

Ingineria optică – aplicație

Analiza unui sistem optic centrat. Caracteristici de referință și parametri de calitate

Se consideră sistemul optic format din trei dioptri, situat în aer, care lucrează cu distanță obiect infinită, la apertura utilă $D_u = 20$ mm și a cărei schiță este prezentată în figura 1. Datele geometrice ale dubletului și valoarea indicilor de refracție de referință (n_e) pentru sticlele LaK23 și LaSF36A sunt redată în tabelul 1.

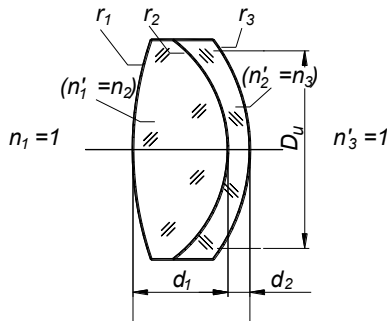


Fig. 1 Caracteristicile geometrice și de refracție ale sistemului optic analizat

Tabelul 1 Datele sistemului

r [mm]	47.453	-57.290	408.877
d [mm]		3.36	1.5
n	1	1.671594	1.802499
sort	aer	LAK23	LASF36A
			aer

Pentru determinarea caracteristicilor de referință ale sistemului se aplică algoritmul trasării paraxiale directe (rel. 1, 2) și inverse (rel. 3, 4), cu abscise inițiale infinite.

Trasarea directă se desfășoară de la dioptrul 1→3, iar cea inversă de la 3→1.

$$s' = \frac{n'}{\frac{n}{s} + \frac{n'-n}{r}}, \quad (1) \quad s_+ = s' - d, \quad (2) \quad s = \frac{n}{\frac{n'}{s'} - \frac{n'-n}{r}}, \quad (3) \quad s'_- = s + d, \quad (4)$$

unde s și s' reprezintă abscisa obiect, respectiv imagine, r – raza dioptrului, n, n' – indicii de refracție în mediul obiect, respectiv mediul imagine.

Tabelele 2 și 3 prezintă rezultatele numerice ale trasărilor directă, respectiv inversă.

Tabelul 2 Trasarea directă

Abscisa	Dioptrul 1	Dioptrul 2	Dioptrul 3
s	$-\infty$	114.751	145.260
s'	118.111	146.760	95.730

Tabelul 3 Trasarea inversă

Abscisa	Dioptrul 3	Dioptrul 2	Dioptrul 1
s'	$+\infty$	919.882	397.191
s	918.382	393.831	-100.562

Abscisele intermediare rezultate din trasări conduc la următoarele caracteristici:

- distanța frontifocală imagine: $s'_3 = s'_F = 95.73$ mm

- distanța focală imagine: $f' = s'_1 \frac{s'_2 s'_3 \dots s'_k}{s_2 s_3 \dots s_k} = s'_1 \prod_{j=2}^k \frac{s'_j}{s_j} \wedge s_1 = \infty$

$$\Rightarrow f' = 118.111 \cdot \frac{146.760 \cdot 95.730}{114.7513 \cdot 145.260} = 99.54 \text{ mm}$$

- abscisa planului principal imagine: $s'_{H'} = s'_F - f' \Rightarrow s'_{H'} = 95.73 - 99.54 = -3.81$ mm

- distanța frontifocală obiect: $s_1 = s_F = -100.56$ mm

- distanța focală obiect: $\bar{f} = s_k \prod_{j=1}^{k-1} \frac{s_j}{s'_{j+1}} \wedge s'_k = \infty$

$$\Rightarrow \bar{f} = -100.562 \cdot \frac{393.191 \cdot 918.382}{397.191 \cdot 919.882} = -99.54 \text{ mm}$$

- abscisa planului principal obiect: $s_H = s_F - \bar{f} = -100.56 + 99.54 = 1.02$ mm.

Pentru analiza calității sistemului optic se apelează la un program specializat (OSLO, ZEMAX etc.). În figura 2 este prezentată foaia de date a sistemului, în care au fost introduse valorile

razelor, grosimilor, deschiderii, au fost selectate sorturile de sticlă și s-a impus linia spectrală de referință e ($\lambda = 546.072$ nm).

