

POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

230331
(11) (B1)



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

(22) Přihlášeno 25 10 82
(21) (PV 7556-82)

(40) Zveřejněno 26 08 83

(45) Vydáno 15 10 86

(51) Int. Cl.³
H 01 S 3/101
G 01 B 9/02
G 01 J 9/02

(75)

Autor vynálezu

PETRŮ FRANTIŠEK ing. CSc., VESELÁ ZDENKA ing., BRNO

(54) Způsob a zařízení k detekci více fázově posunutých interferenčních signálů v laserovém interferometru

I

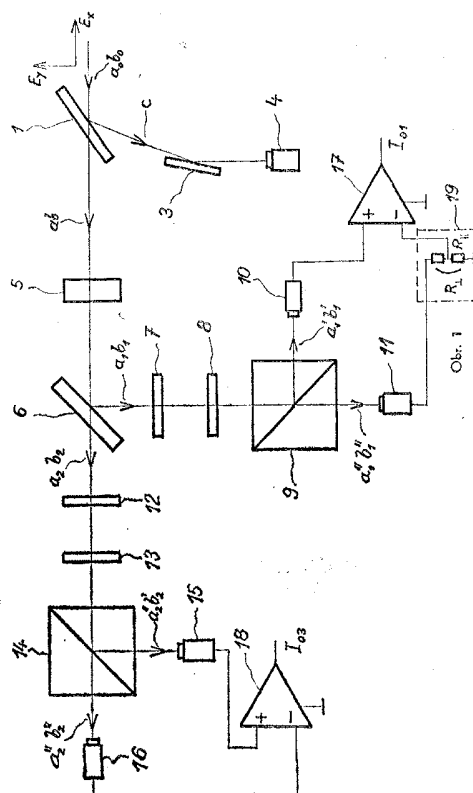
B

Vynález se týká laserových interferometrů.

Podstatou vynálezu je způsob detekce více fázově posunutých interferenčních signálů, kde na svazky světla z interferometru přiváděné k interferenci se postupně působí dělením intenzit, průchodem optickým prostředím s navzájem odlišnou rychlostí šíření světla ve dvou kolmých směrech a použitím polarizujícího průchodu, eventuálně odrazu svazků světla na optickém rozhraní, čímž se docílí změny polarizačního stavu dílčích svazků světla s požadovaným fázovým rozdílem, které po dopadu na detektory vytvářejí signály s fázovým posuvem

$$\frac{\pi}{2n}$$

Vynález je určen pro laserové interferometry.



Vynález se týká způsobu a zařízení k detekci signálů v laserovém interferometru. Laserový interferometr se obvykle skládá ze zdroje lineárně polarizovaného světla, z vlastního interferometru a detekční jednotky pro detekci interferenčních signálů.

Na výstupu z vlastního interferometru vzniká interferenční pole, jehož stav je závislý na dráhových rozdílech obou větví interferometru. Dopadem interferujících svazků paprsků na fotoelektrické detektory vznikají v detekční jednotce interferenční signály, které jsou zpracovávány dále ve výhodnocovací elektronice. Způsob detekce interferenčních signálů určuje do značné míry vlastnosti celého zařízení, tj. rozlišovací schopnost, stanovení směru pohybu, spolehlivost měření apod.

Nevýhodou dosavadních způsobů detekce je hlavně malá rozlišovací schopnost, nízké využití vstupující intenzity světla a přítomnost stejnosměrné složky u interferenčních signálů, která má značný podíl na nespolehlivosti zařízení.

Tyto dosavadní nevýhody odstraňuje způsob detekce více fázově posunutých interferenčních signálů, např. n párů signálů v kvadratuře, navzájem fázově posunutých o

úhel $\frac{\pi}{2n}$ z laserového interferometru s vysokým rozlišením a s eliminací stejnosměrné složky signálu, jehož podstatou je, že na svazky světla z vlastního interferometru, přiváděné k interferenci, se postupně působí dělením intenzit, průchodem optickým prostředím s navzájem odlišnou rychlostí šíření světla ve dvou kolmých směrech a použitím polarizujícího průchodu, event. odrazu svazků světla na optickém rozhraní, čímž se docílí změny polarizačního stavu dílčích svazků světla s požadovaným fázovým rozdílem, které po dopadu na detektory vytvářejí signály s fázovým posuvem $\frac{\pi}{2n}$.

Podstatou zařízení je, že obsahuje nejméně jeden, případně více kombinovaných optických členů, sestávajících ze sériově řazeného přibližně nepolarizujícího děliče a polarizujícího děliče, mezi kterými jsou vloženy dvojlomné optické elementy, například zpožďovací destičky, případně jsou tyto elementy umístěny před přibližně nepolarizujícím děličem. Jinou další podstatou kombinovaných optických členů je, že sestávají z nejméně jednoho sériově řazeného polarizačně asymetrického optického děliče a polarizujícího děliče, mezi kterými jsou vloženy dvojlomné elementy, například zpožďovací destičky, případně jsou tyto dvojlomné elementy umístěny před polarizačně asymetrickým optickým děličem.

Zařízení je doplněno v cestě ortogonálně lineárně polarizovaných svazků z vlastního interferometru přídatnou destičkou, případně opatřenou dielektrickou vrstvou.

Výstupy čtvrtého a pátého detektoru jsou

připojeny na vstup diferenčního zesilovače.

Výstupy druhého a třetího, čtvrtého a pátého detektoru jsou připojeny přes děliče na vstupy součtových a diferenčních zesilovačů.

Předností uvedeného způsobu detekce více fázově posunutých signálů, např. n párů signálů v kvadratuře navzájem fázově posunutých o úhel $\frac{\pi}{2n}$, je vysoké rozlišení,

plné využití intenzity vstupujícího světla a odstranění stejnosměrné složky u interferenčních signálů.

Vynález blíže objasní přiložený výkres, kde na obr. 1 je schematicky zobrazeno uspořádání detekční jednotky s dvěma páry signálů v kvadratuře, na obr. 2 se čtyřmi páry, na obr. 3 s jedním párem signálů v kvadratuře a jedním v protifázi fázově posunutých o $\frac{\pi}{4}$ a na obr. 4 je další varianta uspořádání podle obr. 2.

Princip způsobu detekce interferenčních signálů spočívá v rozdělení interferujících svazků na dílčí, na které se působí dvojlomnými optickými prvky, čímž se získají dílčí interferenční pole. Z každého dílčího interferenčního pole se vyberou vhodné kmitoměry, například pomocí polarizujících děličů a tyto svazky světla dopadají na fotoelektrické detektory. Získá se n dvojic signálů navzájem fázově posunutých o úhel

$\frac{\pi}{2n}$; přitom signály každé dvojice jsou v kvadratuře, tj. fázově posunuté o $\frac{\pi}{2}$. Po-

kud je detekční jednotka upravena pro detekci signálů v protifázi, lze při zvýšeném počtu detektorů odstranit stejnosměrnou složku použitím diferenčních zesilovačů. Odstranění stejnosměrné složky je v jiné variantě provedeno použitím vhodné kombinace součtu a rozdílu signálů.

Na vstupu detekční jednotky vyjádříme polarizované světlo sjednocených svazků Jonesovým vektorem:

$$\varepsilon_v = \begin{bmatrix} E_1 \\ \bar{E}_1 \end{bmatrix}$$

kde:

ε_v — Jonesův vektor vstupních sjednocených svazků,

E_1 — elektrický vektor referenčního svazku,

$\bar{E}_1$ — elektrický vektor měřícího svazku.

Pro jednu dvojici dílčích interferenčních polí, které se získají interferencí prvních dvou dílčích svazků a fázově posunutých druhých dvou dílčích svazků, za předpokladu

$$\bar{E}_1 = E_1 \cdot e^{i\varphi},$$

kde φ je fázový posuv mezi E_1 a $\bar{E}_1$, platí:

$$\xi_1 = \begin{bmatrix} A1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A2 \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} AN \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ \bar{E}_1 \end{bmatrix} = K_1 \cdot \begin{bmatrix} E_1(1 + e^{i\varphi}) \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\xi_2 = \begin{bmatrix} B1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B2 \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} BN \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ \bar{E}_1 \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{2} K_2 \begin{bmatrix} E_1(1 + e^{i\varphi}) + iE_1(1 - e^{i\varphi}) \\ 0 \end{bmatrix}$$

kde

$$\begin{bmatrix} A1 \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} AN \end{bmatrix}$$

jsou Jonesovy matice optických prvků v cestě prvního dílčího interferujícího svazku,

$$\begin{bmatrix} B1 \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} BN \end{bmatrix}$$

jsou Jonesovy matice optických prvků v cestě druhého dílčího interferujícího svazku,
 K_1, K_1', K_2, K_2' — konstanty.

Dále platí pro Jonesovy matice optických prvků:

$$\begin{bmatrix} A1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A2 \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} AN \end{bmatrix} = K_1 \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \text{ resp. } K_1' \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} B1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B2 \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} BN \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot K_2 \begin{bmatrix} (1+i) & (1-i) \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\text{resp. } K_2' \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ (1-i) & (1+i) \end{bmatrix}$$

Intenzity světla prvních dvou dílčích interferujících svazků jsou dány vztahy:

$$I_1 = \frac{1}{2} \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_1^* = \frac{1}{2} K_1^2 \cdot E_1^2 (1 + e^{i\varphi}) (1 + e^{-i\varphi}) = K_1^2 \cdot E_1^2 (1 \pm \cos \varphi)$$

$$I_2 = \frac{1}{2} \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_2^* = K_2^2 \cdot E_1^2 (1 \pm \sin \varphi)$$

Oba signály jsou tedy v kvadratuře, tj. mají vůči sobě fázový posuv 90° . Totéž platí i pro signály v protifázi, které mají znaménko —.

