



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

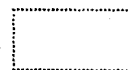
204742
(11) (B1)

(22) Přihlášeno 19 07 79
(21) (PV 5045-79)

(51) Int. Cl.³
G 01 B 9/02
H 01 S 3/00

(40) Zveřejněno 31 07 80

(45) Vydáno 29 10 82



(75)

Autor vynálezu

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

(54) Způsob a zařízení k vytváření střídavého interferenčního pole při interferenci dvou svazků světla v laserovém interferometru

Vynález se týká způsobu vytváření střídavého interferenčního pole při interferenci dvou svazků světla v laserovém interferometru a využití tohoto způsobu v laserových interferometrech.

Laserový interferometr s jedinou pracovní vlnovou délkou, tj. s jedinou frekvencí obvykle sestává z dělicí jednotky, posuvného zpětného odrazného systému, detekční jednotky a zdroje lineárně polarizovaného světla, například jednofrekvenčního laseru. V ose opticky zvětšeného svazku světla z jednofrekvenčního laseru je obvykle umístěna čtvrtvlnná destička, která přemění lineárně polarizovaný svazek světla laseru na přibližně kruhově polarizovaný svazek světla. Za čtvrtvlnnou destičkou je dělicí jednotka, například hranol nebo deska s dělicí a částečně propustnou vrstvou. Na této dělicí vrstvě dochází k rozdělení svazku na referenční svazek a měrný svazek světla. Referenční svazek světla po dvojnásobném odrazu na dělicí vrstvě vychází k detekční jednotce. Měrný svazek světla prochází nejprve částečně propustnou dělicí vrstvou a postupuje v původním směru k posuvnému zpětnému odraznému systému a po odrazu se rovnoběžně vrací zpět k dělicí vrstvě desky, kterou částečně prochází a postupuje společně s referen-

čním svazkem světla k detekční jednotce. V místě průchodu dělicí vrstvou desky se oba svazky světla, referenční a měrný, sjednocují, vytvářejí interferenční pole a ve společné ose postupují k detekční jednotce. Detekční jednotka obsahuje další dělicí členy (viz např. č. 185014), čs. autorské osvědčení, které provedou další rozdělení svazku světla tak, že například jedna část odražená v jednom směru prochází prvním optickým polarizačním filtrem a dopadá na první fotodetektor a druhá část svazku světla částečně prochází dělicí vrstvou dělicího členu a postupuje přes druhý optický polarizační filtr ke druhému fotodetektoru. Vhodným natočením polarizačních filtrů se získají dva signály fázově posunuté o 90° [v kvadratuře], což umožní použití vratných čítačů pro měření délek.

Laserový interferometr může pracovat také s ortogonálními lineárně polarizovanými svazky v interferometru. V tomto případě je výstup z interferometru ve formě dvou ortogonálních lineárně polarizovaných svazků a na výstupu z interferometru nebo na vstupu detekční jednotky je čtvrtvlnná destička, která převede oba svazky na kruhově polarizované s opačnou orientací. Získání dvou signálů je podobné jako v předchozím případě.

Nevýhodou dosavadních laserových interferometrů s jednofrekvenčním laserem je, že výstupní signál z interferometru obsahuje frekvence od nuly do f_m , kde f_m je horní mezní kmitočet, daný rychlostí pohybu posuvného koutového odražeče.

Je zřejmé, že v zesilovačích signálu z interferometru je nutné mít možnost zesilovat signály všech kmitočtů v rozmezí $0 - f_m$ včetně stejnosměrné složky.

Pro zesilování signálů z fotodetektorů je nutné použít stejnosměrné zesilovače a přenášet i stejnosměrnou složku signálu. Tato skutečnost je nevýhodná, neboť při stárnutí laseru, při nedokonalé justáži a vlivem dalších okolností dochází ke změně kontrastu interferenčního pole v interferometru a tudíž ke změně jak parazitní stejnosměrné složky, tak i ke změně velikosti střídavé (aktivní složky) signálu. Při velkých změnách je nutné přestavení citlivosti a úrovní signálů v zesilovačích.

Přítomnost stejnosměrné složky v signálu a nutnost jejího přenosu a zesilování v celé signálové trase je jednou z hlavních příčin nespolehlivosti a nedokonalé funkce laserových interferometrů s jednofrekvenčním laserem.

