Aplikace matematiky

Bohumil Nábělek

Diferenciální přechodové koeficienty a jejich použití při korigování optických soustav. II

Aplikace matematiky, Vol. 5 (1960), No. 4, 282–295

Persistent URL: http://dml.cz/dmlcz/102715

DIFERENCIÁLNÍ PŘECHODOVÉ KOEFICIENTY A JEJICH POUŽITÍ PŘI KORIGOVÁNÍ OPTICKÝCH SOUSTAV II

BOHUMIL NÁBĚLEK

(Došlo dne 12. listopadu 1958.)

Předchozí práce [1] podává přehled CRUICKSHANKOVÝCH vzorců k rychlému korigování otvorové vady a odchylky od sinové podmínky. Tuto teorii bylo nutno doplnit návodem k výpočtu. Tato práce obsahuje výpočtové formuláře, pokyny k výpočtu a praktický příklad.

2,1. FORMULÁŘE PRO VÝPOČET

K trigonometrickému výpočtu krajového resp. zonálního paprsku přidáme rubriky obsahující $x_i \sin \sigma_i$ a S'_i, kde S'_i je vzdálenost výstupního bodu paprsku od jeho průsečíku s optickou osou, definovaná vztahem

$$S'_i = \frac{x'_i - a_i}{\cos \sigma'_i}, \tag{2,1}$$

kde a_i je vrchlík kulové plochy

$$a_i = r_i[1 - \cos (\sigma + \varepsilon)_i] . \tag{2,2}$$

Dalších sedm rubrik obsahuje pomocné veličiny pro výpočet jednoduchých koeficientů ze vztahů (2), (9), (10), (11), (12) a šikmé tloušťky, které jsou připojeny na konci tabulky.

Zde

$$'d_i = \frac{d_i - a_i + a_{i+1}}{\cos \sigma'_i}. \tag{2,3}$$

Přehledné uspořádání těchto veličin je podáno v tabulce I. U jednoduchých koeficientů je vždy uveden jen příslušný symbol. Proto je nutné při výpočtu se přidržet uvedených vzorců [1].

K výpočtu změn sečných vzdáleností použijeme vzorců (27) a (28). K určení výrazů v závorkách na pravých stranách těchto rovnic musíme nejprve vypočíst hodnoty čtyř základních koeficientů na všech plochách. Za tím účelem rozepíšeme rovnice (20), (21), (23) a (24) tak, že i necháme probíhat mezi čísly k, $k - 1, \ldots, 1$ (kde k je pořadové číslo poslední plochy). Po malé úpravě dostaneme velmi názorné schéma obsažené v tabulce II.[1]) Z této tabulky a z poznámky na konci druhého odstavce [1] je jasné, proč musíme provádět výpočet od poslední plochy směrem k první. Pak určíme hodnoty výrazu v závorkách na pravé straně rovnic (27) a (28). Po vynásobení převratnou hodnotou sinu úhlu paprsku s optickou osou za poslední plochou dostaneme koeficienty změn sečných vzdáleností způsobené změnou směru nebo přemístěním dopadového bodu paprsku (27) a (28). Po vynásobení jednoduchými koeficienty (11), (12) a (13) dostáváme koeficient změny x'_k v závislosti na změně konstrukčního parametru. Odtud pak snadno určíme změnu sečné vzdálenosti za poslední plochou. Tabulka III obsahuje celý výpočet uvedených veličin. V posledních třech řádcích je připojen výpočet veličin $\dfrac{\partial \sigma'_k}{\partial a_i}$ (a_i některý z konstrukčních parametrů). Tyto veličiny upotřebíme později při výpočtech, jak uvidíme dále.

Při výpočtu paraxiálního paprsku potřebujeme znát též jeho úhly a výšky na všech plochách. Výpočtový formulář získaný po aproximaci a malé úpravě formuláře pro krajový paprsek je podán v tabulce IV.

Výpočet čtyř základních koeficientů je u paraxiálního paprsku poněkud jednodušší. Rovnice (46) až (49) jsou rozepsány pro všechny plochy v tabulce V. Další tabulka (tabulka VI) obsahuje výpočet těchto koeficientů a aproximovaných rovnic (27) a (28). Rovnice pro koeficienty $\dfrac{\partial x'_{ok}}{\partial \sigma'_{oi}}$ a $\dfrac{\partial x'_{ok}}{\partial h_i}$ nebyly dosud pro paraxiální paprsek uvedeny. Formálně je dostaneme z rovnice (52) až (54), vynecháme-li na pravé straně jednoduchý koeficient jakožto faktor příslušného součinu. Mimo to jsou v tabulce ještě určeny hodnoty $\dfrac{\partial \sigma'_{ok}}{\partial a_i}$. Při výpočtu zde opět používáme hodnot jednoduchých koeficientů určených z tabulky IV.