Pro další dvojici dílčích interferenčních polí, které se získají interferencí dvou dílčích svazků s fázovým posuvem o $\frac{\pi}{2n}$

vůči první dvojici dílčích svazků, kde n je počet dvojic signálů v kvadratuře, a za předpokladu

$$\bar{E}_1' = E_1 \cdot e^{i(\varphi + \frac{\pi}{2n})}$$

musí platit:

$$\varepsilon_3 = \begin{bmatrix} A1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A2 \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} AN \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ \bar{E}_1' \end{bmatrix} = K_3 \begin{bmatrix} E_1 \left[1 + e^{i(\varphi + \frac{\pi}{2n})} \right] \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\varepsilon_4 = \begin{bmatrix} B1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B2 \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} BN \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ \bar{E}_1' \end{bmatrix} =$$

$$= \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot K_4 \begin{bmatrix} E_1 \left[1 + e^{i(\varphi + \frac{\pi}{2n})} \right] + i E_1 \left[1 - e^{i(\varphi + \frac{\pi}{2n})} \right] \\ 0 \end{bmatrix}$$

a dále:

$$\begin{bmatrix} A1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A2 \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} AN \end{bmatrix} = K_3 \cdot \begin{bmatrix} 1 & e^{i(\frac{\pi}{2n})} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} B1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} B2 \end{bmatrix} \cdots \begin{bmatrix} BN \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot K_4 \begin{bmatrix} (1+i) & (1-i) \cdot e^{i(\frac{\pi}{2n})} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Intenzity světla těchto dílčích interferujících svazků světla jsou:

$$I_3 = \frac{1}{2} \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_3^* = \frac{1}{2} \cdot K_3^2 \cdot E_1^2 \cdot 2 \left[1 + \cos \left(\varphi + \frac{\pi}{2\alpha} \right) \right] = K_3^2 \cdot E_1^2 \left[1 + \cos \left(\varphi + \frac{\pi}{2\alpha} \right) \right]$$

$$I_4 = \frac{1}{2} \varepsilon_4 \cdot \varepsilon_4^* = K_4^2 \cdot E_1^2 \cdot \left[1 + \sin \left(\varphi + \frac{\pi}{2\alpha} \right) \right]$$

Přitom fázový posuv těchto interferenčních signálů je $\frac{\pi}{2\alpha}$ vůči první dvojici signálů.

Dvojice dílčích interferenčních polí se v detekční jednotce získají rozdělením svazku z interferometru na dílčí svazky a interferencí dílčích interferenčních svazků s různými formami polarizace. V dalším bude uvažována interference tří forem polarizace dílčích svazků:

1. interference kruhově polarizovaných svazků opačné orientace,
2. interference kruhově a lineárně polarizovaného svazku,
3. interference dvou lineárně polarizovaných svazků s přímým fázovým posuvem.

Nyní k jednotlivým případům:

1. Interference kruhově polarizovaných svazků opačné orientace

Budeme uvažovat dvě varianty, a to detekční jednotku se čtyřmi detektory a de-

tekční jednotku s osmi detektory. Přídavný první detektor 4 je využit na kontrolu přerušení svazku v interferometru. Uspořádání detekční jednotky se čtyřmi detektory je na obr. 1.

Jednotlivé optické elementy mají následující hodnoty:

rotátor 5: levotočivý, fázový posuv $\delta = 90^\circ$,
tedy otočení roviny kmitů $\alpha = 45^\circ$,
zpoždovací destičky:

	fázový posuv	azimut
první 7:	$\delta = 90^\circ$,	$\theta = 0^\circ$
druhá 8:	$\delta = 180^\circ$,	$\theta = 45^\circ$
třetí 12:	$\delta = 90^\circ$,	$\theta = 0^\circ$
čtvrtá 13:	$\delta = 180^\circ$,	$\theta = 67,5^\circ$

první přibližně nepolarizující dělič 6:

$$T_{//} = R_{\perp} \cdot T_{\perp} = R_{//} \cdot \delta_T \doteq \delta_R = 0$$

první a druhý polarizující dělič 9 a 14:

$$T_{//} > 0,99, T_{\perp} < 0,01, R_{//} < 0,01, R_{\perp} > 0,99$$

Pro druhý a třetí detektor 10, 11, na které dopadají svazky světla $a_1 b_1$ a $a_1' b_1'$,

když zanedbáme vliv přídavné destičky 1, platí:

$$\begin{bmatrix} A1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{i\frac{\pi}{4}} & 0 \\ 0 & e^{-i\frac{\pi}{4}} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \sqrt{R_{\perp}} e^{i\frac{\delta_R}{2}} & 0 \\ 0 & \sqrt{R_{//}} e^{-i\frac{\delta_R}{2}} \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{R_{//}}}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot e^{-i\frac{\pi}{4}} \cdot e^{-i\frac{\delta_R}{2}}$$

$$\begin{bmatrix} A1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{i\frac{\pi}{4}} & 0 \\ 0 & e^{i\frac{\pi}{4}} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \sqrt{R_{\perp}} e^{i\frac{\delta_R}{2}} & 0 \\ 0 & \sqrt{R_{//}} e^{-i\frac{\delta_R}{2}} \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{R_{\perp}}}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} e^{i\frac{\pi}{4}} \cdot e^{i\frac{\delta_R}{2}}$$

kde:

δ_R — fázový posuv způsobený prvním, přibližně nepolarizujícím děličem 6 při odrazu, jeho odraznost v rovině kolmé k rovině dopadu a

$R_{\parallel}$ — jeho odraznost v rovině dopadu. Pro vstupní sjednocené svazky platí:

$$\underline{\varepsilon}_V = E_1 \begin{bmatrix} 1 \\ e^{i\varphi} \end{bmatrix}$$

$$\underline{\varepsilon}_1 = \frac{E_1}{\sqrt{2}} e^{-i\frac{\pi}{4}} e^{-\frac{\delta_R}{2} \sqrt{R_{\parallel}}} \begin{bmatrix} 1+e^{i\varphi} \\ 0 \end{bmatrix} ; \quad \underline{\varepsilon}_1^* = \frac{E_1}{\sqrt{2}} \cdot e^{i\frac{\pi}{4}} \cdot e^{i\frac{\delta_R}{2} \sqrt{R_{\parallel}}} \begin{bmatrix} 1+e^{-i\varphi} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\underline{\varepsilon}'_1 = \frac{E_1}{\sqrt{2}} \cdot e^{i\frac{\pi}{4}} \cdot e^{-\frac{\delta_R}{2} \sqrt{R_{\perp}}} \begin{bmatrix} 0 \\ 1-e^{i\varphi} \end{bmatrix} ; \quad \underline{\varepsilon}'_1^* = \frac{E_1}{\sqrt{2}} \cdot e^{-i\frac{\pi}{4}} \cdot e^{-i\frac{\delta_R}{2} \sqrt{R_{\perp}}} \begin{bmatrix} 0 \\ 1-e^{-i\varphi} \end{bmatrix}$$

takže jejich intenzity jsou:

$$I_1 = \frac{1}{2} \underline{\varepsilon}_1 \underline{\varepsilon}_1^* = \frac{E_1^2}{2} \cdot R_{\parallel} (1 + \cos \varphi)$$

$$I'_1 = \frac{1}{2} \underline{\varepsilon}'_1 \underline{\varepsilon}'_1^* = \frac{E_1^2}{2} \cdot R_{\perp} (1 - \cos \varphi)$$

$$I_{O1} = I_1 - \frac{R_{\parallel}}{R_{\perp}} I'_1 = E_1^2 R_{\parallel} \cdot \cos \varphi$$

Dále na výstupu prvního diferenčního zesilovače 17, kde signál I_1 je přiveden přímo a signál I'_1 přes první odporový dělič 19 v poměru $\frac{R_{\parallel}}{R_{\perp}}$ (předpokládáme $R_{\perp} > R_{\parallel}$),

máme pro první výsledný signál:

Výsledný signál za prvním diferenčním zesilovačem 17 neobsahuje tedy stejnosměrnou složku.

Pro čtvrtý a pátý detektor 15 a 16, na které dopadají svazky světla $az'b_2$ a $az''b_2''$, platí:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} B1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B5 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_2 & S_2 \\ S_2 & -C_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{-i\frac{\pi}{4}} & 0 \\ 0 & e^{i\frac{\pi}{4}} \end{bmatrix} \\ &\begin{bmatrix} \sqrt{T_{\perp}} e^{i\frac{\delta_T}{2}} & 0 \\ 0 & \sqrt{T_{\parallel}} e^{-i\frac{\delta_T}{2}} \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \left[C_2 e^{-i\frac{\pi}{4}} \sqrt{T_{\perp}} e^{i\frac{\delta_T}{2}} + S_2 e^{i\frac{\pi}{4}} \sqrt{T_{\parallel}} e^{-i\frac{\delta_T}{2}} - C_2 e^{-i\frac{\pi}{4}} \sqrt{T_{\perp}} e^{i\frac{\delta_T}{2}} + S_2 e^{i\frac{\pi}{4}} \sqrt{T_{\parallel}} e^{-i\frac{\delta_T}{2}} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} B1 \\ B2 \\ B3 \\ B4 \\ B5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_2 & S_2 \\ S_2 & -C_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{-i\frac{\pi}{4}} & 0 \\ 0 & e^{i\frac{\pi}{4}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{T_{\perp}} e^{i\frac{\delta_T}{2}} & 0 \\ 0 & \sqrt{T_{\parallel}} e^{-i\frac{\delta_T}{2}} \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} S_2 e^{-i\frac{\pi}{4}} \sqrt{T_{\perp}} e^{i\frac{\delta_T}{2}} - C_2 e^{i\frac{\pi}{4}} \sqrt{T_{\parallel}} e^{-i\frac{\delta_T}{2}} - S_2 e^{-i\frac{\pi}{4}} \sqrt{T_{\perp}} e^{i\frac{\delta_T}{2}} - \\ - C_2 e^{i\frac{\pi}{4}} \sqrt{T_{\parallel}} e^{-i\frac{\delta_T}{2}} \end{bmatrix}$$

kde:

δ_T — fázový posuv způsobený prvním přibližně nepolarizujícím děličem při průchodu,

$T_{\perp}$ — jeho propustnost v rovině kolmé k rovině dopadu,

$T_{\parallel}$ — jeho propustnost v rovině dopadu,

$C_2 = \cos 2\theta$ } kde θ je azimutální úhel
 $S_2 = \sin 2\theta$ } $\lambda/2$ čtvrté lineární zpoždovací destičky 13.