Tyto dosavadní nevýhody odstraňuje způsob vytváření střídavého interferenčního pole a tím i vytváření střídavého signálu při interferenci dvou svazků světla v laserovém interferometru, jehož podstatou je, že sjednocené svazky světla z vlastního interferometru, referenční a měrný, se mezi sebou fázově modulují, čímž se vytváří střídavé interferenční pole. Při tom sjednocené svazky světla, referenční a měrný, mohou být před modulací ortogonálně lineárně polarizovány. Fázová modulace je periodická v rozsahu celistvých násobků $\frac{\pi}{4}$ s fázovou

rychlostí vyšší než je vzájemná fázová rychlost vlnoploch referenčního a měrného svazku v pracovním režimu, přičemž střední fázový posuv mezi interferujícími svazky je mírou zlomku interferenční jednotky

Laserový interferometr používající tohoto způsobu má v ose sjednocených svazků světla až za vlastním interferometrem umístěn modulátor a za ním detekční jednotku, případně je modulátor umístěn za laserem před vlastním interferometrem. V některých případech je napájecí oscilátor modulátoru spojen s modulátorem, synchronním demodulátorem a vyhodnocovací jednotkou, přičemž detekční jednotka s nejméně jedním fotoelektrickým detektorem je spojena se synchronním demodulátorem, jehož výstup je spojen s vyhodnocovací jednotkou.

Hlavní předností způsobu podle vynálezu je, že výstupní signál z detekčních jednotek neobsahuje stejnosměrnou složku a zesilovače signálu mohou být provedeny jako střídavé. Použití střídavých zesilovačů přináší podstatné zvýšení spolehlivosti zařízení, nezávislost na stárnutí a na úrovni signálu

apod. Použití fázové modulace dává možnost interpolace v rámci interferenční jednotky a vede k podstatnému zvýšení rozlišení interferometru.

Princip vytváření střídavého interferenčního pole a jeho využití v laserových interferometrech objasňují přiložené výkresy, kde na obr. 1 jsou zobrazeny výstupní signály a fázové poměry, na obr. 2 až 4 příklady blokového uspořádání laserového interferometru.

Na obr. 1 je průběh intenzity světla střídavého interferenčního pole s modulací fáze mezi referenčním a měrným svazkem světla interferometru celkem o 2π . V levé části výkresu jsou časové průběhy signálu, kde I znamená intenzitu interferenčního signálu a t čas. Graf vyjadřuje průběh intenzity světla za modulátorem v čase t . Dole je příslušný průběh modulačního napětí U_m . V pravé části výkresu je vyznačen vektorově střední fázový rozdíl (při modulačním napětí v polovině střídavého průběhu, čili s fází π) mezi referenčním a měrným svazkem světla vlastního interferometru. V jednotlivých částech výkresu a, b, c, d jsou zachyceny oba průběhy při postupném zvětšení středního fázového rozdílu ve vlastním

interferometru vždy o $\frac{\pi}{2}$.

Příklad provedení laserového interferometru bez vyhodnocovacího zařízení je naznačen na obr. 2 a 3. Zdroj světla tvoří laser 1, v jehož ose svazku světla a je umístěn vlastní interferometr 2, tvořený polarizujícím dělicím hranolem 21 s dělicí vrstvou 22, za nímž je umístěn první zpětný odrazný systém 23 pro odraz referenčního svazku světla a_1 a druhý zpětný odrazný systém 24 pro odraz měrného svazku světla b_1 . V ose sjednoceného svazku světla a_2 a b_2 je umístěna detekční jednotka 4.

Na obr. 2 je v ose svazku světla a před vlastním interferometrem umístěn modulátor 3. Na obr. 3 je modulátor 3 umístěn v ose sjednoceného svazku světla a_2, b_2 za vlastním interferometrem 2.

Interferometr doplněný vyhodnocovacím zařízením na obr. 4 má výstup detekční jednotky 4 spojen se synchronním demodulátorem 5, který je spojen s napájecím oscilátorem 6 a vyhodnocovací jednotkou 7. Napájecí oscilátor 6 je ještě spojen s modulátorem 3 a vyhodnocovací jednotkou 7.