2,2. ZPŮSOB VÝPOČTU

Chceme-li určovat změny sečných vzdáleností paprsků způsobené zásahem do konstrukčních parametrů, musíme nejprve vypočíst všechny hodnoty v tabulkách I, III, IV a VI. Při provedení změny pak násobíme jen koeficient $\dfrac{\partial x'_k}{\partial a_i}$ „diferenciálem změny" da_i. Pod tímto pojmem rozumíme přírůstek parametru a_i. Při změnách indexu lomu a tloušťky dosadíme přímo hodnotu,

[1]) Na pravých stranách rovnic se v součinech vyskytují čísla, která vidíme vždy na ploše $i + 1$ jako pořadová čísla jednotlivých koeficientů. Při úpravě ve výrazech na i-té ploše bylo do součinů pro větší názornost zavedeno pořadové číslo místo symbolů koeficientů plochy $i + 1$.

o niž se parametr změnil. Jen při změnách křivosti $c \left(= \frac{1}{r}\right)$ je přírůstek této veličiny ve tvaru

$$dc_i = \left(- \frac{1}{r_i^2}\right) dr_i \,. \tag{2,4}$$

Podmínku, udávající změnu nějaké veličiny V (sečná vzdálenost, poloha ohniska, otvorová vada, sinová podmínka), způsobenou změnou parametru a_i, můžeme obecně formulovat ve tvaru

$$dV = \frac{\partial V}{\partial a_i} \, da_i \,. \tag{2,5}$$

Jde-li jen o změny sečných vzdáleností, pak hodnota zlomku na pravé straně (2,5) je vypočtena v tabulce III resp. tabulce VI. Jedním násobením můžeme určit přírůstek poslední sečné vzdálenosti dx'. Metody bylo použito při výpočtu praktického případu. Zvolen byl tříčočkový objektiv [2], v jehož sestavě bylo provedeno celkem devět změn. Správnost výsledků získaných pomocí koeficientů byla ověřena trigonometrickým výpočtem. Všechny případy jsou zachyceny v tabulce VIII. Čísla nad jednotlivými sloupci udávají pořadí jednotlivých alternativ.

Pro větší názornost bude uvedeno řešení dvou případů, ostatní je možné snadno si ověřit.

V prvním případě byla provedena současně změna 3 a 5 poloměru. Určíme vliv jednotlivých změn na x'_k a příspěvky pak sečteme. Pro krajový paprsek dostaneme z tabulky III

$$\begin{array}{lcll}
i & = & 3 & 5 \\
\dfrac{\partial x'_6}{\partial c_i} & = & 0{,}568826- & 0{,}464485- \\
dc_i & = & 0{,}00303489- & 0{,}0012608+ \\
\dfrac{\partial x'_6}{\partial c_i}\, dc_i & = & 0{,}0017267+ & 0{,}0005856- \\
dx'_k & \doteq & 0{,}0011411+ & \\
dx'_k & = & 0{,}0011706+ & \text{(trigonometricky).}
\end{array}$$

V druhém případě byla měněna tloušťka d_4. Účinek této změny se projeví až na následující páté ploše. Opět použijeme hodnot z tabulky III. Na páté ploše máme

$$\begin{aligned}
\frac{\partial x'_6}{\partial d_4} &= 0{,}0844047- \\
\delta d_4 &= 0{,}01036- \\
dx'_k &= 0{,}0008744+ \\
dx'_k &= 0{,}000875+ \quad \text{(trigonometricky).}
\end{aligned}$$

Přesnost metody je docela dobrá; závisí jen na velikosti prováděných změn.

Při určování změn otvorové vady stačí, odečteme-li od sebe koeficienty $\frac{\partial x_k}{\partial a_i}$ pro krajový a paraxiální paprsek a po vynásobení diferenciálem změny da_i pak dostaneme přírůstek otvorové vady.

V případě provádění změn křivosti je vhodné vynásobit koeficient $\frac{\partial x'_k}{\partial c_i}$ veličinou $\left(-\frac{1}{r^2}\right)$, aby počtář mohl snadněji určit vliv změny dr_i.

Změnou otvorové vady určíme z rovnice (62), kterou napíšeme ve tvaru

$$\mathrm{d}(\Delta x') = \left(\frac{\partial x'_{mk}}{\partial a_i} - \frac{\partial x'_{ok}}{\partial a_i}\right) \mathrm{d}a_i \,, \tag{2,5}$$

kde index m se vztahuje ke krajovému paprsku (a_i je měněný parametr). Hodnotu výrazu v závorce na pravé straně (2,5) určíme tak, že odečteme příslušné veličiny z tabulky III a VI.

Při výpočtu změn ohniska použijeme vzorce

$$\mathrm{d}f'_0 = -f'^2_0 \frac{\partial \sigma'_k}{\partial a_i}, \tag{2,6}$$

protože $h_1 = 1$.

Tabulka VIII obsahuje změny sečných vzdáleností krajového paprsku, změny otvorové vady, změny polohy paraxiálního ohniska a změny odchylky od sinové podmínky. Výsledky jsou zde ověřeny trigonometrickým výpočtem.

Je výhodné při korigování sestavit veličiny tak jako v tabulce VII, protože pak můžeme snadno odhadnout, jak volit změnu, aby bylo dosaženo žádoucí korekce určené veličiny. V této tabulce nebyly uvedeny koeficienty pro změny indexu lomu, protože tento případ nebyl při výpočtech uvažován. Potřebné veličiny lze k této tabulce velmi snadno připojit.

V této tabulce (VII) jsou potřebné veličiny seřazeny tak, aby bylo možno korigovat jak otvorovou vadu, tak i sinovou podmínku. Koeficient $\frac{\partial x'}{\partial c_i}$ násobíme ještě hodnotou $\left(-\frac{1}{r_2^2}\right)$ na každé ploše, aby stanovení vlivu změn křivosti bylo názornější. Je výhodné sestavit tuto tabulku, chceme-li korigovat soustavu. Zde potřebujeme jen tři součiny a tři součty abychom určili korekční stav ihned po provedení změny parametru.

