\lambda)} \quad (5)$$

və

$$D^*(\lambda) = \frac{\sqrt{A} \sqrt{\Delta f}}{U_N} \cdot S(\lambda) \quad (6)$$

Bu halda siqnal-küy nisbəti üçün (3) ifadəsi aşağıdakı şəkllə düşəcəkdir:

$$\frac{U_s}{U_N} = \frac{A_0 \omega}{\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{a^2} \cdot \sqrt{\Delta f}} \cdot \int_0^\infty D^*(\lambda) R(\lambda, T_1) d\lambda \quad (7)$$

Optik-elektron cihazların elektron traktının buraxma zolağının optimal qiyməti qəbuledici sistemin təyinatından və həmçinin, siqnal və küyün spektral xarakteristikalarından asılıdır. Adətən, siqnal tərəfindən tutulan tezlik zolağı ilə uzlaşan buraxma zolağına malik süzgəc istifadə olunur. Birinci yaxınlaşmada qəbul etmək olar ki, Δf – zolağının eni müşahidə olunan τ_e – istilik mənzərəsinin ayrılmasının bir elementinə uyğun gələn zamanla aşağıdakı nisbətə uyğun olaraq bağlı olacaqdır:

$$\Delta f = \frac{c}{\tau_e}, \quad (8)$$

burada, c – vahid tərtibində hər-hansı sabitdir. Nəzərə alsaq ki, ani görmə sahəsi bucağı şüalanma qəbuledicisinin həssas elementinin bucaq ölçüsünə bərabərdir:

$$\omega = \frac{a^2}{F^2} \quad (9)$$

onda, T_1 – temperaturlu hədəfin istilik təsvirinin T_0 – temperaturlu fonda kontrastını təyin edən fərq siqnalı:

$$\frac{\Delta U}{U_N} = \frac{A_0 a \tau_e^{\frac{1}{2}}}{\pi F^2 c^{\frac{1}{2}}} \cdot \int_0^\infty D^*(\lambda) \cdot [D^*(\lambda) [R(\lambda, T_1) - R(\lambda, T_0)]] \cdot d\lambda \quad (10)$$

Kiçik $\Delta T = T_1 - T_0 \ll T_1, T_0$ temperatur kontrastlığında inteqralları fərq ifadəsi $[dR(\lambda, T)/dT] \Delta T$ – differensial fərqlə əvəz oluna bilər və istilik kontrastı üçün olan ifadə aşağıdakı şəkllə düşər:

$$\frac{\Delta U}{U_N} = \Delta T \cdot \frac{A_0 a \tau_e^{\frac{1}{2}} D_{\max}^*}{\pi F^2 c^{\frac{1}{2}}} \cdot \int_0^\infty S(\lambda) \frac{dR(\lambda, T)}{dT} \cdot d\lambda \quad (11)$$

burada, $D_{\max}^* = \frac{D^*(\lambda)}{S(\lambda)}$, $S(\lambda)$ – şüalanma qəbuledicisinin

nisbi spektral xarakteristikasıdır.

Ayrılmamanın bir elementinə düşən τ_e – zamanı kadrın t_k – müddəti və ω – ani görmə sahəsinin bucağı və Ω – tam müşahidə bucaqlarının nisbəti ilə təyin olunur:

$$\tau_e = \frac{m\omega}{\Omega} t_k, \quad (12)$$

burada, $n = M \times N$ – qəbuledicinin çoxelementli matrisasında elementlərin tam sayı; M – sətirlərin; N – isə sütunların sayıdır.

Beləliklə, kontrast siqnalı:

$$\frac{\Delta U}{U_N} = \Delta T \cdot \frac{D_{\max}^* A_0 \omega}{\pi F} \cdot \left(\frac{nt_k}{c\Omega} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \int_0^\infty S(\lambda) \frac{dR(\lambda, T)}{dT} \cdot d\lambda. \quad (13)$$

Təyinatından asılı olaraq qəbuledici sistemin konstruksiyası zamanı t_k – kadr müddəti, Ω – tam müşahidə sahəsi, ω – ani baxış bucağı və həmçinin, ΔT – obyekt və fonun temperatur fərqi qiymətləndirilir. c – parametri də qiymətləndirilir, belə ki, bu parametr sistemin funksional təyinatı ilə müəyyən olunur. Beləliklə, verilmiş siqnal-küy nisbətini təmin etmək üçün, qəbuledici sistemin işlənməsi zamanı yalnız A_0 , F , $D^*(\lambda)$ kəmiyyətləri variasiya oluna bilər.