Princip vytvoření střídavého interferenčního pole a tím i signálu je následující:

Při interferenci referenčního a_2 a měrného b_2 svazku světla ve vlastním interferometru dostaneme na výstupu z vlastního interferometru sjednocený svazek a_2, b_2 , který (např. v případě ortogonálních lineárně polarizovaných svazků referenčního a měrného přes polarizátor) poskytuje výstupní napětí u , vznikající při detekci fázově modulovaného pole, přičemž napětí u je přímo uměrné intenzitě světla I .

$$u = A \cos \left(\frac{4\pi L}{\lambda} \right) + B,$$

kde $L = x_2 - x_1$ je dráhový rozdíl mezi referenčním a měrným svazkem ve vlastním interferometru,

A amplituda interferenčního signálu,

λ vlnová délka světla laseru,

B stejnosměrná složka interferenčního signálu.

Dále zavedeme

$$\frac{4\pi L}{\lambda} = \varphi$$

φ střední fázový posuv ve vlastním interferometru

Při modulaci středního fázového posuvu φ s kmitočtem ω , např. za vlastním interferometrem, s fázovým zdvihem $\pm \alpha$, dostaneme:

$$u = A \cos (\varphi + \alpha \cos \omega t) + B$$

a úpravou:

$$u = A [\cos \varphi \cdot \cos (\alpha \cos \omega t) - \sin \varphi \cdot \sin (\alpha \cos \omega t)] + B$$

Dále rozvojem pomocí Besselových funkcí 1. druhu

$J_0(\alpha); J_1(\alpha); J_2(\alpha); J_3(\alpha); J_4(\alpha); J_5(\alpha); J_6(\alpha)$, dostaneme po detekci pro signál střídavého interferenčního pole výraz:

$$u = A \{ \cos \varphi [J_0(\alpha) - 2J_2(\alpha) \cos 2\omega t + 2J_4(\alpha) \cos 4\omega t - 2J_6(\alpha) \cos 6\omega t + \dots - \sin \varphi [2J_1(\alpha) \cos \omega t - 2J_3(\alpha) \cos 3\omega t + 2J_5(\alpha) \cos 5\omega t - \dots]] \} + B$$

Tvar tohoto signálu pro různé střední fázové posuvy φ a fázový zdvih modulací $\pm \pi$ je na obr. 1. Obr. 1a platí pro $\varphi = 0$, obr. 1b pro $\varphi = \frac{\pi}{2}$, 1c pro $\varphi = \pi$, 1d pro $\varphi = \frac{3\pi}{2}$.

Z výrazu pro u je vidět, že výstupní napětí je vždy střídavé, až na případ, kdy střední fázový posuv φ v interferometru by byl modulován např. vlivem otřesů, stejným kmitočtem a amplitudou jako modulátorem, ale v opačné fázi. Aby nemohl tento případ nastat, je použito rychlosti fázové modulace vyšší, než je vzájemná fázová rychlost vlnoploch mezi referenčním a měrným svazkem v interferometru v pracovních podmínkách. V praktických případech bývá rychlost pohyblivé části interferometru taková, že postačí fázová rychlost modulace v rozmezí

$$(10^2 - 10^8) \frac{\pi}{4} / \text{s}.$$

Na obr. 1 je rovněž vidět, že pro zvýšení rozlišení interferometru je možné využít střední fázový posuv mezi interferujícími svazky. Střední fázový posuv udává dráhový rozdíl ve vlastním interferometru v rámci interferenční jednotky a lze jej určit v detekční jednotce např. použitím interference kruhové a lineárně polarizovaného světla nebo použitím synchronního demodulátoru.

Laserový interferometr podle obr. 2 a 3 používá jako zdroje lineárně polarizovaný svazek a světla laseru 1, který je ve vlastním interferometru 2 rozdělen např. polarizujícím dělicím hranolem 21 s dělicí vrstvou 22 na dva ortogonální lineárně polarizované svazky a_1, b_1 , které jsou opět polarizujícím dělicím hranolem 21 sjednoceny a vycházejí jako ortogonální lineárně polarizované svazky a_2, b_2 světla. Tyto dva svazky a_2, b_2 světla jsou vůči sobě fázově modulovány modulátorem 3 a vytvářejí fázově modulované svazky a'_2, b'_2 světla, ze kterých v detekční jednotce 4 vznikají výstupní signály.