2,3. ZVLÁŠTNÍ ZPŮSOB POUŽITÍ METODY

Při studiu bylo konstatováno, že po sestavení rovnic můžeme postupovat opačně. Rovnice (62) upravíme na tvar

$$\mathrm{d}(\Delta x') = \left(\frac{\partial x'_{km}}{\partial a_i} - \frac{\partial x'_{ok}}{\partial a_i}\right) \mathrm{d}a_i \,. \tag{2,7}$$

Nyní chceme dosáhnout určité hodnoty otvorové vady, např. nulové. Původní sestava objektivu má otvorovou vadu $\Delta x' = A+$. Požadujeme-li $\Delta x' = 0$, položíme $d(\Delta x') = A-$ tak, aby byla splněna podmínka

$$\Delta x' + d(\Delta x') = 0 \tag{2,8}$$

nebo obecně

$$\Delta x' + d(\Delta x') = B\,, \tag{2,9}$$

kde B je požadovaná hodnota otvorové vady. Výraz v závorce na pravé straně rovnice (2,7) vyhledáme v tabulce VII.

Zůstává na vůli počtáře, kterou plochu si ke korigování zvolí. V našem případě byl učiněn pokus dosáhnout $\Delta x' = 0$ změnou d_4.

Řešíme-li rovnici (27) za uvedených předpokladů, dostaneme

$$0{,}002099+ = -\,0{,}0457874\delta d_4\,,$$

$$\delta d_4 = \quad 0{,}0453423-\,.$$

Při trigonometrickém výpočtu byla již dříve provedena změna $\delta d_4 = 0{,}04536-$ a byla získána hodnota $d(\Delta x') = 0{,}002072+$.

Abychom mohli určovat změny sinové podmínky, musíme odvodit potřebný vztah pro $d(\Delta f')$. V našem případě $x_1 = \infty$, proto odchylka od sinové podmínky je ve tvaru[2])

$$\Delta f' = \frac{h_1}{\sin\sigma_k'} - f_0'\,. \tag{2,10}$$

Pro její změnu v závislosti na koeficientu a

$$d(\Delta f') = \left(\frac{\partial f_\sigma'}{\partial\sigma_k'}\cdot\frac{\partial\sigma_k'}{\partial a_i} - \frac{\partial f_0'}{\partial a_i}\right) da_i\,, \tag{2,11}$$

kde

$$\frac{\partial f_\sigma'}{\partial\sigma_k'} = -\,f_\sigma' \operatorname{cotg}\sigma_k'\,, \tag{2,12}$$

takže (2,11) nabývá tvaru

$$d(\Delta f)' = -\left(f_\sigma' \operatorname{cotg}\sigma_k' \frac{\partial\sigma_k'}{\partial a_i} + \frac{\partial f_0}{\partial a_i}\right) da_i\,. \tag{2.13}$$

V případě sinové podmínky lze požadavky formulovat naprosto stejně jako u otvorové vady. Jde-li ovšem o současnou korekci obou vad, musíme změny volit podle velikosti koeficientů v tabulce VII. Jedním parametrem budeme upravovat např. otvorovou vadu a druhým sinovou podmínku, přitom musíme neustále sledovat chování obou vad.

---

[2]) Cruickshank určuje odchylku od sinové podmínky jiným způsobem.

2,4. ZÁVĚR

Velkou výhodou metody diferenciálních koeficientů je, že po provedení změny parametru nemusíme znovu provádět trigonometrický výpočet. Stačí nám jeden součin k tomu, abychom určili změnu veličiny, která nás zajímá. Při korigování lze postupovat i tak, že určujeme vhodnou velikost změn, aby bylo dosaženo požadované korekce. Ověření provedeme opět pomocí koeficientů a koeficientů používáme potud, pokud není dosaženo uspokojivého stavu. Přesné výsledky pak získáme z konečného trigonometrického výpočtu. To nám umožňuje získat z hrubého návrhu vykorigovanou soustavu. Výpočet koeficientů u krajového a paraxiálního paprsku si vyžádá maximálně tolik času jako trigonometrický výpočet. Odpadá jakékoliv hledání v tabulkách, které by mohlo být zdrojem chyb. Při výpočtu provádíme jen násobení a sečítání.

Metoda dává přesné výsledky, pokud jsou volené změny dostatečně malé. Při velkých změnách dostaneme méně přesný výsledek. Odchylka je zaviněna tím, že při odvození rovnice (26) byl v obr. 6 zanedbán malý úhel $\mathrm{d}\sigma'_k$ (místo $\sigma'_k + \mathrm{d}\sigma'_k$ jen σ'_k).

Další výhodou metody je i to, že je možno při korigování postupovat systematicky a je možno předem určit potřebnou velikost změny (viz odst. 2,3).

Při použití této metody může korigovat i optický konstruktér bez dlouholetých zkušeností. Autor metody F. D. CRUICKSHANK tvrdí, že při použití metody vyžadují výpočty asi čtvrtinu původní práce.

Z uvedeného je vidět, že metoda přechodových koeficientů je logickým dodatkem k trigonometrickým výpočtům a že značně usnadní práci optického konstruktéra.

Literatura

[1] *B. Nábělek:* Diferenciální přechodové koeficienty a jejich použití při korigování optických soustav I. Aplikace matematiky 5 (1960), No 3.

[2] *B. Havelka*: Geometrická optika II, str. 221.