Optik sistemin giriş dəliyinə A_0 – ölçülərinin böyüməsi qəbuledici sistemin kütlə və qabaritlərinin kəskin artmasına gətirir ki, bu da heç də həmişə yol verilən olmur. A_0 –ın dəyişməz qaldığı zaman fokus məsafəsinin kiçilməsi optik sistemdə aberrasiyaların artmasına, onun mürəkkəbləşməsinə və, bunlarla bərabər, mənfi hadisələrin vacibliyinə gətirir. Ona görə də, qəbuledicinin optik sisteminin A_0/F – nisbi dəliyi, faktiki olaraq, əvvəlcədən verilmiş kəmiyyət olur. Düzgün konstruksiya olunmuş qəbuledici sistemlərdə şüalanma qəbuledicisinin $D^*(\lambda)$ – gətirilmiş aşkaretmə qabiliyyəti fon şüalanması fluktuasiyaları ilə təyin olunan (OF fonu ilə məhdudlanan rejim

və ya BLİP - rejim) maksimal mümkün olan qiymətə bərabər, və ya ona çox yaxındır:

$$D_{\text{of}}^*(\lambda) = \frac{\lambda}{2hc_0} \cdot \left(\frac{\eta_0}{Q_B} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

burada, h – Plank sabiti; c_0 – işıq sürəti; η_0 – şüalanma çevrilməsinin kvant effektivliyi; Q_B – həssas elementə düşən fon şüalanmasının intensivliyidir.

Beləliklə, tədqiqatçının idarə edə biləcəyi bütün parametrlər (h – dan başqa) özlərinin maksimal qiymətlərinə ya bərabərdir, ya da ona yaxın qiymətlər alır və müasir qəbuledici sistemlərdə siqnal-küy nisbətini kifayət qədər artırılması üçün, faktiki olaraq yalnız bir imkan vardır – çoxelementli şüalanma qəbuledicisində elementlərin n – sayını artırmaq lazımdır.

Əgər çoxelementli fotoqəbuledici qurğunun hazırlanma xüsusiyyətlərini və funksiyalarını nəzərə almasaq və tədqiqatçının ixtiyarında istənilən tələb olunan sayda elementə malik çoxelementli qəbuledicilərin olduğunu qəbul etsək, matrisada maksimal mümkün olan element-

lərin sayı matrisaların qəbuledici sistemlərdə tətbiq olunması xüsusiyyətləri ilə təyin olunacaq.

Düzgün konstruksiya olunmuş qəbuledici sistemlərdə yerinə yetirilən əsas şərtlərdən biri qəbuledici elementin küyünün siqnalın oxunması və gücləndirilməsi elektron sxemlərinin küylərindən böyük olmasıdır. Küylərin toplandığı Δf zolağın eni matrisada elementlərin soruşma tezliyi ilə təyin olunur. Axırını isə, öz növbəsində, kadrın müddətindən və matrisada kadr müddətində soruşulan elementlərin sayından asılıdır. Nəticədə, tədqiqatçının t_k - kadr müddəti və ilkin gücləndiricinin küyü kimi ilkin verilənləri zamanı matrisada maksimal mümkün olan elementlərin sayı avtomatik olaraq qərarlaşacaqdır.

2. SKAN ETMƏYƏN SİSTEMLƏR

Qəbuledicilərin fotoelektrik xassələrini təsvir etmək üçün ani təsirli qəbuledicilərin parametrlərinə çox yaxın parametrlərdən istifadə etmək qəbul olunur. Ani təsir qəbuledicilərin gətirilmiş aşkaretmə qabiliyyətinə (6) analogi olaraq siqnal toplanması olan qəbuledicilərdə həssaslığı aşağıdakı kəmiyyətlə xarakterizə edirlər:

$$T^*(\lambda) = \left(\frac{A}{t_i} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{S(\lambda)}{U_N} \quad (15)$$

burada, t_i – həssas elementdə yükün toplanma müddətidir.