Laserový interferometr podle obr. 4 využívá synchronní demodulace k vyhodnocení výstupních signálů. Svazek a světla, vystupující z jednofrekvenčního laseru 1 jako lineárně polarizovaný, přichází do vlastního interferometru 2, kde dopadá na polarizující dělicí hranol 21 s dělicí vrstvou 22, na níž se dělí na referenční svazek a_1 světla, který se odráží od prvního zpětného odrazového systému 23, a na měrný b_1 svazek světla, který se odráží od druhého odrazového systému 24. Oba svazky a_1, b_1 , referenční a měrný, vycházejí z vlastního interferometru 2 sjednocené na dělicí vrstvě 22 jako svazky a_2, b_2 světla a přicházejí do modulátoru 3, kde probíhá modulace fáze mezi referenčním a měrným svazkem a_2, b_2 světla v závislosti na použitém modulačním napětí U_M . Modulovaný svazek a'_2, b'_2 světla pak končí v detekční jednotce 4. Z detekční jednotky 4 je signál přiveden k synchronnímu demodulátoru 5, jehož výstup je veden k vyhodnocovací jednotce 7, řízené stejně jako synchronní demodulátor 5 řídicím signálem o modulačním kmitočtu z napájecího oscilátoru 6. Synchronní demodulátor vyhodnotí fázi interferenčního signálu v rámci jedné interferenční jednotky a tím provede zvýšení rozlišení. Určení směru pohybu pohyblivé části interferometru provede opět synchronní demodulátor přímým řízením vyhodnocovací jednotky.

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Způsob vytváření střídavého interferenčního pole při interferenci dvou svazků světla v laserovém interferometru, vyznačený tím, že sjednocené svazky světla z vlastního interferometru, referenční a měrný, se mezi sebou fázově modulují, čímž se vytváří střídavé interferenční pole.

2. Způsob vytváření střídavého interferenčního pole podle bodu 1, vyznačený tím, že fázová modulace se vyvolává periodicky v rozsahu celistvých násobků $\frac{\pi}{4}$ s fázovou rychlostí vyšší, než je vzájemná fázová rychlost vlnoploch referenčního a měrného svazku vůči sobě v pracovním

režimu, přičemž střední fázový posuv mezi interferujícími svazky je mírou zlomku interferenční jednotky.

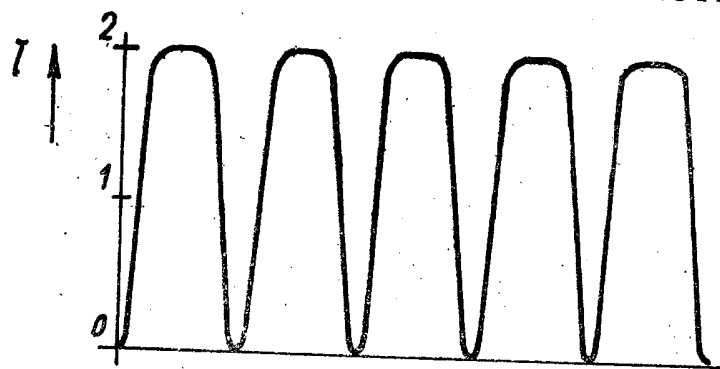
3. Způsob vytváření střídavého interferenčního pole podle bodu 1, vyznačený tím, že sjednocené svazky světla, referenční a měrný, se před modulací ortogonálně lineárně polarizují.

4. Zařízení k provádění způsobu podle bodů 1 až 3, vyznačený tím, že v ose sjednocených svazků světla až za vlastním interferometrem (2) je umístěn modulátor (3) a detekční jednotka (4).

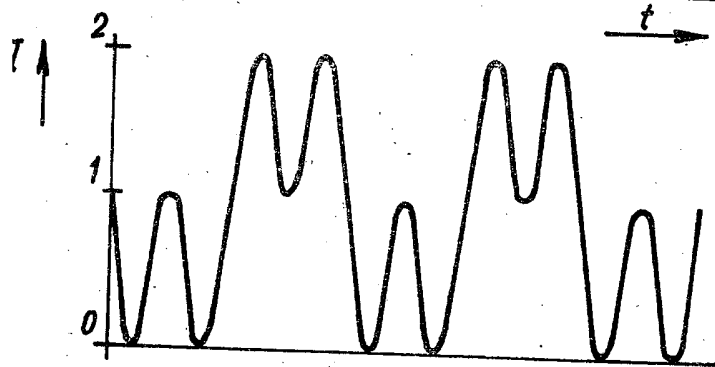
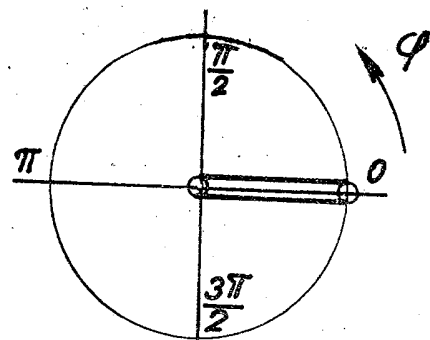
5. Zařízení k provádění způsobu podle bodů 1 až 3, vyznačený tím, že modulátor (3) je umístěn za laserem (1) před vlastním interferometrem (2).

