

Ə. Q. HÜSEYNOV, İ. İ. SÜLEYMANOV

Heydər Əliyev adına AAHM

PORTATİV OPTİK RABİTƏ SİSTEMLƏRİ VƏ ÖTÜRMƏNİN
BƏZİ XARAKTERİSTİKALARI

Məqalədə portativ optik rabitə sistemlərinin işi və qəbul edilən optik siqnalların gücünü müəyyən edən ötürmənin bəzi xarakteristikalarına baxılmışdır.

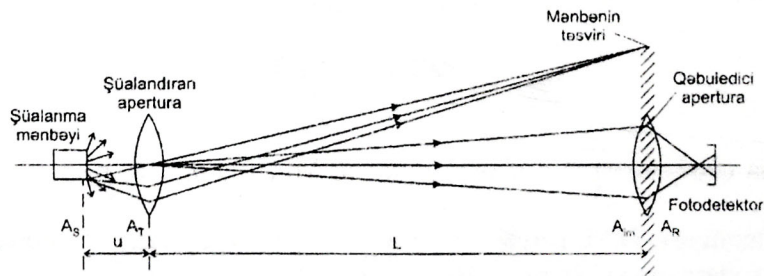
Optik tezlik diapazonundan istifadə rabitə texnikasında informasiyanın ötürülməsinin sürətinin, etibarlığının və istiqamətləndirilməsinin yüksəldilməsinə səbəb olmuşdur.

Belə ki, XX əsrin 60-cı illərindən başlayaraq sərbəst mühitdə - atmosferdə, eləcə də kosmik fəzada işığın yayılması üçün optik rabitə sistemlərinin (ORS) yaradılmasının tədqiqi üzrə işlər aparılmış, böyük nəticələr əldə edilmişdir. Elmdə belə sistemlər açıq adlandırılır (AORS). Bu gün də bu işlər davam etdirilir. Rabitə texnikasında optik şüadan istifadə edərək müxtəlif məsafələrə məlumatların ötürülməsi prioritet məsələ olaraq gündəmədir. Portativ optik rabitə sistemlərinə xas olan bütün xarakteristikalar nəzərə alınmalıdır. Lifli (qapalı) optik rabitə sistemlərindən fərqli olaraq, bir və ya hər iki terminalın hərəkəti (yerdəyişməsi) lazerlərdən istifadə edərək yaradılan açıq optik rabitə sistemlərinin (AORS) üstünlüyünü göstərir. AORS-də rabitə məsafəsinin kiçik olmasına baxmayaraq, məlumatların ötürülməsi rabitə xətlərindən istifadə edərək məlumatların ötürülməsindən geri qalmır. Bu sistemlərin optik rabitə xətlərinin Radio - İYT rabitə sistemləri və elektrik sistemləri ilə üstünlüyünün və çatışmazlığının müqayisəsi verilmişdir [1].

Məlumdur ki, yerüstü rabitə sistemlərində optik diapazondan istifadə etmək çox çətinidir. Çünki meteoroloji şəraitin dəyişməsi ilə bərabər atmosferin şəffaflığı da dəyişir. Dumanlı havada, güclü yağış və qar yagan zaman AORS-lərinin işi məhdudlaşır. Amma bunu da bilir ki, güclü yağış yağan zaman mikrodalğalı rabitə xətləri vasitəsi ilə də məlumatların ötürülməsi çətinləşir.

AORS-nin işini qəbul olunan siqnalın gücünü müəyyən edən ötürmənin bəzi xarakteristikaları müəyyən edir. Bunlara optik şüa dəstinin səpələnməsi və optik şüanın atmosferdə sönməsi xarakteristikaları aiddir. Bu xarakteristikaları nəzərdən keçirək:

Optik şüa dəstinin səpələnməsi. Şəkil 1-də çox sadələşdirilmiş ideal portativ optik rabitə sisteminin sxemi göstərilmişdir [2]. Sadəlik üçün ötürücüdə (vericidə) və qəbuledicidə optik linza sisteminin bütün xırda detalları sxemdən çıxarılmış və yaxınlaşdırılmış nazik linzalardan istifadə edilmişdir.



Şəkil 1. İdeal portativ optik rabitə sisteminin sxemi

Şəkil 1-də çox sadələşdirilmiş ideal portativ optik rabitə sisteminin sxemi göstərilmişdir [2]. Sadəlik üçün ötürücüdə (vericidə) və qəbuledicidə optik linza sisteminin bütün xırda detalları sxemdən çıxarılmış və yaxınlaşdırılmış nazik linzalardan istifadə edilmişdir.