(15) və (6)-nı müqayisə edərək görürük ki, skan etməyən t_i - “toplanma müddəti” parametrlərinə skanedicinin sistemin $\tau_e/c = 1/\Delta f$ parametri uyğun gəlir. Əgər birinci faktiki olaraq kadr müddətinə bərabərdirsə, (12) ilə təyin olunan ikinci, matrisada olan elementlərin sayından asılıdır və i_k -ya yaxınlaşır.

$D^*(\lambda)$ -un yerinə $T^*(\lambda)$ – daxil edilməsi əvvəlcədən verilmiş və skanedicinin sistemlərin xarakteristikalarını təsvir edən ifadələri skan etməyən sistemlərin uyğun xarakteristikalarını təsvir etməyə imkan yaradır. Belə ki, skanedicinin sistemdə siqnal-küy nisbətini təyin edən (7) ifadəsi əvəzinə

$$\frac{U_S}{U_N} = \frac{A_0 \omega}{\pi} \cdot \left(\frac{t_i}{A} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \int_0^\infty T^*(\lambda) R(\lambda, T_1) d\lambda, \quad (16)$$

$\Delta T \ll T$ olduqda, obyektin istilik təsvirinin fona nəzərən kontrastını təyin edən (11) ifadəsi əvəzinə isə

$$\frac{\Delta U}{U_N} = \Delta T \cdot \frac{T_{\max}^* A_0}{\pi F^2} \cdot (A t_i)^{\frac{1}{2}} \cdot \int_0^\infty S(\lambda) \frac{dR(\lambda, T)}{dT} \cdot d\lambda \quad (17)$$

burada, $T_{\max}^* = \frac{T^*(\lambda)}{S(\lambda)}$, $S(\lambda)$ – şüalanma qəbuledicisinin

nisbi spektral xarakteristikasıdır.

Ani təsir qəbulediciləri kimi, siqnal dolma qəbulediciləri də küyləri fon şüalanması fluktuasiyaları ilə təyin olunan şərtlərdə mümkün olan maksimal həssaslığa malik olur. Bu halda küy (elektronların sayı ilə ölçülən) fon şüalanması selinin udulması hesabına fotonəzərən özəklə toplanmış yük daşıyıcıların sayının kvadrat kökünə bərabərdir:

$$U_N = (\eta_0 t_i A Q_B)^{\frac{1}{2}}. \quad (18)$$

Əgər özəyin obyektə enerji qəbulu şüalanma seli ilə şüalanması zamanı

$$p_s = \frac{hc_0}{\lambda} Q_S A \quad (19)$$

özək tərəfindən

$$U_S = \eta_0 t_i A Q_S(\lambda) \quad (20)$$

qədər siqnal toplanarsa (həmçinin, elektronların sayı ilə ölçülən), onda,

$$T^*(\lambda) = \left(\frac{A}{t_i} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{S(\lambda)}{U_N} = \left(\frac{A}{t_i} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{p_s} \cdot \frac{U_S}{U_N} \quad (21)$$

ifadəsindən fon fluktuasiyaları ilə məhdudlanma şərtləri daxilində $T^*(\lambda)$ – in qiymətini təyin edirik:

$$T_{\text{of}}^*(\lambda) = \left(\frac{A}{t_i} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{\lambda \eta_0 t_i A Q_S(\lambda)}{hc_0 Q_S A (\eta_0 t_i A Q_B)^{\frac{1}{2}}} = \frac{\lambda}{hc_0} \left[\frac{\eta_0(\lambda)}{Q_B} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (22)$$

$T^*(\lambda)$ – in qiymətini (16) – da yerinə qoyub (1) və (19)- u da nəzərə alsaq:

$$\left(\frac{U_S}{U_N} \right)_{\text{of}} = \frac{A_0 t_i^{\frac{1}{2}}}{\pi A^{\frac{1}{2}}} \cdot \int_0^\infty \eta_0^{\frac{1}{2}}(\lambda) \cdot \frac{Q_S(\lambda)}{Q_B^{\frac{1}{2}}} d\lambda. \quad (23)$$

Bu ifadə göstərir ki, fonla məhdudlanma rejimində dolma qəbuledicisi, əgər siqnalın dolma müddəti böyük olarsa, yüksək siqnal-küy nisbətini təmin edə bilər.