6. Zařízení k provádění způsobu podle bodů 1 až 3, vyznačený tím, že napájecí oscilátor modulátoru (6) je spojen s modulátorem (3), synchronním demodulátorem (5) a vyhodnocovací jednotkou (7), přičemž detekční jednotka (4), opatřená nejméně jedním fotoelektrickým detektorem, je spojena se synchronním demodulátorem (5), jehož výstup je spojen s vyhodnocovací jednotkou (7).

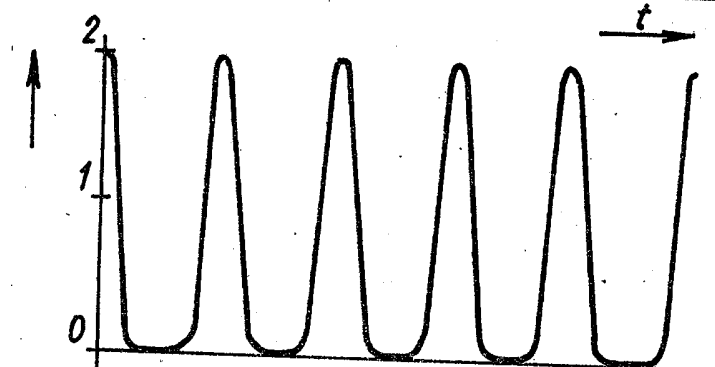
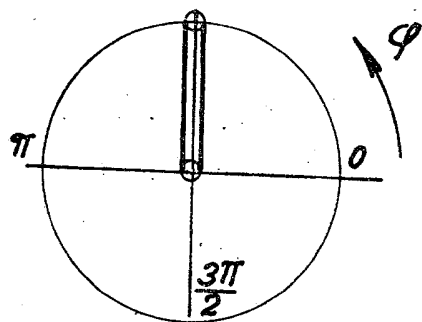
4 výkresy



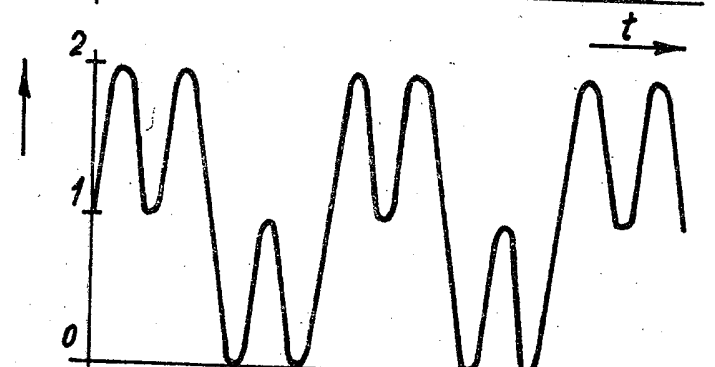
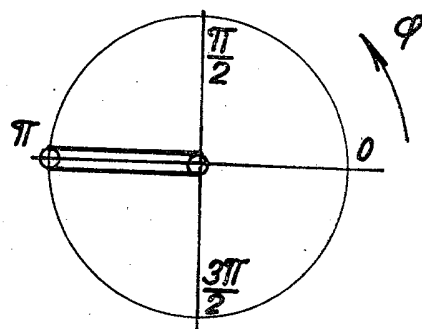
a)