Sxemdə şüa mənbəyi diffuz edən mənbə kimi götürülmüşdür (ısıq diodu kimi). Bu mənbənin şüalandırma sahəsi A_S -ə bərabərdir.

Bütün işıq üçün şüalanma intensivliyi I_0 sabitdir və ötürücünün linzası tərəfindən istiqamətləndirilmişdir. Linza A_T - effektiv aperturaya və f - fokus məsafəsinə malikdir. Optik qəbuledici isə $l \gg f$ məsafəsində yerləşdirilmişdir.

Qəbulediciyə düşən bütün işıq dəsti fotodetektorun aktiv sahəsində fokuslanır. Onun effektiv aperturası A_R -ə bərabər götürülmüşdür. Qəbul olunan gücü maksimum həddə çatdırmaq üçün işıq mənbəyinin təsviri qəbul aperturasının müstəvisində formalaşmalıdır. Belə ki, nazik linza nəzəriyyəsi istifadə edilərək ötürücünün linzasının mərkəzindən işıq mənbəyinə qədər olan məsafəni hesablamaq olar [3]:

$$\frac{1}{u} = \frac{1}{f} - \frac{1}{l} \approx \frac{1}{f} \quad (1)$$

Təsvirin sahəsini isə aşağıdakı düstur ilə hesablamaq olar:

$$A_{im} = \frac{A_S l^2}{u^2} \approx A_S \frac{l^2}{f^2} \quad (2)$$

Vericinin toplayıcı linzasının şüalanma gücünü isə:

$$\Phi_T = \frac{I_0 A_T}{u^2} \approx \frac{I_0 A_T}{f^2} \quad (3)$$

düsturu ilə hesablanır.

Mənbəyin təsvirinin ötürülməsinə baxaq. Nəzərə alsaq ki, mənbənin təsviri A_R aperturasına yayılır, fotodetektora çatan Φ_T gücünün bir hissəsi A_R/A_{im} bərabər olacaqdır. Bu zaman qəbul olunan şüalanmanın gücü

$$\Phi_R = \Phi_T \frac{A_R}{A_{im}} = \Phi_T \frac{A_R u^2}{A_S l^2} \approx \Phi_T \frac{A_R f^2}{A_S l^2} = \frac{I_0 A_T A_R}{A_S l^2} = \frac{L A_T A_R}{l^2}. \quad (4)$$

Burada $L = I_0/A_R$, L - mənbənin energetik parlıtısidir.

Qeyid edək ki, yüksək energetik parlıtıya və böyük sahəli aperturaya malik şüalanma mənbəyi tələb olunur.

Bu hesablamalar ideal linza sistemində aparılmışdır və əsas nəticələr o vaxt qəbul olunur ki, şüanın kollimasiyası və toplanması üçün güzgü və ya katadioptrik (güzgü-və-linza qarışığı) sistemlər istifadə olunur. Buna baxmayaraq aberrasiyaya görə real optik sistemdə formalaşmış təsvir ideal deyil.

Şüa mənbəyi kiçik olan halı nəzərdən keçirək. Əgər mənbə çox kiçikdirsə, onda onun təsvirinin ölçülərini (2) düstur ilə müəyyən etmək olmaz. Bunun üçün ötürücünün linzasının aperturasında işığın difraksiyasını nəzərə alaraq hesablar aparmaq lazımdır, yəni d_T dairəvi aperturanı hərtərəfli işıqlandırsa, onun difraksiya şəkli bir neçə uzun dairədən ibarət olacaqdır. Gücün sıxlığının radial dəyişməsi məhdudlaşdırılmış difraksiya şəklindədir. Əgər difraksiya şəklində birinci tünd dairənin radiusu yaxşı fokuslaşdırılmış təsvirin d_{im} diametrinin qiyməti ilə müqayisə olunursa, yəni aşağıda göstərilmiş bərabərlik ödənilərsə, onda

$$d_{im} = \frac{l}{u} d_S < \frac{1,22\lambda l}{d_T} \quad (5)$$

burada d_S - mənbənin diametridir, deməli,

$$d_S < \frac{1,22ul}{d_T} \approx \frac{1,22f\lambda}{d_T} \quad (6)$$

olacaqdır.