Tabulka I

	1	2	3	4	5	6
N	1,0	1,66270	1,0	1,62080	1,0	1,62363
N'	1,62270	1,0	1,62080	1,0	1,62363	1,0
$n = N/N'$	0,616257	1,62270	0,616979	1,62080	0,615904	1,62363
d	0,045	0,04914	0,013	0,11036	0,025	
r	0,26391	7,06614−	0,68643−	0,26206	3,95977	0,49189−
$x(h_1)$	0,11111	0,618727	0,308577	0,753336	3,494466−	12,672243−
$x - r$		7,684867	0,995007	0,491276	7,454236−	12,180353−
$\sin \varepsilon$	0,4210147+	0,1862551−	0,4169932−	0,2278899+	0,0499749+	0,1817334−
$\sin \varepsilon'$	0,2594532+	0,3022362−	0,2572762−	0,3693639+	0,0307797+	0,2950678−
$\sin \sigma'$	0,1712593+	0,2876730+	0,1215627+	0,0265472−	0,0073391−	0,1092201+
$r(\sin \sigma' + \sin \varepsilon')$	0,1136693	0,1029056	0,0931578	0,0898385	0,09281938	0,0914166
x'	0,663727	0,357717	0,766336	3,384106−	12,647243−	0,836995
σ		9,861048+	16,718696	6,982300−	1,521222−	0,420504−
ε	24,898667+	10,734316−	24,644899−	13,172871+	2,864546+	10,470743−
$\sigma + \varepsilon$		0,873268−	7,926203−	20,155171+	1,343324+	10,891247−
$-\varepsilon$	15,037619−	17,591964+	14,908503+	21,676393−	1,763828−	17,161605+
σ'	9,861048	16,718696+	6,982300+	1,521222−	0,420504−	6,270358+
$x \sin \sigma$	0,11111	0,1059627	0,0887692	0,0915775	0,0927683	0,0930028
$\sin \sigma$		0,1712593+	0,2876730	0,1215627	0,0265472−	0,0073391−
$\cos \varepsilon$	0,9070538	0,9825013	0,9089096	0,9736869	0,9987504	0,9833479
$\cos \varepsilon'$	0,9657557	0,9532332	0,9663379	0,9292848	0,9995262	0,9554763
$\sin \sigma'$	0,1712593	0,2876730	0,1215627	0,0265472−	0,0073391−	0,1092201
$\cos \sigma'$	0,9852260	0,9577287	0,9925838	0,9996476	0,999730	0,9940176
$\mathrm{tg}\, \sigma'$	0,1738274	0,3003700	0,1224709	0,0265565	0,0073410	0,1098774
$1 - \cos(\sigma + \varepsilon)$	0,0929462	0,0001162	0,0095535	0,0612332	0,0002748	0,0180116
$\partial p'/\partial p$	1,0647171	0,9702106	1,0631837	0,9446957	1,0007767	0,9716564
$\partial \sigma'/\partial \sigma$	0,5787988	1,6725234	0,5803126	1,7156847	0,6154259	1,6709919
$1 - \partial \sigma'/\partial \sigma$	0,4212012	0,6725234−	0,4196874	0,7156847−	0,3845741	0,6709919−
$(1 - \partial \sigma'/\partial \sigma)/\cos \varepsilon$	0,4643618	0,6845012−	0,461799	0,7350254−	0,3850552	0,6823545−
$\partial \sigma'/\partial p$	1,0009738	0,0968706	0,6727546−	2,8047981−	0,0972418	1,3872095
$\partial \sigma'/\partial c$	0,0515952	0,0725316−	0,0409935	0,0673118−	0,0357209+	0,0634608−
$\partial \sigma'/\partial n$	0,4359432−	0,1953930	0,4315190	0,2452314	0,0499985−	0,1902018
a_i	0,0245294	0,0008211−	0,0065578−	0,0160467+	0,0010881+	0,0088597−
$d_i - a_i + a_{i+1}$	0,0196495	0,0434033	0,0351103	0,0954013	0,0150522	
d_i	0,0199441	0,0453189	0,0358705	0,0954349	0,0150562	

Tabulka II

$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$
25 $\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial\sigma_1'} = 21\,\dfrac{\partial\sigma_2'}{\partial\sigma_2} - 23'd_1$	21 $\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial\sigma_2'} = 17\,\dfrac{\partial\sigma_3'}{\partial\sigma_3} - 19'd_2$	17 $\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial\sigma_3'} = 13\,\dfrac{\partial\sigma_4'}{\partial\sigma_4} - 15'd_3$
26 $\dfrac{\partial p_6'}{\partial\sigma_1'} = 22\,\dfrac{\partial\sigma_2'}{\partial\sigma_2} - 24'd_1$	22 $\dfrac{\partial p_6'}{\partial\sigma_2'} = 18\,\dfrac{\partial\sigma_3'}{\partial\sigma_3} - 20'd_2$	18 $\dfrac{\partial p_6'}{\partial\sigma_3'} = 14\,\dfrac{\partial\sigma_4'}{\partial\sigma_4} - 16'd_3$
27 $\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial p_1} = 25\,\dfrac{\partial\sigma_1'}{\partial p_1} + 23\,\dfrac{\partial p_1'}{\partial p_1}$	23 $\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial p_2} = 21\,\dfrac{\partial\sigma_2'}{\partial p_2} + 19\,\dfrac{\partial p_2'}{\partial p_2}$	19 $\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial p_3} = 17\,\dfrac{\partial\sigma_3'}{\partial p_3} + 15\,\dfrac{\partial p_3'}{\partial p_3}$
28 $\dfrac{\partial p_6'}{\partial p_1} = 26\,\dfrac{\partial\sigma_1'}{\partial p_1} + 24\,\dfrac{\partial p_1'}{\partial p_1}$	24 $\dfrac{\partial p_6'}{\partial p_2} = 22\,\dfrac{\partial\sigma_2'}{\partial p_2} + 22\,\dfrac{\partial p_2'}{\partial p_2}$	20 $\dfrac{\partial p_6'}{\partial p_3} = 18\,\dfrac{\partial\sigma_3'}{\partial p_3} + 16\,\dfrac{\partial p_3'}{\partial p_3}$