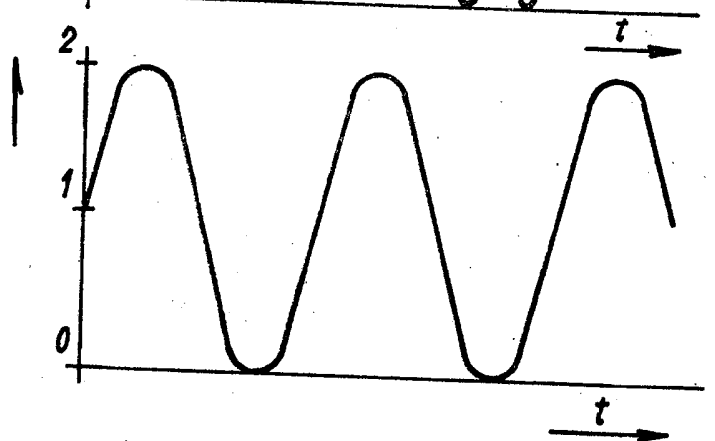
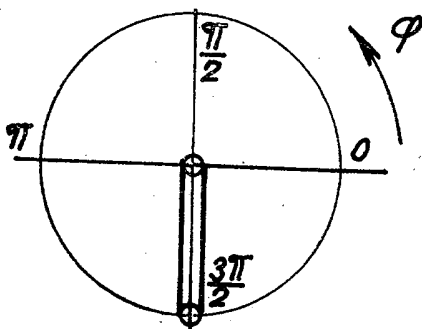
b)