Nəzərə alaq ki, lazer mənbəyindən yayılan işıq yüksək kollimasiya olunmuş və koherentdir. Bu zaman lazer mənbəyindən yayılan işıq mənbəyinin təsviri məhdud difraksiya olunmuş şəkildə olacaqdır. Difraksiya şəklinin mərkəzində şüalanmanın intensivliyi $\Phi_T A_T/\lambda^2$ düsturu ilə müəyyən olunur (burada Φ_T - ümumi şüalanma gücüdür). Nöqtəli mənbə olduqda Φ_T - (3) düsturu ilə müəyyən olunur. Digər hallarda isə ötürücü aperturanın müstəvisində gücün sıxlığının aperturanın sahəsinə olan hasilinə bərabərdir. Difraksiya şəklinin mərkəzində A_R sahəyə malik olan kiçik qəbuledici apertura tərəfində toplanan şüalanmanın cəmlənmiş gücü aşağıdakı düstur ilə hesablanır:

$$\Phi_R = \frac{\Phi_T A_T A_R}{\lambda^2 l^2} \quad (7)$$

I_0 şüalanma intensivliyinə malik nöqtə mənbənin gücü isə

$$\Phi_R = \frac{I_0 A_T^2 A_R}{\lambda^2 u^2 l^2} \approx \frac{I_0 A_T^2 A_R}{\lambda^2 f^2 l^2} \quad (8)$$

düsturu ilə hesablanı bilər.

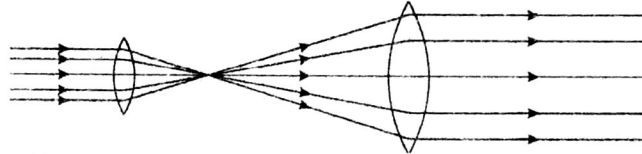
Yuxarıda qeyd olunmuş düsturlarla gücün qiymətini hesablamaq mümkündür praktiki olaraq optik sistemdə aberrasiya nəticəsində bu qiymət dəfələrlə aşağı olur [4].

İndi isə məhdud difraksiya vəziyyətində olan optik rabitə sisteminə baxaq. Bu sistemdə $A_R = A_T = 10^{-3} m^2$, $l = 1 km$ parametrlərinə malik işıq diodundan istifadə olunur. Burada $\lambda = 1 mkm$ və ötürücünün linsasının fokus məsafəsi $f = 1 mm - \varnothing$ bərabərdir.

(2) düsturundan istifadə edərək alırıq ki, mənbənin diametri $d_s < 3 mm$ olduqda difraksiya şüa dəstinin səpələnməsini yaradacaq.

Beləliklə, düz müstəvili şüalanmaya malik işıq diodu məhdud difraksiya sisteminin şərtlərini təmin edir. Digər şüalanma müstəvisi olan işıq diodunda bu alınmır.

Lazer şüalanma mənbəyində difraksiya səpələnməsini azaltmaq üçün şəkil 2-də göstərilən şüa dəstinin genişləndiricisindən istifadə olunur:



Şəkil 2. Difraksiyadan şüanın səpələnməsi ələhinə istifadə olunan şüa dəstinin genişləndiricisinin sxemi

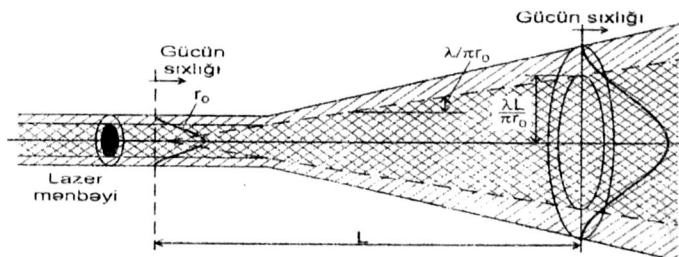
Baxılan halda difraksiya baş verən apertura genişlənir, bunu bir misalda nəzərdən keçirək. 10 mVt gücə malik yarımkəçirici lazerin şüaları kollimasiya olunur və 10 mm diametri olan şüa dəstinin genişləndiricisinin obyektivini əhatə edir:

$\lambda = 1 mkm$ və $A_R = 10^{-3} m^2$ kimi qəbul etsək $l = 10 km$ məsafədə güc

$$\Phi_R = \frac{10^{-2} (\pi/4) \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-3}}{10^8 \cdot 10^{-12}} = 8 mKvT \quad \text{bərabər olacaq.}$$

Şüa dəstinin səpələnməsi 0,1 mrad-nı keçmirsə, onda şüanı dəqiq istiqamətləndirmək üçün istənilən portativ ötürücünün mexaniki stabil olması və şüanın idarəetmə sisteminin ideal olması vacibliyi yaranır.