Gen	Setup	wavelengths	Variables	Draw On	Group	Notes
Lens: Doublet LaK23-LaSF36A						
Ent beam radius 10.000000 Field angle 3.000000 Primary wavln 0.546072						Efl 99.54674
SRF	RADIUS	THICKNESS	APERTURE RADIUS	GLASS	SPECIAL	
OBJ	0.000000	1.0878e+20	5.7009e+18	AIR		
AST	47.453000	3.360000	10.000000	LAK23	C	
2	-57.290000	1.500000	9.820862	LASF36A	C	
3	408.877000	0.000000	9.765372	AIR		
IMS	0.000000	95.738842	5.218946			

Fig. 2 Foaia de date a sistemului

Se observă ca programul calculează automat caracteristicile de referință ale sistemului ($Efl = f' = 99.54$ mm, $s'_3 = s'_F = 95.73$ mm).

Curbele de sferocromatism rezultă din diferența absciselor extraaxiale la diverse \hat{h} înălțimi de incidență, pentru cele trei linii spectrale din sistemul $e - F' - C'$ și abscisa paraxială de referință:

$$ds'_e = \tilde{s}'_e - s'_e \quad (5), \quad ds'_F = \tilde{s}'_F - s'_e \quad (6), \quad ds'_{C'} = \tilde{s}'_{C'} - s'_e \quad (7)$$

Abscisa paraxială s'_e a fost calculată la determinarea caracteristicilor de referință. Abscisele extraaxiale pentru culorile verde (e), roșu (C') și albastru (F') rezultă aplicând pentru cel puțin șase înălțimi de incidență algoritmul de trasare extraaxială a razelor, care constă în parcurgerea următorilor pași:

$$\sin \tilde{\epsilon} = -\frac{\tilde{r} \sin \tilde{\sigma}}{r}, \quad (8) \quad \sin \tilde{\epsilon}' = \frac{n}{n'} \sin \tilde{\epsilon}, \quad (9) \quad \tilde{\sigma}' = \tilde{\sigma} - \tilde{\epsilon} + \tilde{\epsilon}' = \tilde{\sigma}_+, \quad (10)$$

$$\tilde{s}' = r \left(1 - \frac{\sin \tilde{\epsilon}'}{\sin \tilde{\sigma}'} \right), \quad (11) \quad \tilde{s}_+ = \tilde{s}' - d, \quad (12)$$

unde s-au notat cu indice “+” mărimile referitoare la dioptrul următor.

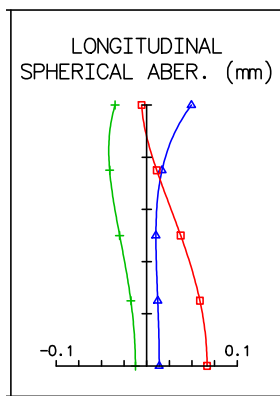


Fig. 3 Curbele de sferocromatism

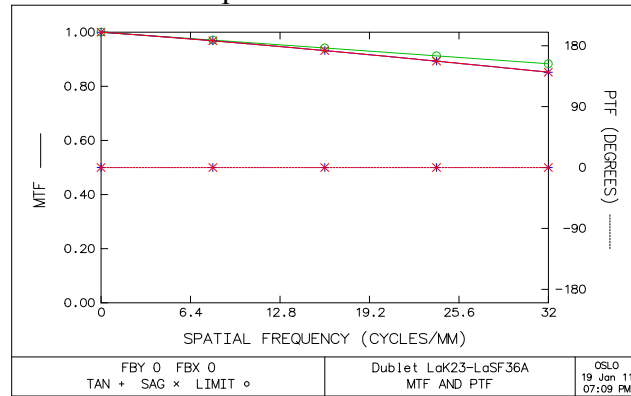


Fig. 4 MTF și PTF a sistemului analizat

Aplicarea relațiilor (8...12) pentru șase înălțimi de incidență ($h_1=20/6$, $h_2=20*2/6 \dots h_6=20$), utilizând indicii de refracție $n_{eLaK32}=1.671594$, $n_{eLaSF36A}=1.802499$, $n_{C'LaK32}=1.665837$, $n_{C'LaSF36A}=1.791501$, $n_{F'LaK32}=1.677593$, $n_{F'LaSF36A}=1.814543$, conduce la determinarea a câte șase abscise extraaxiale pentru fiecare dintre cele trei linii spectrale. Diferențele (5)...(7) sunt reprezentate în figura 3. Curbele respectă culoarea liniei spectrale pentru care au fost trasate. Valorile foarte reduse ale sferocromatismului încadrează sistemul în clasa “limitat la difracție”. Figura 4 conține o reprezentare a funcției optice de transfer de modulație (MTF), care indică o foarte bună iluminare globală a planului imagine și un contrast bun la frecvența spațială de 32 pl/mm, corespunzătoare rezoluției maxime a ochiului. Pe aceeași figură se poate urmări evoluția funcției de transfer de fază (PTF), care marchează absența distorsiunilor sau inversiunilor de contrast.