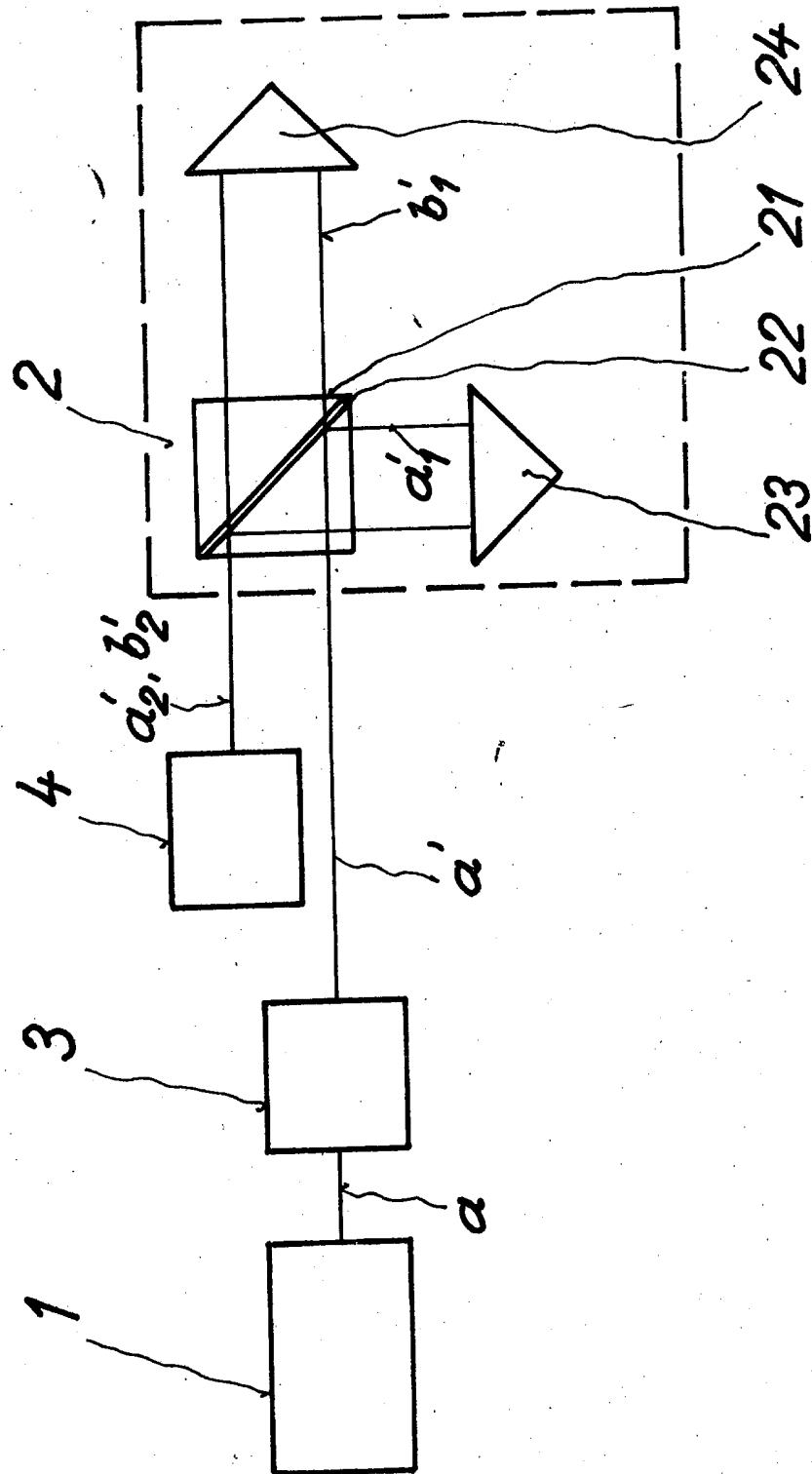


c)

