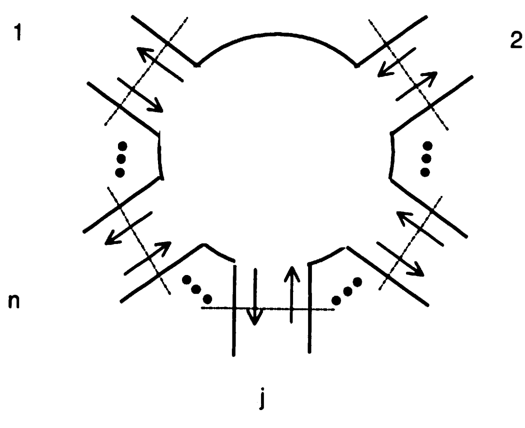
LMD mokslo darbai, 415–419
1998, Vilnius

Optinių daugiapolių charakteristikų priklausomybės

J. Anilionienė (KTU)

Sudėtingieji (daugelio įėjimų) optiniai mazgai (1 pav.) naudojami optinėse ryšio sistemose bei optinėse matavimo sistemose galiai dalyti, sumuoti, išskirti, kryptinėms atšakoms sudaryti, šviesos signalams moduliuoti, detektuoti, matavimams atlikti bei daugeliui kitų tikslų.

Optinių šviesolaidžių traktams ir jų elementams projektuoti bei analizuoti, kaip ir mikrobangų technikoje [1], galima taikyti matricinę teoriją. Šiuo atveju bet kokia grandinės dalis ar jos įtaisas vaizduojami ekvivalentiniu poriniu daugiapoliu: dvipoliu, keturpoliu ir t.t. Atsižvelgiant į kompleksinį krintančiųjų (a_i) ir atsispindėjusiųjų (b_i) normuotų šviesos bangų veikimą i-ajame šviesolaidinio mazgo įėjime, jų parametrams, charakteristikoms bei savybėms nagrinėti tikslinga naudotis sklaidos, arba dispersine, matrica, žymima simboliu S. Diagonaliniai šios matricos elementai s_{ii}-įėjimo atspindžio koeficientai. Nediagonaliniai s_{ij} elementai yra šviesos bangos perdavimo iš j į i įėjimą koeficientai.



1 pav. *n* įėjimų optinis mazgas

Optiniai komponentai, turintys n įėjimų, aprašomi tokia lygčių sistema:

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_{11} s_{12} \dots s_{1j} \dots s_{1n} \\ s_{21} s_{22} \dots s_{2j} \dots s_{2n} \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ s_{n1} s_{n2} \dots s_{nj} \dots s_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_n \end{pmatrix} = S \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_n \end{pmatrix}, \tag{1}$$

arba

$$b = Sa\,; \tag{2}$$

čia $\boldsymbol{a} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_n \end{pmatrix}$ ir $\boldsymbol{b} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_n \end{pmatrix}$ yra vektoriai, o S – kvadratinė sklaidos matrica.

Pasyvinis ir tiesinis daugiapolis yra apgręžiamas, nes jam galioja apgrąžos principas. Simetrinio mazgo S parametrų matrica yra simetrinė pagrindinės įstrižainės atžvilgiu, todėl

$$S = S^T, \text{ arba } s_{ij} = s_{ji}; \tag{3}$$

čia S^T – transponuota matrica.

Įėjimo galia

$$P_{IN} = \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{n}\left|a_j\right|^2 . \tag{4}$$

Išėjimo galia

$$P_{I\check{S}} = \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{n}\left|b_j\right|^2 \tag{5}$$

arba

$$P_{I\check{S}} = \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{n} b_j\overline{b}_j = \sum_{j=1}^{n}\left(\sum_{i=1}^{n} s_{ji}a_i\right)\left(\sum_{m=1}^{n}\overline{s}_{jm}\,\overline{a}_m\right); \tag{6}$$

čia $\overline{a}$, $\overline{b}$ ir $\overline{s}$ yra kompleksiškai jungtiniai *a, b ir s* dydžiai. Atlikus atitinkamus pertvarkymus (6), gaunama:

$$P_{I\check{S}} = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{m=1}^{n}\left(\sum_{j=1}^{n} s_{ji}\,\overline{s}_{jm}\right)a_i\,\overline{a}_m . \tag{7}$$

Šviesolaidinių mazgų be nuostolių tiesioginių ir atsispindėjusiųjų šviesos bangų suminės galios yra lygios, t.y. $P_{I\check{S}} = P_{IN}$. Tada, iš (7) seka, kad

$$\sum_{j=1}^{n} s_{ji}\,\overline{s}_{jm} = E \text{ arba } \mathrm{S^T} \cdot \overline{S} = E\,; \tag{8}$$

čia $\overline{S}$ – kompleksiškai jungtinė matrica, kurios elementai yra kompleksiškai jungtiniai atitinkamiems pradinės matricos elementams, E – vienetinė matrica, be to $i = j$.