(7) və (8) düsturları, ötürücü aperturanın eyni tipli işıqlandırılması zamanı da öz qüvvəsini saxlayır.



Şəkil 3. Difraksiya nəticəsində məhdudlaşan şüa dəstinin Gauss paylanma prosesinin sxemi

Şəkil 3-də yaxın zonada gücün sıxlığının **Qauss paylanması**na uyğun olduğu göstərilmişdir. Difraksiya nəticəsində gücün uzaq zonada paylanmasını hesablamaq da çox asandır. Difraksiya ilə məhdudlaşdırılmış şüa dəsti uzaq zonada *Qauss* paylanmasını saxlayır. Praktikada bu çox vacib məqamdır, çünki nəzəriyyəyə əsasən silindr şəkilli rezonatora malik lazerin əsas eninə

şüalanma modu çıxış gücünü məhz belə paylayır [5]. Belə sistemləri ötürücü aperturanın mərkəzindən başlayan silindrik koordinatlar (r, φ, z) vasitəsi ilə təsvir etmək olar.

Azimutal φ koordinatını nəzərə almayaraq radial simmetriyanı nəzərdən keçirək.

Belə ki, ötürücü aperturanın güc sıxlığının yaxın zonada paylanması şəkil 4-də göstərilmiş qaydaya uyğun alınır:

$$P(r, 0) = P_0 \exp[-(r/r_0)^2] \quad (9)$$

Onda müstəvidə $z = l$ ($l \gg \pi r^2/\lambda$ şərti ilə) gücün sıxlığının paylanması

$$P(r, l) = (\pi r_0^2/\lambda l)^2 P_0 \exp[-(\pi r r_0/\lambda l)^2] \quad (10)$$

Qəbul edilsə ki, qəbul aperturası çox kiçikdir, onda ($r_R \gg \lambda/\pi r_0$, burada $A_R = \pi r_R^2$) eksponensial üzv hər yerdə 1-ə bərabər olacaq və qəbul edilən güc:

$$\Phi_R = (\pi r_0^2/\lambda l) P_0 A_R \quad (11)$$

Ümumi şüalanın gücü $\Phi_T = \pi r_0^2 P_0$ (12) olduğunda

$$\Phi_R = \frac{\Phi_T \pi r_0^2 A_R}{(\lambda l)^2} \quad (13)$$

olacaqdır.

Əgər $\pi r_0^2 - n_i A_T$ verici aperturanın effektiv sahəsi kimi qəbul etsək, (13) və (7) düsturları eyni olacaqdır.

Ötürmə zamanı gücün itirilməsi isə:

$$(\Phi_R/\Phi_T) = G_T G_R \quad (14)$$

(7) düsturunu nəzərə alsaq onda

$$(\Phi_R/\Phi_T) = \frac{A_T A_R}{l^2 \lambda^2}$$

olacaqdır.

(14)-cü düsturda G_T vericinin antenasının “**güclənmə əmsalidir**” və desibellə ölçülür, $G_T = 4\pi A_T/\lambda^2$.

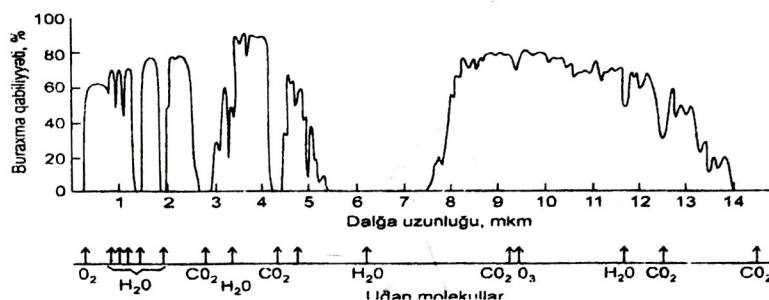
Gücün itkiləri adətən desibellə ifadə edilir. G_R -qəbuledicinin antenasının “**güclənmə əmsalidir**” və $G_R = 4\pi A_R/\lambda^2$.

Optik şüalanmanın atmosferdə sönməsi. Optik lifli sistemlərdə olduğu kimi atmosferdə də işıq şüaları udulma və səpələnmə nəticəsində itkilərə məruz qalır. Işığın udulması su buxarlarının və karbondioksit qazlarının vasitəsi ilə, səpələnməsi isə toz hissələri və su damcılarının vasitəsi ilə baş verir. Bundan əlavə optik siqnalların ötürülməsinə çətinlik yaradan daha iki effekt- refraksiya və sayırışma da təsir edir.