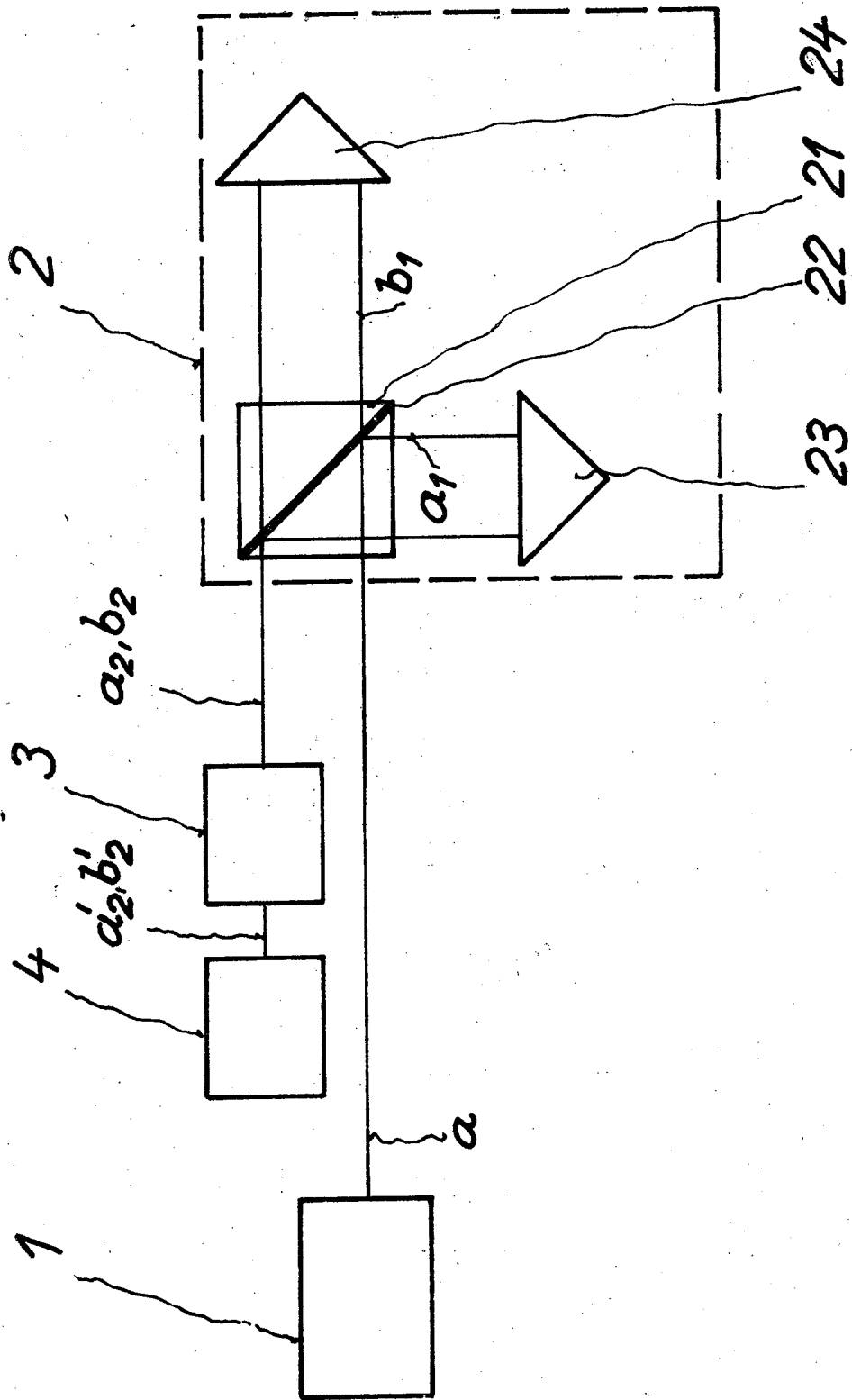


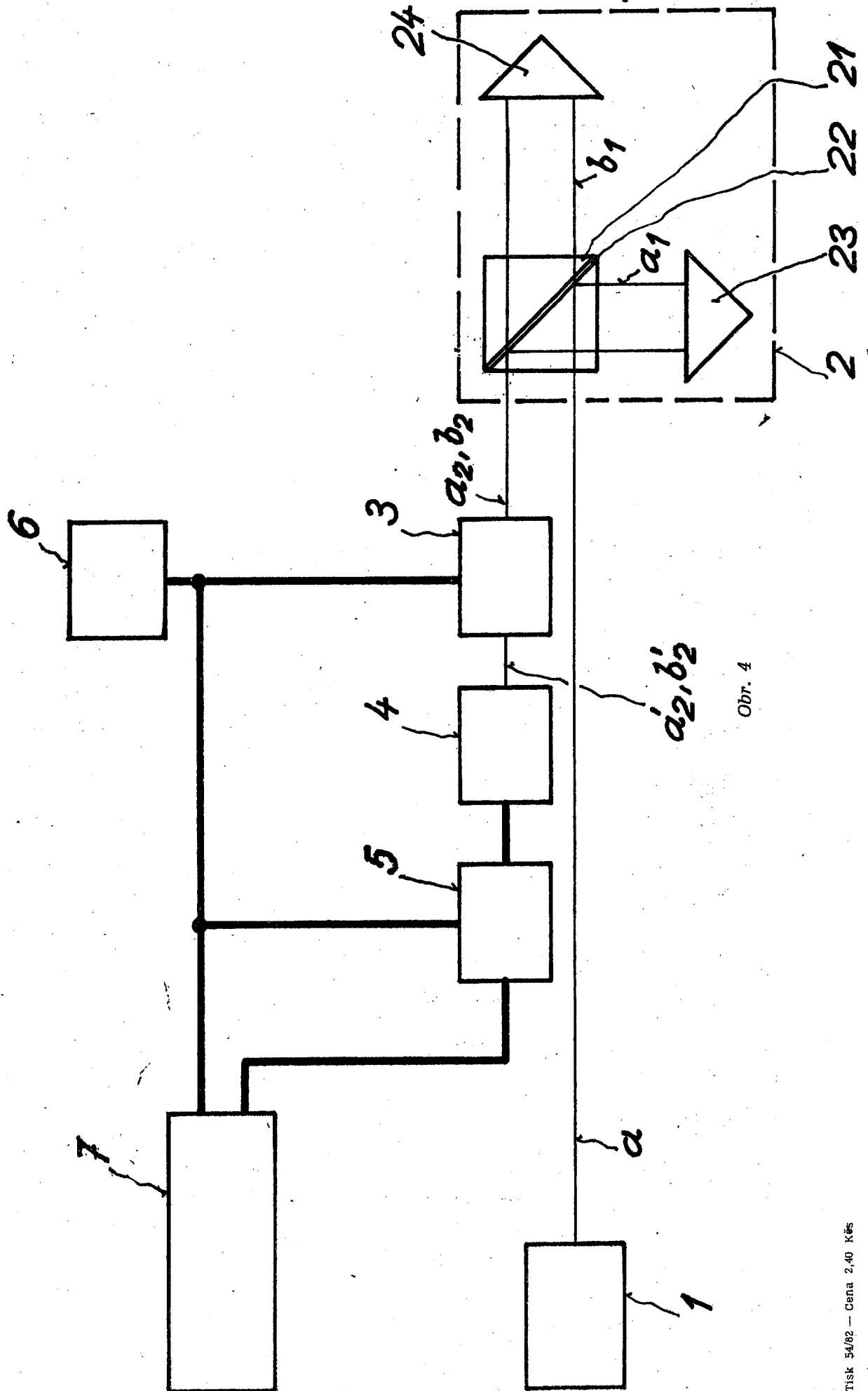
d)





Obr. 2





Obr. 4