Dále, předpokládáme-li:

$$C_2 = S_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}; \delta_T = 0,$$

dostaneme:

$$\xi_2 = \frac{E_1}{2} \begin{bmatrix} -e^{-i\frac{\pi}{4}} \sqrt{T_{\perp}} + e^{i\frac{\pi}{4}} \sqrt{T_{\parallel}} + e^{i\varphi} (e^{-i\frac{\pi}{4}} \sqrt{T_{\perp}} + e^{i\frac{\pi}{4}} \sqrt{T_{\parallel}}) \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\xi_2^* = \frac{E_1}{2} \begin{bmatrix} -e^{-i\frac{\pi}{4}} \sqrt{T_{\perp}} + e^{-i\frac{\pi}{4}} \sqrt{T_{\parallel}} + e^{-i\varphi} (e^{i\frac{\pi}{4}} \sqrt{T_{\perp}} + e^{-i\frac{\pi}{4}} \sqrt{T_{\parallel}}) \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\xi_2' = \frac{E_1}{2} \begin{bmatrix} e^{i\frac{\pi}{4}} \sqrt{T_{\perp}} + e^{i\frac{\pi}{4}} \sqrt{T_{\parallel}} - e^{i\varphi} (e^{-i\frac{\pi}{4}} \sqrt{T_{\perp}} - e^{i\frac{\pi}{4}} \sqrt{T_{\parallel}}) \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\xi_2'^* = \frac{E_1}{2} \begin{bmatrix} e^{i\frac{\pi}{4}} \sqrt{T_{\perp}} + e^{-i\frac{\pi}{4}} \sqrt{T_{\parallel}} - e^{-i\varphi} (e^{i\frac{\pi}{4}} \sqrt{T_{\perp}} - e^{-i\frac{\pi}{4}} \sqrt{T_{\parallel}}) \\ 0 \end{bmatrix}$$

takže intenzity jsou:

$$I_2' = \frac{1}{2} \varepsilon_2' \varepsilon_2^{*} = \frac{E_1^2}{4} \left[T_{\perp} + T_{\parallel} + (T_{\parallel} - T_{\perp}) \cos \varphi + 2\sqrt{T_{\perp} T_{\parallel}} \sin \varphi \right]$$

$$I_2 = \frac{1}{2} \varepsilon_2 \varepsilon_2^{*} = \frac{E_1^2}{4} \left[T_{\perp} + T_{\parallel} + (T_{\parallel} - T_{\perp}) \cos \varphi + 2\sqrt{T_{\perp} T_{\parallel}} \sin \varphi \right]$$

Při použití nedokonalých, to je přibližně nepolarizujících děličů

$$(T_{\perp} T_{\parallel})$$

obsahují signály I_2, I_2' určitou složku ve fázi a určitou v protifázi.

Převědeme-li signály I_2, I_2' na druhý diferenciální zesilovač 18, dostaneme pro třetí výsledný signál:

$$I_{O3} = I_2 - I_2' = E_1^2 \cdot \sqrt{T_{\parallel}} T_{\perp} \cdot \sin \varphi$$

Tedy výsledný signál za druhým diferenčním zesilovačem 18 neobsahuje stejnosměrnou složku a je přesně v kvadratuře vůči prvnímu signálu.

Rozlišovací schopnost detekční jednotky (a interferometru) lze dále zvýšit zpracováním elektrických signálů v dalších zesilovačích.

Předpokládejme, že máme dvojice signálů v kvadratuře, z nichž každá dvojice má kromě základního signálu ještě signál v protifázi, tedy:

$$s_1 = E_1^2 R_{\parallel} \cdot \cos \varphi;$$

$$s_1' = E_1^2 R_{\parallel} \cdot \cos \varphi;$$

$$s_2 = E_1^2 \cdot \sqrt{T_{\parallel} T_{\perp}} \cdot \sin \varphi; \quad s_2' = -E_1^2 \sqrt{T_{\parallel} T_{\perp}} \cdot \sin \varphi$$

Všechny signály přivedeme na stejnou amplitudu pomocí dalších zesilovačů:

$$\bar{s}_1 = k \cos \varphi;$$

$$\bar{s}_1' = k \cos \varphi;$$

$$\bar{s}_2 = k \sin \varphi;$$

$$\bar{s}_2' = k \sin \varphi;$$

Pro dva signály se stejnou amplitudou platí:

$$k \cos \varphi + k \sin \varphi = k \cdot \sqrt{2} \cdot \sin\left(\varphi + \frac{\pi}{4}\right) = k \cdot \sqrt{2} \cdot \cos\left(-\varphi + \frac{\pi}{4}\right)$$

$$k \cos \varphi - k \sin \varphi = k \cdot \sqrt{2} \cdot \sin\left(-\varphi + \frac{\pi}{4}\right) = k \cdot \sqrt{2} \cdot \cos\left(\varphi + \frac{\pi}{4}\right)$$

Přivedeme-li na další diferenční zesilovací stupeň vždy dva signály vhodné polarity, dostaneme na výstupu:

$$\begin{aligned} \bar{s}_2 &= k \cos \varphi - (+k \sin \varphi) = \\ &= k \cdot \sqrt{2} \cdot \cos\left(\varphi + \frac{\pi}{4}\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{s}_1 &= k \cos \varphi - (-k \sin \varphi) = \\ &= k \cdot \sqrt{2} \cdot \sin\left(\varphi + \frac{\pi}{4}\right) \end{aligned}$$

Tím jsme získali dva signály v kvadratuře s polovičním fázovým posuvem vůči původním.

Podobně lze získat další dělení fázových rozdílů zpracováním signálů $\bar{s}_1, \bar{s}_2, \bar{s}_1', \bar{s}_2', \bar{s}_3, \bar{s}_3', \bar{s}_4, \bar{s}_4'$, avšak před přivedením na další diferenční zesilovače je nutné upravit amplitudy všech signálů na stejnou úroveň.

$$\overline{s_5} = k \cdot \cos \varphi - \left[-k \cos \left(\varphi + \frac{\pi}{4} \right) \right] = 2 \cos \frac{\pi}{8} \cdot \cos \left(\varphi + \frac{\pi}{8} \right)$$

$$\overline{s_6} = k \cdot \sin \varphi - \left[-k \sin \left(\varphi + \frac{\pi}{4} \right) \right] = 2 \cos \frac{\pi}{8} \cdot \sin \left(\varphi + \frac{\pi}{8} \right)$$

Získali jsme tedy dva signály s polovičným fázovým rozdílem vůči signálům s_3 a s_4 .

V dělení fázových rozdílů by bylo možné pokračovat. Omezení počtu dělicích stupňů bude patrně dáno nepřesnostmi fázových úhlů signálů v kvadratuře, nepřesnostmi a kolísáním amplitud jednotlivých signálů apod.

Tedy pro vyšší rozlišovací schopnost zařízení bude potřeba použít optického dělení fázových úhlů, doplněného dělením elektronickým.

Uspořádání detekční jednotky s osmi detektory je na obr. 2.

Optické elementy mají tyto hodnoty:

Rotátor 5 má stejnou hodnotu jako u popisu obr. 1.

První, druhý a třetí, přibližně nepolarizující dělič 6, 21 a 31

$$T_{//} = R_{\perp}, \quad T_{\perp} = R_{//}, \quad \delta_T = \delta_R \doteq 0$$

Třetí, čtvrtý, pátý a šestý polarizující dělič 24, 29, 34 a 37

$$T_{//} > 0,99, \quad T_{\perp} < 0,01, \quad R_{//} < 0,01, \quad R_{\perp} > 0,99$$

pátá 20	: $\delta = 180^\circ$,	$\theta = 45^\circ$
šestá 22	: $\delta = 90^\circ$,	$\theta = 0^\circ$
sedmá 23	: $\delta = 180^\circ$,	$\theta = 11,25^\circ$
osmá 27	: $\delta = 90^\circ$,	$\theta = 0^\circ$
devátá 28	: $\delta = 180^\circ$,	$\theta = 0^\circ$
desátá 30	: $\delta = 180^\circ$,	$\theta = 45^\circ$
jedenáctá 32	: $\delta = 90^\circ$,	$\theta = 0^\circ$
dvanáctá 33	: $\delta = 180^\circ$,	$\theta = 67,5^\circ$
třináctá 35	: $\delta = 90^\circ$,	$\theta = 0^\circ$
čtrnáctá 36	: $\delta = 180^\circ$,	$\theta = 33,75^\circ$

Pro druhý a třetí detektor 10, 11, na které dopadají svazky světla $a_1'b_1'$ a $a_1''b_1''$,

když zanedbáme vliv přídatné destičky 1, platí:

$$\begin{bmatrix} A1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A2 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} A7 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{-i\frac{\pi}{4}} & 0 \\ 0 & e^{-i\frac{\pi}{4}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{T_{\perp}} e^{i\frac{\delta_T}{2}} & 0 \\ 0 & \sqrt{T_{//}} e^{-i\frac{\delta_T}{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{R_{\perp}} e^{i\frac{\delta_R}{2}} & 0 \\ 0 & \sqrt{R_{//}} e^{-i\frac{\delta_R}{2}} \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A1' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A2 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} A7 \end{bmatrix} = \dots \cdot k d e \begin{bmatrix} A1' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

a pro intenzity dostaneme:

$$I_1 = \frac{1}{2} \varepsilon_1 \varepsilon_1^* = \frac{E_1^2}{2} R_{\parallel} T_{\perp} (1 + \cos \varphi)$$

$$I_1' = \frac{1}{2} \varepsilon_1' \varepsilon_1'^* = \frac{E_1^2}{2} R_{\perp} T_{\parallel} (1 - \cos \varphi)$$