(1) $$\frac{\partial\sigma_k'}{\partial\sigma_i'} = \frac{\partial\sigma_k'}{\partial\sigma_j'}\,\frac{\partial\sigma_j'}{\partial\sigma_j} - \frac{\partial\sigma_k'}{\partial p_j}\,'d_i$$

(2) $$\frac{\partial p_k'}{\partial\sigma_i'} = \frac{\partial p_k'}{\partial\sigma_j'}\,\frac{\partial\sigma_j'}{\partial\sigma_j} - \frac{\partial p_k'}{\partial p_j}\,'d_i$$

$k = 6$

$i = 4$	$i = 5$	$i = 6$
13 $\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial\sigma_4'} = 9\,\dfrac{\partial\sigma_5'}{\partial\sigma_5} - 11'd_4$	9 $\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial\sigma_5'} = 5\,\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial\sigma_6} - 7'd_5$	5 $\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial\sigma_6'} = 1$
14 $\dfrac{\partial p_6'}{\partial\sigma_4'} = 10\,\dfrac{\partial\sigma_5'}{\partial\sigma_5'} - 12'd_4$	10 $\dfrac{\partial p_6'}{\partial\sigma_5'} = 6\,\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial\sigma_6} - 8'd_5$	6 $\dfrac{\partial p'_6}{\partial\sigma_6'} = 0$
15 $\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial p_4} = 13\,\dfrac{\partial\sigma_4'}{\partial p_4} + 11\,\dfrac{\partial p_4'}{\partial p_4}$	11 $\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial p_5} = 9\,\dfrac{\partial\sigma_5'}{\partial p_5} + 7\,\dfrac{\partial p_5'}{\partial p_5}$	7 $\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial p_6} = \dfrac{1}{r_6\cos\varepsilon_6}\left(1 - n_6\,\dfrac{\cos\varepsilon_6}{\cos\varepsilon_6'}\right)$
16 $\dfrac{\partial p_6'}{\partial p_4} = 14\,\dfrac{\partial\sigma_4'}{\partial p_4} - 12\,\dfrac{\partial p_4'}{\partial p_4}$	12 $\dfrac{\partial p_6'}{\partial p_5} = 10\,\dfrac{\partial\sigma_5'}{\partial p_5} + 8\,\dfrac{\partial p_5'}{\partial p_5}$	8 $\dfrac{\partial p_6'}{\partial p_6} = \dfrac{\cos\varepsilon_6'}{\cos\varepsilon_6}$

(3) $$\frac{\partial\sigma_k'}{\partial p_i} = \frac{\partial\sigma_k'}{\partial\sigma_i'}\,\frac{\partial\sigma_i'}{\partial p_i} + \frac{\partial\sigma_k'}{\partial p_j}\,\frac{\partial p_i'}{\partial p_i}$$

(4) $$\frac{\partial p_k'}{\partial p_i} = \frac{\partial p_k'}{\partial\sigma_i'}\,\frac{\partial\sigma_i'}{\partial p_i} + \frac{\partial p_k'}{\partial p_j}\,\frac{\partial p_i'}{\partial p_i}$$

$j = i + 1$

Tabulka III

	1	2	3	4	5	6
$\partial\sigma_k'/\partial\sigma_j'$	1,672523	0,580313	1,715685	0,615426	1,670992	
$-\,'d_i$	0,019944—	0,045319—	0,035871—	0,095435—	0,015056—	
	1,634640	0,884131	1,488723	1,015517	1,670992	
	0,037914	0,093219	0,034818	0,147804—	0,020886—	
$\partial\sigma_k'/\partial\sigma_i'$	1,672554	0,977350	1,523541	0,867713	1,650106	1,0
	0,319144—	0,126256—	0,174433—	0,009003—		
	0,027197—	0,064560—	0,043132—	0,092666—		
$\partial p_k'/\partial\sigma_i'$	0,346341—	0,190816—	0,217565	0,101669	0,014629—	0,0
$\partial\sigma_i'/\partial p_i$	1,000974	0,096871	0,672755—	2,804798—	0,097242	1,387209
$\partial p_i'/\partial p_i$	1,064717	0,970211	1,063184	0,944695	1,000777	0,971656
	1,674183	0,094677	1,024969—	2,433761—	0,160459	
	2,024044—	1,995693—	1,031998—	1,463093	1,388287	
$\partial\sigma_k'/\partial p_i$	0,349861—	1,901016—	2,056967—	0,970668	1,548746	1,387209
	0,346678—	0,018485—	0,146151	0,285162	0,001422—	
	1,451906	1,382140	1,278426	0,917288	0,972411	
$\partial p_k'/\partial p_i$	1,105228	1,363655	1,424577	1,202450	0,970988	0,971656
$-\,s_k'\,\partial\sigma_k'/\partial\sigma_i'$	1,423251—	0,831671—	1,296449—	0,738376—	1,404149—	0,850945—
$c(\sigma_i')$	1,769592—	1,022487—	1,514014—	0,840045—	1,418778—	0,850849—
$\partial x_k'/\partial\sigma_i'$	16,218399—	9,371144—	13,876014—	7,669054—	13,003171—	7,798593—
$-\,s_k'\,\partial\sigma_k'/\partial p_i$	0,297712+	1,617660	1,750366	0,825985	1,317898—	1,180438—
$c(p_i)$	1,749618	2,981315	3,174943	2,028435	0,346910—	0,208782—
$\partial x_k'/\partial p_i$	16,035336	27,323901	29,098511	18,590708	3,179447—	1,913497—
$\partial\sigma_i'/\partial c_i$	0,051595	0,072532—	0,040994	0,067312—	0,035721	0,063461—
$\partial x_k'/\partial c_i$	0,836792—	0,679707	0,568833—	0,518237	0,464485—	0,494906
$\partial\sigma_i'/\partial n_i$	0,435943—	0,195393	0,431519	0,245231	0,049998—	0,190202
$\partial x_k'/\partial n_i$	7,070297	1,831056—	5,987764—	1,888047	0,650133	1,483308—
$\partial p_i/\partial d_i$		0,171259	0,287673—	0,121563—	0,026547	0,007339
$\partial x_k'/\partial d_i$		4,679464—	8,370856—	2,259942—	0,084405—	0,014043—
$\partial\sigma_k'/\partial c_i$	0,0862958	0,070888—	0,062455	0,058407—	0,058943	0,063461—
$\partial\sigma_k'/\partial n_i$	0,729138—	0,190967	0,657437	0,212791—	0,082503—	0,190202+
$\partial\sigma_k'/\partial d_i$		0,325566	0,591734	0,117996	0,041178	0,010809