Kadangi (8) yra energijos tvermės dėsnio matricinė išraiška, tai šiuo atveju sklaidos matrica tenkina vienatinumo sąlygą. ir vadinama *unitariąja matrica.* Sklaidos matricos elementai turi aiškią fizikinę prasmę, yra nesunkiai išmatuojami matavimo prietaisais. Be to, jie yra kompleksiniai bedimensiniai dydžiai, išreiškiami krintančiųjų ir atsispindėjusiųjų šviesos bangų santykiais.

Optinio ryšio sistemų perdavimo charakteristikos priklauso tiek nuo fiderių, tiek nuo optinių mazgų. Kadangi sujungimas yra pagrindinė optinių mazgų funkcija, tai tikslinga nagrinėti jungčių perdavimo charakteristikas ir, visų pirma, sujungimo nuostolius vienos modos fideriuose.

Sujungimo nuostoliai gali būti vertinami naudojant šviesolaidžio laukus. Tegul, E_{IN}, H^*_{IN} ir $E_{I\check{S}}, H^*_{I\check{S}}$ yra dviejų sujungtų fiderių (įėjimo ir išėjimo) elektriniai ir magnetiniai laukai. Elektrinio lauko perdavimo koeficientas

$$K_0 = \int_s E_0 H_0^* \, ds \Big/ \int_s E_{IN} H_0^* \, ds; \tag{9}$$

čia s - šviesolaidžio skerspiūvis, vienos modos režimo atveju

$$E_{I\check{S}} = E_0, \quad H^*_{I\check{S}} = H_0^*. \tag{10}$$

Įėjimo ir išėjimo galia

$$P_{IN} = 0{,}5 \int_s E_{IN} H^*_{IN} \, ds, \tag{11}$$

$$P_{I\check{S}} = \left(0{,}5 / K_0^2\right) \int_s E_0 H_0^* \, ds. \tag{12}$$

Galios perdavimo koeficientas

$$K_P = P_{I\check{S}} / P_{IN} = \int_s E_0 H_0^* \, ds \Big/ K_0^2 \int_s E_{IN} H^*_{IN} \, ds.$$

Įstačius (10) ir (12), gaunama:

$$K_P = \left(\int_s E_{IN} H_0^* \, ds \right)^2 \Bigg/ \left(\int_s E_0 H_0^* \, ds \cdot \int_s E_{IN} H^*_{IN} \, ds \right). \tag{13}$$

Įvertinant sujungimo nuostolius vienos modos fiderių pagrindinę modą aproksimuosime Gauso funkcija.

Nagrinėsime sujungimo nuostolius dėl šviesolaidžių perstūmimo juos jungiant (šiuo atveju a – atstumas tarp ašių). Jei abiejuose fideriuose modos skirtingos, tai

$$E_{IN} = A \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{d_1^2} \right), \tag{14}$$

$$E_0 = B\exp\left(-\frac{\left((x+a)^2+y^2\right)}{d_2^2}\right); \tag{15}$$

čia A, B – konstantos, d_1 ir d_2 – įėjimo ir išėjimo šviesolaidžių modų laukų diametrai.

Įvertinę tai, kad tarp magnetinio ir elektrinio lauko yra tiesinė priklausomybė, apskaičiuosime atitinkamus integralus (13)

$$\int_s E_{IN} H_{IN}^* \, ds = \frac{\pi}{2} A^2 d_1, \tag{16}$$

$$\int_s E_0 H_0^* \, ds = \frac{\pi}{2} B^2 d_2, \tag{17}$$

$$\begin{aligned}\int_s E_{IN} H_0^* \, ds &= AB\int_{-\infty}^{\infty}\exp\left(-\left(1/d_1^2+1/d_2^2\right)y^2\right)dy \int_{-\infty}^{\infty}\exp\left(-\left(x^2/d_1^2+(x+a)^2/d_2^2\right)\right)dx\\ &= A\cdot B\sqrt{\pi d_1^2 d_2^2/\left(d_1^2+d_2^2\right)}\ \sqrt{\pi d_1^2 d_2^2/\left(d_1^2+d_2^2\right)}\exp\left(-a^2/\left(d_1^2+d_2^2\right)\right)\\ &= A\cdot B\left(\pi d_1^2 d_2^2/\left(d_1^2+d_1^2\right)\right)\exp\left(-a^2/\left(d_1^2+d_2^2\right)\right).\end{aligned} \tag{18}$$