Přivedením signálu I_1 přímo a I_1' přes první odporový dělič 19 v poměru $\frac{R_{\parallel}}{R_{\perp}}$ na první diferenciální zesilovací stupeň 17 dostaneme pro první výsledný signál:

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} B1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B2 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} B7 \end{bmatrix} = \\ & \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{i\frac{\pi}{4}} & 0 \\ 0 & e^{-i\frac{\pi}{4}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{R_{\perp}} e^{i\frac{\delta}{2}} & 0 \\ 0 & \sqrt{R_{\parallel}} e^{-i\frac{\delta}{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{T_{\perp}} e^{i\frac{\delta_T}{2}} & 0 \\ 0 & \sqrt{T_{\parallel}} e^{-i\frac{\delta_T}{2}} \end{bmatrix} \\ & \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B1' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B2 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} B7 \end{bmatrix} = \dots, \text{ kde } \begin{bmatrix} B1' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$I_2 = \frac{E_1^2}{4} \left\{ R_{\perp} T_{\parallel} + R_{\parallel} T_{\perp} + \cos \varphi [R_{\perp} T_{\parallel} - R_{\parallel} T_{\perp}] + 2 \sqrt{R_{\parallel} R_{\perp} T_{\parallel} T_{\perp}} \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\delta_T - \delta_R) \right\}$$

$$I_2' = \frac{E_1^2}{4} \left\{ R_{\perp} T_{\parallel} + R_{\parallel} T_{\perp} + \cos \varphi [R_{\perp} T_{\parallel} - R_{\parallel} T_{\perp}] - 2 \sqrt{R_{\parallel} R_{\perp} T_{\parallel} T_{\perp}} \cdot \sin \varphi \cdot \cos(\delta_T - \delta_R) \right\}$$

Přivedením signálů I_2 , I_2' na druhý diferenciální zesilovací stupeň 18 dostaneme pro třetí výsledný signál:

$$I_{O3} = I_2 - I_2' = \frac{E_1^2}{2} \sqrt{R_{\parallel} R_{\perp} T_{\parallel} T_{\perp}} \cdot \cos(\delta_T - \delta_R) \cdot \sin \varphi$$

$$I_{O1} = I_1 - \frac{R_{\parallel} T_{\perp}}{R_{\perp} T_{\parallel}} \cdot I_1' = E_1^2 R_{\parallel} T_{\perp} \cdot \cos \varphi$$

Signál za prvním diferenciálním zesilovačem 17 neobsahuje stejnoměrnou složku.

Pro čtvrtý a pátý detektor 15, 16, na které dopadají svazky světla $a_5 b_5'$ a $a_5'' b_5''$, platí:

Pro šestý a sedmý detektor 25 a 26, na které dopadají svazky světla $a_3'b_3'$ a $a_3''b_3''$, platí:

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} A1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A2 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} A7 \end{bmatrix} = \\ & = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_2 & S_2 \\ S_2 & -C_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{i\frac{\pi}{4}} & 0 \\ 0 & e^{-i\frac{\pi}{4}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{R_1} e^{i\frac{\delta}{2}R} & 0 \\ 0 & \sqrt{R_{II}} e^{-i\frac{\delta}{2}R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \\ & \begin{bmatrix} \sqrt{R_1} e^{i\frac{\delta}{2}R} & 0 \\ 0 & \sqrt{R_{II}} e^{-i\frac{\delta}{2}R} \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A1' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A2 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} A7 \end{bmatrix} = \dots, \text{ kde } \begin{bmatrix} A1' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

takže intenzity světla jsou:

$$\begin{aligned} I_3 &= \frac{E_1^2 R_1 R_{II}}{2} \left[1 + (C_2^2 - S_2^2) \cos \varphi - 2 C_2 S_2 \sin \varphi \right] \\ I_3' &= \frac{E_1^2 R_1 R_{II}}{2} \left[1 - (C_2^2 - S_2^2) \cos \varphi + 2 C_2 S_2 \sin \varphi \right] \end{aligned}$$

Signály I_3 , I_3' jsou tedy v protifázi a jejich základní fázový posuv závisí na C_2 , S_2 . Volíme-li

$$C_2 = \sqrt{\frac{1+\sqrt{2}}{2\sqrt{2}}}; \quad S_2 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2}{1+\sqrt{2}}}; \quad \varphi = 11,25^\circ,$$

dostaneme:

$$\begin{aligned} I_3 &= \frac{E_1^2 R_1 R_{II}}{2} \left[1 + \frac{1}{\sqrt{2}} \cos \varphi - \frac{1}{\sqrt{2}} \sin \varphi \right] = \frac{E_1^2 R_1 R_{II}}{2} \left[1 + \cos \left(\varphi + \frac{\pi}{4} \right) \right] \\ I_3' &= \frac{E_1^2 R_1 R_{II}}{2} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \cos \varphi + \frac{1}{\sqrt{2}} \sin \varphi \right] = \frac{E_1^2 R_1 R_{II}}{2} \left[1 - \cos \left(\varphi + \frac{\pi}{4} \right) \right] \end{aligned}$$

Pro osmý a devátý detektor 38 a 39, na které dopadají svazky světla $a_6'b_6'$ a $a_6''b_6''$, platí:

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} B1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B2 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} B7 \end{bmatrix} = \\ & = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_2 & S_2 \\ S_2 & -C_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{i\frac{\pi}{4}} & 0 \\ 0 & e^{-i\frac{\pi}{4}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{T_1} e^{i\frac{\delta}{2}T} & 0 \\ 0 & \sqrt{T_{II}} e^{-i\frac{\delta}{2}T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \\ & \begin{bmatrix} \sqrt{T_1} e^{i\frac{\delta}{2}T} & 0 \\ 0 & \sqrt{T_{II}} e^{-i\frac{\delta}{2}T} \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B1' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B2 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} B7 \end{bmatrix} = \dots, \text{ kde } \begin{bmatrix} B1' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Další postup je stejný jako u šestého a sedmého detektoru 25 a 26. Ve výrazech pro

intenzity je nutné dosadit $T, T_{\parallel}$ místo $R, R_{\parallel}$. Dosazením

$$C_2 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2}{1+\sqrt{2}}}; \quad S_2 = \sqrt{\frac{1+\sqrt{2}}{2\sqrt{2}}}; \quad \theta = 33,75^\circ$$

dostaneme pro intenzity světla:

$$\begin{aligned} I_4 &= \frac{E_1^2}{2} T_{\perp} T_{\parallel} \left[1 + \cos \left(\varphi + \frac{3\pi}{4} \right) \right] \\ I_4' &= \frac{E_1^2}{2} T_{\perp} T_{\parallel} \left[1 - \cos \left(\varphi + \frac{3\pi}{4} \right) \right] \end{aligned}$$

Stejnoseměrná složka signálů ze šestého a sedmého detektoru 25, 26 je odstraněna pomocí třetího diferenčního zesilovače 40 a z osmého a devátého detektoru 38 a 39 pomocí čtvrtého diferenčního zesilovače 41, na jejichž výstupu dostaneme druhý a čtvrtý výsledný signál I_{02} a I_{04} .

2. Interference dvou svazků, z nichž jeden je lineárně a druhý kruhově nebo elipticky polarizován

Tento typ interference poskytuje interferenční pole, jež pro dvě kolmé polarizace, vybrané polarizačním děličem, dává dva signály v kvadratuře. Vůči předchozímu způsobu můžeme tedy získat dvakrát jemnější dělení fázového úhlu pro stejný počet detektorů. Uspořádání detekční jednotky tohoto typu se čtyřmi detektory pro detekci signálů je znázorněno na obr. 3.

Optické elementy mají následující hodnoty:

rotátor 5 jako ekvivalent popsany k obr. 1, polarizačně asymetrický dělič 42:

$$T_{\perp} = R_{\parallel} \doteq 0,12, \quad T_{\parallel} = R_{\perp} \doteq 0,83, \quad R_{\parallel} = (3 + 2\sqrt{2}) R_{\perp}$$

zpožďovací destičky následujících vztahových značek:

patnáctá 43

$$\delta = 180^\circ,$$

$$\theta = 45^\circ$$

šestnáctá 44

$$\delta = 180^\circ,$$

$$\theta = \frac{1}{2} \arctg \left(-\frac{\sqrt{R_{\parallel}}}{R_{\perp}} \right)$$

sedmnáctá 45

$$\delta = 90^\circ,$$

$$\theta = 45^\circ$$

osmnáctá 46

$$\delta = 180^\circ,$$

$$\theta = 0^\circ$$

devatenáctá 47

$$\delta = 180^\circ,$$

$$\theta = 45^\circ$$

Pro šestý a devátý detektor 25 a 39, na které dopadají svazky světla $a_1 b_1$ a $a_1' b_1'$,

když zanedbáme vliv přídavné destičky 1, platí:

$$\begin{bmatrix} A1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A2 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} A6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & i \\ i & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_2 & S_2 \\ S_2 & -C_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{R_{\perp}} e^{i \frac{\delta}{2}} & 0 \\ 0 & \sqrt{R_{\parallel}} e^{-i \frac{\delta}{2}} \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B2 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} B6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & i \\ i & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_2 & S_2 \\ S_2 & -C_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \sqrt{R_{\perp}} e^{i \frac{\delta}{2}} & 0 \\ 0 & \sqrt{R_{\parallel}} e^{-i \frac{\delta}{2}} \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Jestliže si stanovíme podmínku

$$S_2 = \frac{k_1}{k_2} C_2, \quad \delta_R \doteq 0$$

kde pro k_1, k_2 platí:

$$k_1 = \sqrt{R_{//}}; \quad k_2 = \sqrt{R_{\perp}}.$$

dostaneme:

$$\begin{aligned} \xi_1 &= \frac{E_1 C_2}{2} \left[-i \left(\frac{k_1^2}{k_2} + k_2 \right) + e^{i\varphi} \left[2k_1 - i \left(\frac{k_1^2}{k_2} - k_2 \right) \right] \right] \\ \xi_1^* &= \frac{E_1 C_2}{2} \left[i \left(\frac{k_1^2}{k_2} + k_2 \right) + e^{-i\varphi} \left[2k_1 + i \left(\frac{k_1^2}{k_2} - k_2 \right) \right] \right] \end{aligned}$$

a pro intenzity

$$\begin{aligned} I_1 &= E_1^2 \frac{R_{//} + R_{\perp}}{4} \left[1 + \cos \left(\varphi + \frac{\pi}{4} \right) \right] \\ I_2 &= E_1^2 \frac{R_{//} + R_{\perp}}{4} \left[1 + \sin \left(\varphi + \frac{\pi}{4} \right) \right] \end{aligned}$$

kde musí polarizačně asymetrický dělič 42 splňovat podmínky:

$$K_1 = (1 + \sqrt{2}) K_2, \quad R_{//} = (3 + 2\sqrt{2}) R_{\perp}; \quad R_{//} = T_{\perp}; \quad R_{\perp} = T_{//}$$