Tabulka IV

	1	2	3	4	5	6
$x(h_1)$	1,0	0,642726+	0,333585	0,761262+	4,280035–	21,345258–
$x-r$		7,708866+	1,020015	0,499202+	8,239805–	20,853368–
ε	3,789171+	1,586328–	3,628553–	2,004088+	0,399687+	1,634685–
ε'	2,335103+	2,574134–	2,238741–	3,248226+	0,246169+	2,654123–
$\varepsilon-\varepsilon'$	1,454068+	0,987805+	1,389812–	1,244138	0,153518	1,019438
σ	0,0	1,454068+	2,441874–	1,052062+	0,192076–	0,038559–
σ'	1,454068+	2,441874+	1,052062+	0,192076–	0,038559–	0,980879+
$x'-r$	0,423816+	7,448865+	1,460692+	4,431735–	25,280028–	1,330984
r	0,26391+	7,06614–	0,68643–	0,26206	3,95977	0,49189–
x	0,687726+	0,382725+	0,774262+	4,169675	21,320258–	0,839094+
$x'-d$	0,642726	0,333585+	0,761262+	4,280035	21,345258–	$f'=1{,}019482$
$x'/x'-d$	1,070014	1,227637	1,248601	1,216406	1,214498	
h	1,0	0,934567	0,814578	0,800896	0,822094	0,823057

Tabulka VII

	1	2	3	4	5	6
$\dfrac{\partial\Delta x'}{\partial c_i}\left(-\dfrac{1}{r_i^2}\right)$	2,743004+	0,015506+	0,310333+	2,321971–	0,001685+	0,230699–
$\dfrac{\partial\Delta x'}{\partial d_i}$		1,121776–	14,553732–	0,400989–	0,0452760–	0,011046+
$\dfrac{\partial\Delta f'}{\partial c_i}\left(-\dfrac{1}{r_i^2}\right)$	0,901039–	0,011513+	0,303915+	2,559105–	0,001488+	0,876151+
$\dfrac{\partial\Delta f'}{\partial d_i}$		1,203072–	8,719362–	0,514698–	0,097045–	0,049267–
$\dfrac{\partial f_0'}{\partial c_i}\left(-\dfrac{1}{r_i^2}\right)$	**5,726449–**	0,001633+	0,922581–	9,443396+	0,033320–	3,304775+
$\dfrac{\partial f_0'}{d\partial_i}$		1,811196+	3,240765	0,577774+	0,283926+	0,050809+

Tabulka V

$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$	$i = 4$	$i = 5$	$i = 6$
21 $\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial\sigma_1'} = -19d_1 + n_2\,17$	17 $\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial\sigma_2'} = -15d_2 + n_3\,13$	13 $\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial\sigma_3'} = -11d_3 + n_4\,9$	9 $\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial\sigma_9'} = -7d_4 + n_5\,5$	5 $\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial\sigma_5'} = -3d_5 + n_6\,1$	1 $\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial\sigma_6'} = 1$
22 $\dfrac{\partial h_6}{\partial\sigma_1'} = -20d_1 + n_2\,18$	18 $\dfrac{\partial h_6}{\partial\sigma_2'} = -16d_2 + n_3\,14$	14 $\dfrac{\partial h_6}{\partial\sigma_3'} = -12d_3 + n_4\,10$	10 $\dfrac{\partial h_6}{\partial\sigma_4'} = -8d_4 + n_5\,6$	6 $\dfrac{\partial h_6}{\partial\sigma_5'} = -4d_5 + n_6\,2$	2 $\dfrac{\partial h_6}{\partial\sigma_6'} = 0$
23 $\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial h_1} = 21\,\dfrac{\partial\sigma_1'}{\partial h_1} + 19$	19 $\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial h_2} = 17\,\dfrac{\partial\sigma_2'}{\partial h_2} + 15$	15 $\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial h_3} = 13\,\dfrac{\partial\sigma_3'}{\partial h_3} + 11$	11 $\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial h_4} = 9\,\dfrac{\partial\sigma_4'}{\partial h_4} + 7$	7 $\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial h_5} = 5\,\dfrac{\partial\sigma_5'}{\partial h_5} + 3$	3 $\dfrac{\partial\sigma_6'}{\partial h_6} = \dfrac{1 - n_6}{r_6}$
24 $\dfrac{\partial h_6}{\partial h_1} = 22\,\dfrac{\partial\sigma_1'}{\partial h_1} + 20$	20 $\dfrac{\partial h_6}{\partial h_2} = 18\,\dfrac{\partial\sigma_2'}{\partial h_2} + 16$	16 $\dfrac{\partial h_6}{\partial h_4} = 14\,\dfrac{\partial\sigma_3'}{\partial h_3} + 12$	12 $\dfrac{\partial h_6}{\partial h_4} = 10\,\dfrac{\partial\sigma_4'}{\partial h_4} + 8$	8 $\dfrac{\partial h_6}{\partial h_5} = 6\,\dfrac{\partial\sigma_5'}{\partial h_5} + 4$	4 $\dfrac{\partial h_6}{\partial h_6} = 1$