Įstatę gautas išraiškas į (13), turime:

$$K_P = \left(2d_1 d_2/\left(d_1^2+d_1^2\right)\right)\exp\left(-2a^2/\left(d_1^2+d_2^2\right)\right). \tag{19}$$

Jei abiejų šviesolaidžių modos tokios pačios $d_1 = d_2 = d$, sujungimo nuostoliai

$$A = -10\lg K_P \approx 4{,}34(a/d)^2\,(dB). \tag{20}$$

Jei d = 4 μm, tai norint gauti sujungimo nuostolius mažesnius nei 0,25 dB, šviesolaidžių persistūmimas neturi viršyti 1 μm.

Analogiškai galima apskaičiuoti sujungimo nuostolius, esant kampiniam ašių postūmiui (kampu α) arba esant dydžio l_Z tarpeliui tarp šviesolaidžių:

$$K_P = \left(2d_1 d_2/\left(d_1^2+d_2^2\right)\right)\exp\left(-2\left(\pi n_2 d_1 d_2 \alpha\right)^2/\left(d_1^2+d_2^2\right)\lambda^2\right) \tag{21}$$

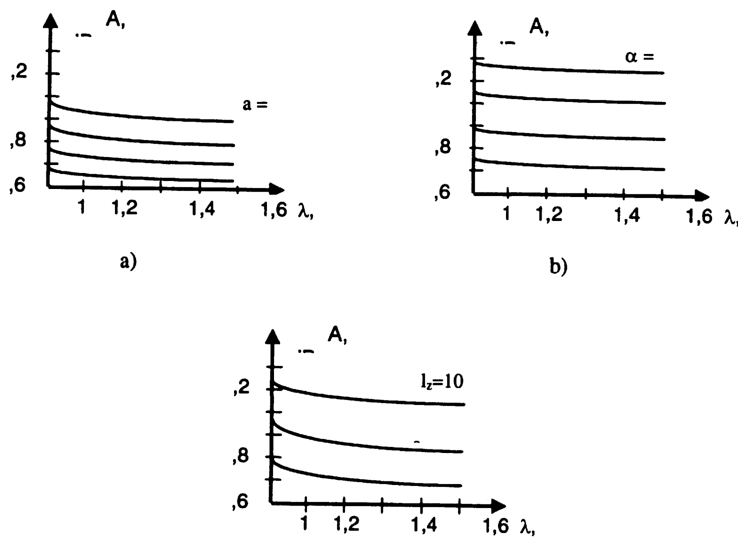
ir

$$K_P = 4\left(4M^2+d_1^2/d_2^2\right)\Big/\left(4M^2+\left(d_1^2+d_2^2\right)/d_2^2+4M^2 d_2^2/d_1^2\right); \tag{22}$$

čia n_2 – šviesos lūžio rodiklis, λ – bangos ilgis,

$$M = l_z \lambda / 2\pi n_2 d_1 d_2 . \qquad (23)$$

2 pav. parodytos sujungimo nuostolių priklausomybės nuo bangos ilgio.



a) b) c)

2 pav. Sujungimo nuostoliai vienos modos fideriuose: dėl perstūmimo (a), dėl kampinio postūmio (b) ir dėl tarpelio tarp fiderių (c).

LITERATŪRA

[1] Anilionienė J, $\boxed{\text{Stecevičius}}$ Mikrobangų technika (II d.)-Kaunas: Technologija, 1995.

[2] Pack U.C. High-Speed High-Strength Fiber Drawing, *IEEE J. Lightware Technic.* , Vol. LT-4, 1986, p. 1448.

The optical multipols characteristics dependences

J. Anilionienė

The complex optical junction are repressented mathematically by using several matrix formats. Connection loss in single-mode fibers are analyzed.