Pro druhý a třetí detektor 10 a 11 platí:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} A1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A2 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} A5 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \frac{\delta}{2} & i \sin \frac{\delta}{2} \\ i \sin \frac{\delta}{2} & \cos \frac{\delta}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \sqrt{T_{\perp}} e^{i \frac{\delta}{2}} & 0 \\ 0 & \sqrt{T_{//}} e^{-i \frac{\delta}{2}} \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A1' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A2 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} A5 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \dots \end{aligned}$$

Pro případ $\delta = \pi$ dostaneme:

$$\begin{aligned} I_3' &= \frac{E_1^2}{2} T_{\perp} (1 - \cos \varphi) \\ I_3 &= \frac{E_1^2}{2} T_{//} (1 + \cos \varphi) \end{aligned}$$

Pro eliminaci stejnosměrné složky všech signálů uvážíme, že máme k dispozici signály:

$$\begin{aligned} I_3 &= \frac{T_{//}}{2} (1 + \cos \varphi) \cdot E_1^2 \\ I_3' &= \frac{T_{\perp}}{2} (1 - \cos \varphi) \cdot E_1^2 \\ I_1 &= \frac{R_{//} + R_{\perp}}{4} \left[1 + \cos \left(\varphi + \frac{\pi}{4} \right) \right] \cdot E_1^2 \\ I_2 &= \frac{R_{//} + R_{\perp}}{4} \left[1 + \sin \left(\varphi + \frac{\pi}{4} \right) \right] \cdot E_1^2 \end{aligned}$$

$$\text{Kde } T_{//} = R_{\perp} > R_{//}; \quad T_{\perp} = R_{//}; \quad T_{//} > T_{\perp}$$

Podělením signálu I_3 druhým odporovým děličem 54 v poměru

$$\frac{T_L}{T_{II}} = \frac{R_{II}}{R_L}$$

a odečtením signálu I_3' v pátém diferenčním zesilovači 48 dostaneme:

$$\frac{T_L}{T_{II}} I_3 - I_3' = E_1^2 \cdot T_L \cos \varphi$$

Předpokládáme, že stejnosměrná složka se mění stejně u všech signálů a můžeme tedy napsat:

$$\begin{aligned} \bar{I}_3 &= \frac{T_L}{2} (1 + \bar{k}_1 \cos \varphi) \cdot E_1^2 \\ I_3' &= \frac{T_L}{2} (1 - \bar{k}_1 \cos \varphi) \cdot E_1^2 \\ \bar{I}_1 &= \frac{R_{II} + R_L}{4} \left[1 + \bar{k}_2 \cos \left(\varphi + \frac{\pi}{4} \right) \right] \cdot E_1^2 \\ \bar{I}_2 &= \frac{R_{II} + R_L}{4} \left[1 + \bar{k}_2 \cos \left(\varphi - \frac{\pi}{4} \right) \right] \cdot E_1^2 \end{aligned}$$

$$I_{02} = \bar{I}_1 - A_3 \cdot E_1^2 \cdot T_L = \bar{k}_2 \frac{R_{II} R_L}{4} \cos \left(\varphi + \frac{\pi}{4} \right)$$

Podobně odečtením signálu $\bar{I}_2$ od hodnoty $A_3 E_1^2 T_L$ v sedmém diferenčním zesilovači 52 obdržíme čtvrtý výsledný signál I_{04} :

$$I_{04} = -\bar{I}_2 + A_3 E_1^2 T_L = \bar{k}_2 \frac{R_{II} R_L}{4} \cos \left(\varphi + \frac{3\pi}{4} \right)$$

Dále odečtením výsledných signálů I_{02} a I_{04} v osmém diferenčním zesilovači 53 dostaneme třetí výsledný signál I_{03} :

$$I_{03} = \bar{I}_1 - A_3 E_1^2 T_L - (-\bar{I}_2 + A_3 E_1^2 T_L) = \bar{k}_2 \frac{R_{II} R_L}{4} \sqrt{2} \cos \left(\varphi + \frac{\pi}{2} \right)$$

Dále sečtením $\bar{I}_3$ a $\bar{I}_3'$ v součtovém zesilovači 49

$$\bar{I}_3 + \bar{I}_3' = \frac{T_L}{2} \cdot 2 = E_1^2 \cdot T_L$$

a dále zesílením v poměru

$$A_3 = \frac{R_{II} + R_L}{4 T_L}$$

v operačním zesilovači 50 a odečtením od signálu $\bar{I}_1$ v šestém diferenčním zesilovači 51 dostaneme druhý výsledný signál I_{02} :

Dostaneme tedy výsledné signály:

$$I_{01}(\varphi+0) = \bar{I}_3 \frac{T_L}{T} - \bar{I}_3' = T_L \cdot k_1 \cdot \cos \varphi$$

$$I_{02}(\varphi + \frac{\pi}{4}) = \bar{I}_1 - A_3 T_L \cdot E_1^2 = k_2 \frac{R_{//} R_{\perp}}{4} \cdot \cos(\varphi + \frac{\pi}{4})$$

$$I_{03}(\varphi + \frac{\pi}{2}) = \bar{I}_1 - A_3 E_1^2 T_L - (\bar{I}_2 - A_3 E_1^2 T_L) = \sqrt{2} \cdot \bar{k}_2 \frac{R_{//} R_{\perp}}{4} \cdot \cos(\varphi + \frac{\pi}{2})$$

$$I_{04}(\varphi + \frac{3\pi}{4}) = -\bar{I}_2 + A_3 E_1^2 T_L = k_2 \frac{R_{//} R_{\perp}}{4} \cdot \cos(\varphi + \frac{3\pi}{4})$$

Výsledné signály jsou bez stejnosměrné složky a jsou navzájem posunuty o $\frac{\pi}{4}$.

Jeden ze signálů je vytvořen elektronicky skládáním: $\cos(\varphi + \frac{\pi}{2})$.

3. Interference dvou svazků světla s přímým fázovým posuvem

Jako příklad uvedeme detekční jednotku s osmi detektory pro detekci signálů. Schéma uspořádání je shodné s obr. 2, je však použito jiných hodnot u části prvků polarizační optiky, přičemž vliv přidavné destičky 1 zanedbáváme:

místo zpožďovacích destiček šesté 22 a sedmé 23 je použita

dvacátá 55 : $\delta = 45^\circ$, $\theta = 45^\circ$
dvacátá první 56 : $\delta = 180^\circ$, $\theta = 0^\circ$

a místo zpožďovacích destiček třinácté 35 a čtrnácté 36 je použita

dvacátá druhá 57 : $\delta = 45^\circ$, $\theta = 45^\circ$
dvacátá třetí 58 : $\delta = 180^\circ$, $\theta = 45^\circ$

Ostatní optické členy detekční jednotky jsou stejné jako u prvního typu detekční jednotky (obr. 2).

Pro druhý a třetí detektor 10 a 11 platí:

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} A1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A2 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} A7 \end{bmatrix} = \\ & = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{i\frac{\pi}{4}} & 0 \\ 0 & e^{-i\frac{\pi}{4}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{T_L} e^{i\frac{\delta}{2}T} & 0 \\ 0 & \sqrt{T_{//}} e^{-i\frac{\delta}{2}T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \\ & \begin{bmatrix} \sqrt{R_L} e^{i\frac{\delta}{2}R} & 0 \\ 0 & \sqrt{R_{//}} e^{-i\frac{\delta}{2}R} \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} A1' \\ A2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A2 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} A7 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{i\frac{\pi}{4}} & 0 \\ 0 & e^{-i\frac{\pi}{4}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{T_L} e^{i\frac{\delta_T}{2}} & 0 \\ 0 & \sqrt{T_R} e^{-i\frac{\delta_T}{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \sqrt{R_L} e^{i\frac{\delta_R}{2}} & 0 \\ 0 & \sqrt{R_R} e^{-i\frac{\delta_R}{2}} \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$I_1 = \frac{E_1^2}{2} R_R T_L \cdot (1 + k_1 \cos \varphi)$$

$$I_1' = \frac{E_1^2}{2} R_L T_R \cdot (1 - k_1 \cos \varphi)$$

Pro čtvrtý a pátý detektor 15 a 16 máme:

$$\begin{bmatrix} B1 \\ B2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B2 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} B7 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{i\frac{\pi}{4}} & 0 \\ 0 & e^{-i\frac{\pi}{4}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{R_L} e^{i\frac{\delta_R}{2}} & 0 \\ 0 & \sqrt{R_R} e^{-i\frac{\delta_R}{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \sqrt{T_L} e^{i\frac{\delta_T}{2}} & 0 \\ 0 & \sqrt{T_R} e^{-i\frac{\delta_T}{2}} \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B1' \\ B2 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} B7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \dots$$

$$I_2 = \frac{E_2^2}{4} \left\{ R_L T_R + R_R T_L + \cos \varphi \left[R_L T_R - R_R T_L \right] + 2 \sqrt{R_R T_L T_R} \cdot \sin \varphi \cdot \cos (\delta_T - \delta_R) \right\}$$

$$I_2' = \frac{E_2^2}{4} \left\{ R_L T_R + R_R T_L + \cos \varphi \left[R_L T_R - R_R T_L \right] - 2 \sqrt{R_R T_L T_R} \cdot \sin \varphi \cdot \cos (\delta_T - \delta_R) \right\}$$