$$\frac{\partial h_k}{\partial\sigma_i'} = \frac{\partial h_k}{\partial h_j}\,d_i + \frac{\partial h_k}{\partial\sigma_j} \qquad \frac{\partial h_k}{\partial h_i} = \frac{\partial h_k}{\partial\sigma_i'}\,\frac{\partial\sigma_i'}{\partial h_i'} + \frac{\partial h_k}{\partial h_j} \qquad \frac{\partial h_k}{\partial\sigma_i} = n_i\,\frac{\partial h_k}{\partial\sigma_i'}$$

$$\frac{\partial\sigma_k'}{\partial\sigma_i'} = -\frac{\partial\sigma_k'}{\partial h_j}\,d_i + \frac{\partial\sigma_k'}{\partial\sigma_j} \qquad \frac{\partial\sigma_k'}{\partial h_i} = \frac{\partial\sigma_k'}{\partial\sigma_i'}\,\frac{\partial\sigma_i'}{\partial h_i} + \frac{\partial\sigma_k'}{\partial h_j} \qquad \frac{\partial\sigma_{j\prime}}{\partial\sigma_i'} = n_i\,\frac{\partial\sigma_k'}{\partial\sigma_i'}$$

$k = 6$

Tabulka VI

	1	2	3	4	5	6
	0,053930	0,062748	0,006869	0,156959—	0,031696—	
	1,444935	0,827663	1,334608	0,980484	1,62363	
$\partial\sigma_{ok}'/\partial\sigma_{oi}'$	1,498865	0,890451	1,341477	0,823425	1,591944	1,0
	0,062744—	0,069940—	0,016767—	0,109651—		
	0,330186—	0,133539—	0,202679—	0,015397—		
$\partial h_k/\partial\sigma_{oi}'$	0,392930—	0,203479—	0,219446	0,125048—	0,025—	0,0
$\partial\sigma_{oi}'/\partial h_i$	1,454018+	0,088124+	0,557989—	2,368923—	0,096999	1,267824
	2,179378	0,078470	0,748530—	1,950636—	0,154418	
	1,198454—	1,276924—	0,528394—	1,422242	1,267824	
$\partial\sigma_{ok}'/\partial h_i$	0,980924	1,198454—	1,276924—	0,528394—	1,422242	1,267824
	0,571327—	0,017931—	0,122448	0,296228	0,002425—	
	1,394321	1,412251	1,289803	0,993575	1,0	
$\partial h_k/\partial h_i$	0,822893	1,394320	1,412251+	1,289803	0,993575	1,0
$-\,x_{ok}'\,\partial\sigma_{ok}'/\partial\sigma_{oi}'$	1,257688—	0,747172—	1,125625—	0,690931—	1,335792—	0,839094—
$C(\sigma_{oi}')$	1,650618—	0,940651—	1,328304—	0,815979—	1,360792—	0,839094—
$\partial x_{ok}'/\partial\sigma_{oi}'$	1,682757—	0,958986—	1,354197—	0,831886—	1,387318—	0,855449—
$-\,x_{ok}'\,\partial\sigma_{ok}'/\partial h_i$	0,823087—	1,005615+	1,071459+	0,443373+	1,193395—	1,063823—
$C(h_i)$	0,000094—	2,399935+	2,483710+	1,733176+	0,199819—	0,063823—
$\partial x_{ok}'/\partial h_i$	0,000096—	2,446714+	2,532122+	1,766962+	0,203715—	0,065067—
$\partial\sigma_{oi}'/\partial c_i$	0,383743+	0,088125—	0,3119986+	0,49796—	0,315763+	0,513283—
$\partial x_{ok}'/\partial c_i$	0,645746—	0,084511—	0,422507—	0,413611+	0,438064—	0,439087+
$\partial\sigma_{ok}'/\partial n_i$	3,789171—	1,586328+	3,628553+	2,004088—	0,399687—	1,634685+
$\partial x_{ok}'/\partial n_i$	6,376254+	1,521265—	4,913777—	1,667173+	0,554493+	1,398389—
$\partial h_j/\partial d_i$		1,454068—	2,441874+	1,052062—	0,192076+	0,038559+
$\partial x_{ok}'/\partial d_i$		3,557688	6,182878+	1,858953—	0,039128—	0,025089—
$\partial\sigma_{ok}'/\partial c_i$	0,575179+	0,078471—	0,4185389+	0,409404—	0,502677+	0,513283—
$\partial\sigma_{ok}'/\partial p_i$	3,716889+	1,823166+	4,633382—	1,058948+	0,568452—	2,072493+
$\partial\sigma_{ok}'/\partial d_i$		1,742634+	3,118087—	0,555903+	0,273178+	0,048886+