Atmosferdə işıq dalğalarının yayılma istiqamətində su buxarı və karbon-dioksit qazlarının miqdarından asılı olaraq optik şüaların udulması baş verir. Bu su buxarının və qazların konsentrasiyası da öz növbəsində havanın rütubətindən və hündürlükdən asılıdır. Şəkil 5-də dəniz səviyyəsindən hündürlükdə infraqırmızı şüaların udulmasının klassik ölçülməsi göstərilmişdir. Şəffaflıq “pəncərəsi” görünən sahədə və 1,5 ...1,8 ; 2...2,5; 3...4 və 8...14 mkm sahələrdə yerləşmişdir. Bu pəncərə hədudlarında optik siqnalların ötürülməsi mümkündür [6].

Şüaların səpələnməsi, udulmadan fərqli olaraq, böyük dəyişkənliyə malikdir. Çox vaxt sis və duman hallarını ayırı-ayrılıqda ifadə etmək düzgün olardı. Sis şəraitində səpələnmənin əsas səbəbi şüaların dalğa uzunluğundan bir qədər böyük olan submikron ölçülü toz zərrəciklərinin atmosferdə olmasıdır. Dalğa uzunluğunun artması ilə onların səviyyəsi azalır və şüalar müəyyən məsafəni qət edir. Sisdən fərqli olaraq dumanda səpələnməyə su buxar damcıları səbəb olur. Təbiətdə rast

gəldiyimiz yağış millimetrlərlə ölçülən su damcılarıdır. Bu həm səpələnməni, həm də udulmanı təmin edir. Su damcılarının ölçülərindən asılı olaraq, yağıntının intensivliyinə uyğun sönmə əmsalı böyüür.



Şəkil 4. Dəniz səviyyəsinə nəzərən atmosferin şəffavlığı

Sönmənin 1...10 db/km qədər yüksəlməsi adi haldır. Buradan belə nəticəyə gəlmək olar ki, yağışa görə rabitə sisteminin xarakteristikasının pisləşməsinə baxmayaraq, kifayət qədər güc ehtiyatını təmin etməklə onu əvvəlki səviyyədə saxlamaq olar.

Yayıma istiqamətində atmosferin temperaturunun dəyişməsi şüa dəstinin refraksiyasını yaradır. Atmosferin turbulentiyyəti nəticəsində refraksiyanın fasiləsiz dəyişməsi titrək işıq verməyə (sayırışmaya) gətirib çıxarır. Bu da atmosferdə sönmə ilə yanaşı xarici yerüstü rabitə sistemləri üçün intensivliyin birbaşa analoq modulyasiyası metodlarının tətbiq edilmə imkanlarını sıfıra endirir.

NƏTİCƏLƏR

1. Portativ optik rabitə sisteminin işi əsasən ötürmənin bəzi xarakteristikalarından-optik şüa dəstinin səpələnməsindən və atmosferdə sönməsindən çox asılıdır.

2. Şüa dəstinin səpələnməsi və atmosferdə sönməsi qəbul edilən optik signalın gücünü, eləcə də optik rabitə sisteminin işini müəyyən edir.

3. Portativ optik rabitə sistemlərinin zamanı yüksək energetik parıltıya və böyük sahəli aperturaya malik şüalanma mənbələrinin istifadəsi məlumatın canlandırılmasının doğruluğuna zəmin zəmin yaradır.

4. Bağlı optik rabitə sistemlərindən fərqli olaraq açıq sistemlər hərəkətli olduğundan radio xətlərə də rəqib ola bilər.

5. Portativ sistemdən istifadə çoxda uzaq olmayan məsafələrdə informasiyanın təhlükəsizliyini təmin etmək olar.

ƏDƏBİYYAT

1. Гауэр Дж. Оптические системы связи. Изд. "Радио и связь", 1989. С. 398-400.
2. Колесников В.Г. "Электроника, Энциклопедический словарь" М.: "Советская энциклопедия", 1991. С.342.
3. Ландсберг Г.С. Элементарный учебник физики. 13-е изд. т.3. М.: "Физматлит", 2003. С.236-242.
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т/У «Оптика». М.: "Физматлит", 1980. С.101-107.
5. Ананьев Ю.А. Оптические резонаторы и лазерные пучки. М.: "Наука," 1990. С.60-90.
6. H.A. Gebbie Atmospheric transmission in the 1 to 14 Mm region. Proc. Royal. Soc. A 206. 807-107