Pro šestý a sedmý detektor 25 a 26 platí:

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} A1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A2 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} A7 \end{bmatrix} = \\ & = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_2 & S_2 \\ S_2 & -C_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \frac{\pi}{8} & -i \sin \frac{\pi}{8} \\ -i \sin \frac{\pi}{8} & \cos \frac{\pi}{8} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{R_1} e^{i \frac{\delta}{2} R} & 0 \\ 0 & \sqrt{R_{II}} e^{-i \frac{\delta}{2} R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \\ & \begin{bmatrix} \sqrt{R_1} e^{i \frac{\delta}{2} R} & 0 \\ 0 & \sqrt{R_{II}} e^{-i \frac{\delta}{2} R} \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A1' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A2 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} A7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \dots \end{aligned}$$

Pro hodnoty $C_2 = 1$, $S_2 = 0$ dostaneme:

$$\begin{aligned} I_3 &= \frac{E_1^2}{2} R_1 R_{II} \left[1 + \cos \left(\varphi + \frac{\pi}{4} \right) \right] \\ I_3' &= \frac{E_1^2}{2} R_1 R_{II} \left[1 - \cos \left(\varphi + \frac{\pi}{4} \right) \right] \end{aligned}$$

Pro osmý a devátý detektor 38 a 39 máme:

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} B1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B2 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} B7 \end{bmatrix} = \\ & = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_2 & S_2 \\ S_2 & -C_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \frac{\pi}{8} & -i \sin \frac{\pi}{8} \\ -i \sin \frac{\pi}{8} & \cos \frac{\pi}{8} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{T_1} e^{i \frac{\delta}{2} T} & 0 \\ 0 & \sqrt{T_{II}} e^{-i \frac{\delta}{2} T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \\ & \begin{bmatrix} \sqrt{T_1} e^{i \frac{\delta}{2} T} & 0 \\ 0 & \sqrt{T_{II}} e^{-i \frac{\delta}{2} T} \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B1' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B2 \end{bmatrix} \dots \begin{bmatrix} B7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \dots \end{aligned}$$

Dále pro hodnoty $C_2 = 0$, $S_2 = 1$ dostaneme:

$$\begin{aligned} I_4 &= \frac{E_1^2}{2} T_1 T_{II} \left\{ 1 + \cos \left(\varphi + \frac{3\pi}{4} \right) \right\} \\ I_4' &= \frac{E_1^2}{2} T_1 T_{II} \left\{ 1 - \cos \left(\varphi + \frac{3\pi}{4} \right) \right\} \end{aligned}$$

Eliminace stejnosměrné složky je stejná jako v prvním případě.

Příklady provedení zařízení k detekci interferenčních signálů, používajících uvedeného způsobu detekce n párů signálů v kvadratuře navzájem fázově posunutých o úhel $\frac{\pi}{2n}$ v laserovém interferometru pro různé formy polarizace světla dílčích interferujících svazků, jsou na obrázcích.

Obr. 1 představuje případ, kde ortogonálně lineárně polarizované svazky světla jsou převedeny na protiběžné kruhově polarizované a detekce interferenčních signálů je provedena pomocí dvou párů detektorů. Předpokládáme pravoúhlý souřadný systém x, y, z , kde osa z je osou šíření svazku a roviny kmitů měřicího svazku a a referenčního svazku b spadají od os x , resp. y . Do cesty sjednoceného svazku z vlastního interferometru ab je nejprve vložena přídavná destička 1 pod Brewsterovým úhlem pro jednu polarizaci, odražený svazek c druhé polarizace se odráží od zrcadla 3 a dopadá na první detektor 4. V cestě procházejícího sjednoceného svazku ab je umístěn rotátor 5 před dopadem na první přibližně nepolarizující dělič 6. Odražený svazek $a'b'$ prochází nejprve první lineární $\lambda/4$ zpožďovací destičkou 7, pak druhou lineární $\lambda/2$ zpožďovací destičkou 8 a na prvním polarizující-

cím děliči 9 se dělí na odražený svazek $a_1'b_1'$, dopadající na druhý detektor 10, a na procházející svazek $a_1'b_1$ dopadající na třetí detektor 11. Svazek a_2b_2 procházející prvním přibližně nepolarizujícím děličem 6 prochází nejprve třetí lineární $\lambda/4$ zpožďovací destičkou 12, pak čtvrtou lineární $\lambda/2$ zpožďovací destičkou 13 a na druhém polarizujícím děliči 14 se dělí na odražený svazek $a_2'b_2'$ dopadající na čtvrtý detektor 15 a na procházející svazek $a_2'b_2$ dopadající na pátý detektor 16. Elektrický signál z druhého detektoru 10 přichází na první diferenční zesilovač 17, stejně jako signál z třetího detektoru 11 přes první odporový dělič 19. Signály ze čtvrtého detektoru 15 a pátého detektoru 16 přicházejí na druhý diferenční zesilovač 18.

Obr. 2 je obdobný případ, avšak s dvojnásobným počtem párů detektorů. Do cesty sjednoceného svazku z interferometru a_1b_1 je nejprve vložena přídavná destička 1 s dielektrickou vrstvou 2, která odráží svazek c na první detektor 4. V cestě procházejícího sjednoceného svazku ab je umístěn rotátor 5, kterým sjednocený svazek ab prochází před dopadem na první přibližně nepolarizující dělič 6. Odražený svazek a_1b_1 prochází nejprve pátou lineární $\lambda/2$ zpožďovací destičkou 20 a pak dopadá na druhý přibližně nepolarizující dělič 21, kde se dělí na odražený svazek a_3b_3 a procházející svazek a_3b_4 . Svazek a_3b_3 prochází nejprve šestou lineární $\lambda/4$ zpožďovací destičkou 22, pak sedmou lineární $\lambda/2$ zpožďovací destičkou 23 a na třetím polarizujícím děliči 24 se dělí na procházející svazek $a_5'b_3'$, dopadající na šestý detektor 25 a na odražený svazek $a_5'b_3$ dopadající na sedmý detektor 26. Svazek a_3b_4 prochází nejprve osmou lineární $\lambda/4$ zpožďovací destičkou 27, pak devátou lineární $\lambda/2$ zpožďovací destičkou 28 a na čtvrtém polarizujícím děliči 29 se dělí na odražený svazek $a_4'b_4'$ dopadající na druhý detektor 10 a na procházející svazek $a_4'b_4$ dopadající na třetí detektor 11. Svazek a_2b_2 procházející prvním přibližně nepolarizujícím děličem 6 prochází nejprve desátou lineární $\lambda/2$ zpožďovací destičkou 30 a pak dopadá na třetí přibližně nepolarizující dělič 31, kde se dělí na odražený svazek a_6b_5 a procházející svazek a_6b_6 . Svazek a_6b_5 prochází nejprve jedenáctou lineární $\lambda/4$ zpožďovací destičkou 32, pak dvanáctou lineární $\lambda/2$ zpožďovací destičkou 33 a na pátém polarizujícím děliči 34 se dělí na odražený svazek $a_5'b_5'$ dopadající na čtvrtý detektor 15 a na procházející svazek $a_5'b_5$ dopadající na pátý detektor 16. Svazek a_2b_2 prochází nejprve třináctou lineární $\lambda/4$ zpožďovací destičkou 35, pak čtrnáctou lineární $\lambda/2$ zpožďovací destičkou 36 a na šestém polarizujícím děliči 37 se dělí na odražený svazek $a_6'b_6'$, dopadající na osmý detektor 38 a na procházející svazek $a_6'b_6$ dopadající na devátý detektor 39.

Elektrický signál z druhého detektoru 10

přichází na první diferenční zesilovač 17, stejně jako signál z třetího detektoru 11 přes první odporový dělič 19. Signály ze šestého detektoru 25 a sedmého detektoru 26 přicházejí na třetí diferenční zesilovač 40. Signály ze čtvrtého detektoru 15 a pátého detektoru 16 přicházejí na druhý diferenční zesilovač 18. Signály z osmého detektoru 38 a devátého detektoru 39 přicházejí na čtvrtý diferenční zesilovač 41.

Na obr. 3 je příklad provedení detekční jednotky, pracující v jedné ze dvou větví se dvěma svazky, z nichž jeden je lineárně a druhý kruhově polarizován. Do cesty sjednoceného svazku z vlastního interferometru a_1b_1 je nejprve vložena přídavná destička 1 s dielektrickou vrstvou 2, která odráží svazek c na první detektor 4. V cestě procházejícího sjednoceného svazku ab je umístěn rotátor 5, kterým sjednocený svazek ab prochází před dopadem na polarizačně asymetrický dělič 42. Odražený svazek a_1b_1 prochází postupně patnáctou lineární $\lambda/2$ zpožďovací destičkou 43, pak šestnáctou lineární $\lambda/2$ zpožďovací destičkou 44 a dále sedmáctou lineární $\lambda/4$ zpožďovací destičkou 45 a nakonec dopadá na první polarizující dělič 9, kde se dělí na odražený svazek $a_1'b_1'$, dopadající na šestý detektor 25, a na procházející svazek $a_1'b_1$, dopadající na devátý detektor 39. Svazek a_2b_2 procházející polarizačně asymetrickým děličem 42 postupuje nejprve přes osmnáctou lineární $\lambda/2$ zpožďovací destičku 46, pak přes devatenáctou lineární $\lambda/2$ zpožďovací destičku 47 a dopadá na druhý polarizující dělič 14, kde se dělí na odražený svazek $a_2'b_2'$, dopadající na druhý detektor 10, a na procházející svazek $a_2'b_2$, dopadající na třetí detektor 11. Signál z třetího detektoru 11 je přivezen přes druhý odporový dělič 54 na pátý diferenční zesilovač 48 a současně na součtový zesilovač 49, na které přichází rovněž signál z druhého detektoru 10. Za součtovým zesilovačem 49 je zařazen operační zesilovač 50. Signál ze šestého detektoru 25 je přivezen na šestý diferenční zesilovač 51 a signál z devátého detektoru 39 přichází na sedmý diferenční zesilovač 52. Výstupní signály ze šestého a sedmého diferenčního zesilovače 51 a 52 přicházejí na čsmý diferenční zesilovač 53.