Tabulka VIII

Alternativa:	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Změna parametru $\mathrm{d}a_i$	$\mathrm{d}c_3 =$ 0,00303489– $\mathrm{d}c_5 =$ 0,0012608+	$\delta d_3 =$ 0,002+	$\mathrm{d}c_5 =$ 0,0001767+	$\mathrm{d}c_4 =$ 0,0131001– $\delta d_4 =$ 0,00036–	$\mathrm{d}c_5 =$ 0,0101896+	$\delta d_4 =$ 0,01036–	$\mathrm{d}c_5 =$ 0,0101896+ $\delta d_4 =$ 0,01036–	$\delta d_4 =$ 0,10036–	$\delta d_4 =$ 0,04536–
Změny sečných vzdáleností									
$\frac{\partial x'_{mk}}{\partial a_i}$	0,568833– 0,464485–	2,259942–	0,464485–	0,518237+ 0,0844047–	0,464485–	0,0844047–	0,464485– 0,0844047–	0,0844047	0,0844047–
$\frac{\partial x'_{ok}}{\partial a_i}$	0,422507– 0,438064–	1,858953–	0,438064–	0,4136106+ 0,0391287–	0,438064–	0,0391287–	0,438064– 0,0391287–	0,0391287–	0,0391287–
$\mathrm{d}x'_{mk}$	0,001141+	0,004519–	0,0000821–	0,006758–	0,004731–	0,000874+	0,00386–	0,000847+	0,003828+
$\mathrm{d}x'_{mk}$ (TRIG)	0,001171+	0,004366–	0,0000824–	0,006543–	0,004900–	0,000875+	0,00403–	0,000866+	0,00383+
$\mathrm{d}x'_{ok}$	0,000729+	0,003717–	0,0000774–	0,00526–	0,00446–	0,00405+	0,000414–	0,003927+	0,001775+
$\mathrm{d}x'_{ok}$ (TRIG)	0,000747+	0,003727–	0,000078–	0,00536–	0,00463–	0,00397+	0,0004232–	0,003959+	0,001760+
Změny otvorové vady									
$\frac{\partial(\Delta x')}{\partial a_i}$	0,146326– 0,026421–	0,400989–	0,026421–	0,104626+ 0,045276–	0,026421–	0,045276–	0,026421– 0,045276–	0,045276–	0,045276–
$\mathrm{d}(\Delta x')$	0,0004118+	0,000802–	0,00000467–	0,00135–	0,000269–	0,000469+	0,000200+	0,004544+	0,002054+
$\mathrm{d}(\Delta x')$(TRIG)	0,000423+	0,000769–	0,0000050–	0,00118–	0,000273–	0,000477+	0,000200+	0,004551+	0,002072+
Změny ohnisek									
$\frac{\partial f_\sigma'}{\partial a_i}$	0,578244– 0,545728–	1,092474–	0,545728–	0,540765+ 0,380972–	0,545728–	0,380972–	0,545728– 0,380972–	0,380972–	0,380972–
$\mathrm{d}f_\sigma'$	0,0010668+	0,002185–	0,0000964–	0,006947–	0,005561–	0,003947+	0,001614–	0,038234+	0,01728+
$\mathrm{d}f_\sigma'$ (TRIG)	0,001072+	0,002102–	0,000096–	0,006823–	0,005769	0,003957+	0,001835–	0,039492+	0,01739+
$\frac{\partial f_o'}{\partial a_i}$	0,435006– 0,522454–	0,577774–	0,522454–	0,425511+ 0,283926–	0,522454–	0,283926–	0,522454– 0,283926–	0,283926–	0,283926–
$\mathrm{d}f_o'$	0,000661+	0,001155–	0,0000923–	0,005472–	0,005323–	0,002942+	0,002382–	0,02849+	0,01287+
$\mathrm{d}f_o'$ (TRIG)	0,000662+	0,001153–	0,000093–	0,005429–	0,005518–	0,002950+	0,002585–	0,02932+	0,01307+
Změny odchylky od sinové podmínky									
$\frac{\partial \Delta f'}{\partial a_i}$	0,143238– 0,023274–	0,514700–	0,023274–	0,115254+ 0,097046–	0,023274–	0,097046–	0,023274– 0,097046–	0,097046–	0,097046–
$\mathrm{d}(\Delta f')$	0,000405–	0,001029–	0,0000037–	0,001475–	0,000237–	0,001005+	0,000748+	0,009739+	0,00441+
$\mathrm{d}(\Delta f')$(TRIG)	0,000410–	0,000948–	0,000003–	0,001393–	0,000251–	0,001008+	0,000751+	0,010172+	0,00432+

Резюме

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ПЕРЕХОДНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ КОРРЕКЦИИ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ II

БОГУМИЛ НАБЕЛЕК (Bohumil Nábělek)

Настоящая работа является продолжением первой части, посвященной только теории. Здесь намечен план составления вычислительных схем и способ произведения расчетов. Приводится формула для определения отклонения от синусоидального условия и показывается, каким образом можно достичь желаемого приращения обоих дефектов, с которыми встречаемся у осевого пучка лучей. Приведенные таблицы и примеры надо рассматривать как руководство для изучения и практических расчетов.

Zusammenfassung

DIFFERENTIAL-ÜBERGANGSKOEFFIZIENTEN UND IHRE ANWENDUNG FÜR DIE KORREKTUR OPTISCHER SYSTEME II

BOHUMIL NÁBĚLEK

Diese Arbeit ist eine Fortsetzung der ersten (früheren), in welcher wir uns nur mit der Theorie befasst haben. In dieser Arbeit wird der Entwurf von Rechenformularen und die Art der Berechnung angedeutet. Die Formel zur Bestimmung der Änderungen der Abweichungen von der Sinus-Bedingung wir angegeben und es wird gezeigt, wie man den geforderten Zuwachs beider Fehler, welche beim axialen Strahlenbündel auftreten, erreichen kann. Die beiliegenden Tafeln und Beispiele dienen als Anleitung beim Studium für das praktische Berechnen.