Dolma müddətinin maksimal qiymətini təyin edən başlıca faktor yükün toplandığı potensial çuxurun t_0 – dolma müddətidir. Dolma müddəti öz növbəsində potensial çuxurun tutumundan və onun dolma sürətindən asılıdır. Verilmiş sərhəd həssaslığını təmin etmək halı zamanı siqnalın dolma müddəti potensial çuxurun dolma

müddətindən böyük olarsa, göstərilən sərhəd həssaslığı baxılan dolma qəbuledici vasitəsi ilə potensial çuxurların dolub daşmasını istisna edən xüsusi tədbirlər görülməyə realizə oluna bilməz.

MDY – özəyin potensial çuxurunun dolma müddətini aşağıdakı ifadə ilə qiymətləndirmək olar:

$$t_0 = \frac{N_{max}}{\eta_0 Q_\lambda \cdot \sin^2 \theta} \quad (24)$$

burada, $N_{max} = 10^{12} \text{el} \cdot \text{sm}^{-2}$ – silisium MOY – kondensatorda doldurulması mümkün olan elektronların maksimal sıxlığı; Q_λ – 300 K temperaturda mütləq qara cismin şüalanmasının spektral sıxlığı ($\lambda = 4 \text{mkm}$ olduqda $6 \cdot 10^{15} \text{ foton} \cdot \text{sm}^{-2} \cdot \text{san}^{-1} \cdot \text{mkm}^{-1}$, $\lambda = 12 \text{ mkm}$ olduqda isə $1,7 \cdot 10^{17} \text{ foton} \cdot \text{sm}^{-2} \cdot \text{san}^{-1} \cdot \text{mkm}^{-1}$); θ – fon şüalanmasının qəbulediciyə düşdüyü apertur bucağıdır. Qiymətləndir-

mələr göstərir ki, atmosferin İQ – şəffaflığının qısa və uzun dalğalı pəncərələri üçün qəbuledicilərin potensial çuxurlarının dolması müddətləri 10 dəfələrlə fərqlənir, məsələn, $\approx 10^{-2}$ san və $\approx 4 \cdot 10^{-4}$ san $\lambda = 4 \text{mkm}$ və $\lambda = 12 \text{mkm}$ zamanı uyğun olaraq. Yaxın İQ – və görmə şüalanma qəbuledicilərinin potensial çuxurlarının dolma müddətləri isə daha çox fərqlənir, belə ki, spektrin görünən diapazonunda 300 K temperaturda ətraf fonun məxsusi şüalanmasının intensivliyi çox kiçikdir.

Əgər qəbuledici sistem fonda minimal ΔT – temperatur fərqi olan T_0 – temperaturlu mütləq qara cismin şüalanması kimi şüalanan obyektin aşkarlanması üçün istifadə edilirsə, verilmiş siqnal-küy nisbətindən $\Delta U/U_N$ – realizasiyası üçün t_i – dolma müddətinin qiyməti fon şüalanması ilə potensial çuxurların dolması müddətindən kiçik olmalıdır.

- [1] С.А. Дворецкий, А.В. Зверев, Ю.С. Макаров, Е.А. Михантьев. Прикладная физика, 2016, № 6, с. 60-67.
[2] В.В.Шерстнев, Д.Старостенко, И.А. Андреев и др. Письма в ЖТФ, 2011, т. 37, В.1, с.11–17.
[3] М.П. Михайлова, И.А. Андреев, К.Д. Мусеев и др. ФТП, 2011, т. 45, В. 2, с. 251–255.

- [4] А.Л. Закгейм, Н.В. Зотова, Н.Д. Ильинская и др. ФТП, 2009, т. 43, В. 3, с. 1389–1394.
[5] Н.В. Зотова, С.А. Карандашев, Б.А. Матвеев и др. ФТП, 2011, т. 45, В. 4, с. 554–559.

E.A. Kerimov, S.N. Musayeva

CALCULATION OF RECEIVING SYSTEM PARAMETERS

The detail screening by cooled diaphragms should be supplied for receivers with signal accumulation. The angular aperture in which the phonon radiation influences on sensitive element shouldn't essentially exceed the angular aperture in which the object radiation accumulates on radiation receiver.

Э.А. Керимов, С.Н. Мусаева

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРИЕМНЫХ СИСТЕМ

Для приемников с накоплением сигнала должна обеспечиваться тщательная экранировка охлаждаемыми диафрагмами. Апертурный угол, в котором фоновое излучение попадает на чувствительный элемент, не должен существенно превышать апертурный угол, в котором излучение объекта собирается на приемник излучения.

Qəbul olunma tarixi: 01.05.2018