Na obr. 4 je příklad provedení detekční jednotky, kde je v obou větvích vždy pro jednu dvojici detektorů využito přímého fázového posuvu jednotlivých dílčích interferujících svazků mezi sebou. Obr. 4 je shodný s obr. 2 s tím rozdílem, že v cestě svazku a_3b_3 místo šesté lineární $\lambda/4$ zpožďovací destičky 22 a sedmé lineární $\lambda/2$ zpožďovací destičky 23 jsou zařazeny dvacátá lineární $\lambda/8$ zpožďovací destička 55 a dvacátá prvá lineární $\lambda/2$ zpožďovací destička 56 a v cestě svazku a_6b_6 místo třinácté lineární $\lambda/4$ zpožďovací destičky 35 a čtrnácté lineární $\lambda/2$ zpožďovací destičky 36 jsou zařazeny

dvacátá druhá lineární $\lambda/8$ zpožďovací destička 57 a dvacátá třetí lineární $\lambda/2$ zpožďovací destička 58.

Detekční jednotky pro uvedené tři formy polarizace světla pracují tak, že sjednocené svazky světla **ab** z vlastního interferometru se rozdělí na dílčí svazky světla **a₁b₁**, **a₂b₂** a působením kombinovaných optických členů se převedou na požadovanou formu polarizace a současně se jim udělí požadovaný fázový posuv mezi jednotlivými dílčími svazky. Kombinované optické členy sestávají ze sériově řazeného přibližně nepolarizujícího děliče, dvojlomných elementů a polarizujícího děliče. Přibližně nepolarizující dělič v součinnosti s dvojlomnými elementy slouží k dělení svazku a k transformaci formy polarizace s vytvořením příslušného fázového posuvu mezi dílčími svazky. Polarizujícím děličem se vyberou dvě polarizace (obvykle ortogonálně lineární), které poskytují požadované interferenční signály. Funkce detekčních jednotek je dále vysvětlena přímo na příkladech provedení.

Princip funkce detekční jednotky podle obr. 1 je následující: Sjednocený svazek **aob** z vlastního interferometru, který vstupuje do detekční jednotky, obsahuje měřicí **a₀** a referenční svazek **b₀**, které jsou ortogonálně lineárně polarizovány a mají společnou osu šíření. Předpokládáme pravoúhlý souřadný systém *x*, *y*, *z*, kde osa *z* je osou šíření svazku. Vektory elektrického pole měřicího **a₀**, resp. referenčního svazku **b₀** spadají do příslušných os a označíme je *E_x*, *E_y*. Přídavná destička 1, umístěná pod Brewsterovým úhlem vůči rovině kmitů referenčního svazku, vydělí malou část *c* intenzity měřicího svazku **a₀**, která po odrazu od zrcadla 3 dopadá na první detektor 4 a získaný signál slouží ke kontrole přerušení svazku v laserovém interferometru. Postupující svazek **ab** prochází levotočivým rotátorem 5 s úhlem zpoždění 90°, který natáčí roviny kmitů referenčního a měřicího sjednoceného svazku o 45°. Na prvním přibližně nepolarizujícím děliči 6 dochází k rozdělení svazku **ab** na dílčí svazky **a₁b₁** a **a₂b₂**. Odražený svazek **a₁b₁** prochází nejprve první lineární $\lambda/4$ zpožďovací destičkou 7 ($\delta = 90^\circ$, $\theta = 0^\circ$), kde se převede na kruhově polarizované svazky opačné orientace (elipticky polarizované s přibližně stejným azimutálním úhlem). Fázový posuv se nastavuje pomocí druhé lineární $\lambda/2$ zpožďovací destičky 8 ($\delta = 180^\circ$, $\theta = 0^\circ$). Při dopadu svazku **a₁b₁** na první polarizující dělič 9 nastává rozdělení na svazky **a₁'b₁'** a **a₁"b₁"**, které mají roviny kmitů k sobě kolmé, v důsledku čehož signály na druhém a třetím detektoru 10 a 11 jsou v protifázi a mají základní fázový posuv nulový. V procházejícím svazku **a₂b₂** jsou funkce optických elementů, tj. třetí lineární $\lambda/4$ zpožďovací destičky 12 ($\delta = 90^\circ$, $\theta = 0^\circ$), čtvrté lineární $\lambda/2$ zpožďovací destičky 13 ($\delta = 180^\circ$, $\theta = 67,5^\circ$) a druhého polarizujícího děliče 14, obdobné jako ve svaz-

ku **a₁b₁** s tím rozdílem, že natočením azimutu čtvrté lineární $\lambda/2$ zpožďovací destičky 13 na úhel $\theta = 67,5^\circ$ se dosáhne toho, že signály na čtvrtém a pátém detektoru 15 a 16 jsou fázově posunuté o $\pi/2$ vůči první dvojici signálů na druhém a třetím detektoru 10 a 11, přičemž jsou navzájem v protifázi. Geometrické uspořádání optických elementů zůstává v jedné rovině. Uvedeným uspořádáním detekční jednotky se dosáhne plného využití energie svazku z interferometru a odstranění stejnosměrné složky pomocí dvou signálů v protifázi. Jak bylo odvozeno, lze zvýšit rozlišovací schopnost detekční jednotky elektronicky. Stejnosměrná složka signálů je odstraněna použitím prvního a druhého diferenčního zesilovače 17 a 18, na jejich vstupy jsou přivedeny signály se stejnou úrovní, ale v protifázi z druhého a třetího detektoru 10, 11 a čtvrtého a pátého detektoru 15, 16. Stejná úroveň signálů se dostaví prvním odporovým děličem 19. Výsledné signály *I₀₁*, *I₀₃* z diferenčních zesilovačů 17 a 18 pak již neobsahují stejnosměrnou složku.

Obdobný je princip funkce detekční jednotky na obr. 2. Sjednocený svazek **aob** z vlastního interferometru dopadá nejprve na přídavnou destičku 1 s dielektrickou vrstvou 2, pomocí níž se vydělí jeho nepatrná část *c* na první detektor 4 pro indikaci přerušení svazku v laserovém interferometru. Speciální dielektrické vrstvy 2 na přídavné destičce 1 způsobí, že přídavná destička 1 má stejný účinek jako v předchozím případě, tj. že od jedné dielektrické vrstvy se odráží jen malá část intenzity měřicího svazku **a₀**; druhá dielektrická vrstva na opačné straně desky představuje antireflexní vrstvu pro oba svazky, měřicí **a** a referenční **b**. Procházející svazek **ab** dopadá pak na levotočivý rotátor 5 ($\delta = 90^\circ$, $\alpha = 45^\circ$), kde se rovina kmitů referenčního a měřicího svazku jako celek natočí o 45°, a dále na první přibližně nepolarizující dělič 6, kde se rozdělí na dílčí svazky **a₁b₁** a **a₂b₂**; v cestě těchto rozdělených svazků jsou umístěny pátá a desátá lineární $\lambda/2$ zpožďovací destičky 20 a 30 ($\delta = 180^\circ$, $\theta = 45^\circ$), které natočí roviny kmitů o 90°, takže po dvojnásobném odrazu, resp. průchodu druhým a třetím, je přibližně nepolarizujícím děličem 21 a 31, je ve svazcích **a₃b₃** a **a₅b₅** zachován původní polarizační stav jako u svazku **ab**. Potom je u svazků **a₃b₃**, **a₅b₅** proveden převod z ortogonálních lineárně polarizovaných svazků na kruhově polarizované svazky opačné orientace (u svazků **a₄b₄** a **a₅b₅** na elipticky polarizované s přibližně stejným azimutálním úhlem) pomocí šesté, osmé, jedenácté a třinácté lineární $\lambda/4$ zpožďovací destičky 22, 27, 32 a 35 majících stejnou hodnotu ($\delta = 90^\circ$, $\theta = 0^\circ$). Natočením azimutu za nimi umístěných lineárních $\lambda/2$ zpožďovacích destiček, a to oproti deváté lineární $\lambda/2$ zpožďovací destičce 28 ($\delta = 180^\circ$, $\theta = 0^\circ$)

o úhly: $11,25^\circ$ u sedmé zpožďovací destičky **23** ($\delta = 180^\circ$, $\theta = 11,25^\circ$), $67,5^\circ$ u dvanácté zpožďovací destičky **33** ($\delta = 180^\circ$, $\theta = 67,5^\circ$) a $33,75^\circ$ u čtrnácté zpožďovací destičky **36** ($\delta = 180^\circ$, $\theta = 33,75^\circ$) se dosahuje toho, že signály na detektorech jsou vůči sobě fázově posunuté vždy o $-\frac{\pi}{4}$, přičemž jsou navzájem v protifázi. Geometrické uspořádání optických elementů zůstává přitom v jedné rovině. Opět je dosaženo plného využití energie svazku z vlastního interferometru a dvojnásobného rozlišení ve srovnání s detekční jednotkou, kde jsou pouze dva signály v kvadratuře. Rovněž je odstraněna stejnosměrná složka signálů pomocí dvou signálů v protifázi. Další zvýšení rozlišení je opět možné elektronicky. Odstranění stejnosměrné složky signálů pracuje stejně jako v předchozím případě. Signály v protifázi u druhého a třetího, šestého a sedmého detektoru **10** a **11**, **25** a **26**, stejně jako u čtvrtého a pátého, osmého a devátého detektoru **15** a **16**, **38** a **39** jsou přivedeny na vstupy prvního a třetího diferenčního zesilovače **17** a **40** a druhého a čtvrtého diferenčního zesilovače **18** a **41**, na jejichž výstupu výsledné signály I_{01} , I_{02} , I_{03} a I_{04} již neobsahují stejnosměrnou složku. Stejná úroveň signálů je zabezpečena prvním odporovým děličem **19**.

Na obr. 3 je uveden případ, kdy se z původně ortogonálně lineárně polarizovaných svazků z vlastního interferometru vytváří v jedné větvi detekční jednotky kombinace světla kruhově a lineárně polarizovaného. Nejprve prochází ortogonálně lineárně polarizovaný sjednocený svazek **a₀b₀** z vlastního interferometru přídatnou destičkou **1** s dielektrickými vrstvami **2**, která s prvním detektorem **4** slouží ke kontrole přerušení svazku. Pak projde levotočivým rotátorem **5** ($\delta = 90^\circ$, $\alpha = 45^\circ$), kde se soustava ortogonálně lineárně polarizovaných svazků **ab** natočí o úhel 45° . Na polarizačně asymetrickém děliči **42** s dielektrickými vrstvami o vlastnostech: $T_{\perp} = R_{\parallel} = 0,12$, $T_{\parallel} = R_{\perp} = 0,83$, $R_{\parallel} = (3 + 2\sqrt{2})R_{\perp}$ dojde k rozdělení na dva dílčí lineárně polarizované sjednocené svazky **a₁b₁** a **a₂b₂**. V cestě odraženého dílčího svazku **a₁b₁**, v němž složky lineárně polarizovaného světla měřicí **a₁** a referenční **b₁** svírají úhel 135° , je umístěna nejprve patnáctá lineární $\lambda/2$ zpožďovací destička **43** ($\delta = 180^\circ$, $\theta = 45^\circ$) a za ní šestnáctá lineární $\lambda/2$ zpožďovací destička **44** ($\delta = 180^\circ$, $\theta = \frac{1}{2} \arctg(-\frac{\sqrt{R_{\parallel}}}{R_{\perp}})$), takže dochází k natočení rovin kmitů měřicího **a₁** i referenčního svazku **b₁** tak, že jedna z nich spadá do příslušné souřadné osy a druhá je pod 45° . Následující sedmnáctá lineární $\lambda/4$ zpožďovací destička **45** ($\delta = 90^\circ$, $\theta = 45^\circ$) pak způsobí, že složka lineárně polarizovaného světla pod 45° zůstane nezměněna, zatímco z druhé složky se vytvoří kruhově po-

larizované světlo. Na prvním polarizujícím děliči **9** se svazek světla sestávající z lineárně a kruhově polarizovaného světla vydělí tak, že na šestý detektor **25** a devátý detektor **39**, dopadající svazky světla **a₁'b₁'** a **a₁"b₁"** mají fázový posuv $+45^\circ$ a -45° ; dostáváme tedy dva signály v kvadratuře. Procházející dílčí lineárně polarizovaný svazek **a₂b₂** postupuje nejdříve přes osmnáctou lineární $\lambda/2$ zpožďovací destičku **46** ($\delta = 180^\circ$, $\theta = 0^\circ$) a devatenáctou lineární $\lambda/2$ zpožďovací destičku **47** ($\delta = 180^\circ$, $\theta = 45^\circ$), které slouží ke korekci malých fázových posuvů a k vyrovnání intenzit, a pak dopadá na druhý polarizující dělič **14**, kde nastává rozdělení na svazky **a₂'b₂'** a **a₂"b₂"**, které dopadají na druhý a třetí detektor **10** a **11**, na kterých vzniká jednak signál se základním nulovým posuvem 0° , a dále signál v protifázi, který je využit pro eliminaci stejnosměrné složky signálů. Odstranění stejnosměrné složky všech signálů a vytvoření

signálu s fázovým posuvem $-\frac{\pi}{2}$ je provedeno pomocí součtového, operačního a diferenčního zesilovačů. Odečtením signálu z detektoru **10** od signálu z detektoru **11** podděleného v druhém odporovém děliči **54** pomocí pátého diferenčního zesilovače **48** dostaneme první výsledný signál $I_{01}(\varphi + 0)$ se základním fázovým posuvem 0° a bez stejnosměrné složky. Sečtením obou vstupních signálů ze vstupu diferenčního zesilovače **48** v součtovém zesilovači **49**, zesílením tohoto signálu v poměru $A_3 = \frac{R_{\parallel} + R_{\perp}}{4T_{\perp}}$

v operačním zesilovači **50** a odečtením tohoto signálu od signálu ze šestého detektoru **25** v šestém diferenčním zesilovači **51** dostaneme druhý výsledný signál $I_{02}(\varphi + \frac{\pi}{4})$ s fázovým posuvem $-\frac{\pi}{4}$ bez stejnosměrné složky. Podobně odečtením signálu z devátého detektoru **39** od výstupního signálu z operačního zesilovače **50** v sedmém diferenčním zesilovači **52** dostaneme čtvrtý výsledný signál $I_{04}(\varphi + \frac{3\pi}{4})$ s fázovým posuvem $-\frac{3\pi}{4}$ a bez stejnosměrné složky. Konečně odečtením čtvrtého výsledného signálu $I_{04}(\varphi + \frac{3\pi}{4})$ od druhého výsledného signálu $I_{02}(\varphi + \frac{\pi}{4})$ v osmém diferenčním zesilovači **53** dostaneme třetí výsledný signál $I_{03}(\varphi + \frac{\pi}{2})$ s fázovým posuvem $-\frac{\pi}{2}$ bez stejnosměrné složky.

Na obr. 4 je příklad využití přímého fázového posuvu v detekční jednotce, na roz-

díl od obr. 2, kde jsou ortogonálně lineárně polarizované svazky všude převedeny na protiběžné kruhově (elipticky) polarizované svazky. V obr. 4 v obou větvích, vždy pro jeden pár detektorů, a to pro šestý **25** a sedmý **26** a pro osmý **38** a devátý **39** zůstávají svazky světla $asbs$ a $asbs$ ortogonálně lineárně polarizované pod úhlem 45° . Lineární $\lambda/4$ zpožďovací destičky dvacátá **55** ($\delta = 90^\circ$, $\theta = -45^\circ$) a dvacátá druhá **57** ($\delta = 90^\circ$, $\theta = 45^\circ$) provedou přímý fázový posuv tak, že vůči základnímu signálu s nulovým fázovým posuvem 0° na druhém detektoru **10** (příčemž na třetím detektoru **11** je signál v protifázi) je na šestém detektoru **25** fázový posuv 45° (příčemž na sed-

mém detektoru **26** je signál vůči signálu na **25** v protifázi), čtvrtý detektor **15** dává signál posunutý o 90° (příčemž na pátém detektoru **16** je signál vůči němu v protifázi) a signál z osmého detektoru **38** má fázový posuv 135° (příčemž na devátém detektoru **39** je signál vůči němu v protifázi). Ostatní členy polarizační optiky upravují polarizační stav tak, aby fázové posuvy a kontrast interferenčních signálů se daly postavit i v případě použití jen přibližně polarizujících děličů, prvního **6**, druhého **21** a třetího **31**, u kterých se však, podobně jako v předchozích případech, předpokládají stejné vlastnosti (tj. současné vrstvení).

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Způsob detekce více fázově posunutých interferenčních signálů v laserovém interferometru, např. n párů signálů v kvadratu-

ře, navzájem fázově posunutých o úhel $\frac{\pi}{2n}$

z laserového interferometru s vysokým rozlišením a s eliminací stejnosměrné složky signálu, vyznačený tím, že na svazky světla z vlastního interferometru, přiváděné k interferenci, se postupně působí dělením intenzit, průchodem optickým prostředím s navzájem odlišnou rychlostí šíření světla ve dvou kolmých směrech a použitím polarizujícího průchodu, příp. odrazu svazků světla na optickém rozhraní, čímž se docílí změny polarizačního stavu dílčích svazků světla s požadovaným fázovým rozdílem, které po dopadu na detektory vytvářejí signály s fázovým posuvem $\frac{\pi}{2n}$.

2. Zařízení k provádění způsobu detekce více fázově posunutých interferenčních signálů podle bodu 1 vyznačené tím, že obsahuje nejméně jeden kombinovaný optický člen, sestávající ze sériově řazeného přibližně nepolarizujícího děliče (**6**, **21**, **31**) a polarizujícího děliče (**9**, **14**, **24**, **29**, **34**, **37**), mezi kterými jsou vloženy dvojlomné optické elementy, například zpožďovací destičky (**7**, **8**, **12**, **13**, **20**, **22**, **23**, **27**, **28**, **30**, **32**, **33**, **35**,

36, **43**, **44**, **45**, **46**, **47**, **55**, **56**, **57**, **58**), případně jsou tyto dvojlomné optické elementy umístěny před přibližně nepolarizujícím děličem (**6**, **21**, **31**).

3. Zařízení k detekci podle bodu 2 vyznačené tím, že kombinované optické členy sestávají z nejméně jednoho sériově řazeného polarizačně asymetrického optického děliče (**42**) a polarizujícího děliče (**9**, **14**), mezi kterými jsou vloženy dvojlomné elementy, například zpožďovací destičky (**43**, **44**, **45**, **46**, **47**), případně jsou tyto dvojlomné optické elementy umístěny před polarizačně asymetrickým optickým děličem (**42**).

4. Zařízení k detekci podle bodů 2 a 3 vyznačené tím, že obsahuje v cestě ortogonálně lineárně polarizovaných svazků z vlastního interferometru (a_0 , b_0) přídavnou destičku (**1**), případně opatřenou dielektrickou vrstvou (**2**).

5. Zařízení k detekci podle bodů 2, 3 a 4 vyznačené tím, že výstupy čtvrtého a pátého detektoru (**15**, **16**) jsou připojeny na vstup prvního diferenčního zesilovače (**17**).

6. Zařízení k detekci podle bodů 2, 3 a 4 vyznačené tím, že výstupy druhého a třetího, šestého a devátého detektoru (**10**, **11**, **25**, **39**) jsou připojeny přes odporový dělič (**54**) na vstupy součtových a diferenčních zesilovačů (**48**, **49**, **50**, **51**, **52**, **53**).

