



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẢNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN) (11) CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ



1-0039523

(51)^{2020.01} G01B 9/02

(13) B

(21) 1-2022-02021

(22) 31/03/2022

(45) 25/04/2024 433

(43) 27/06/2022 411

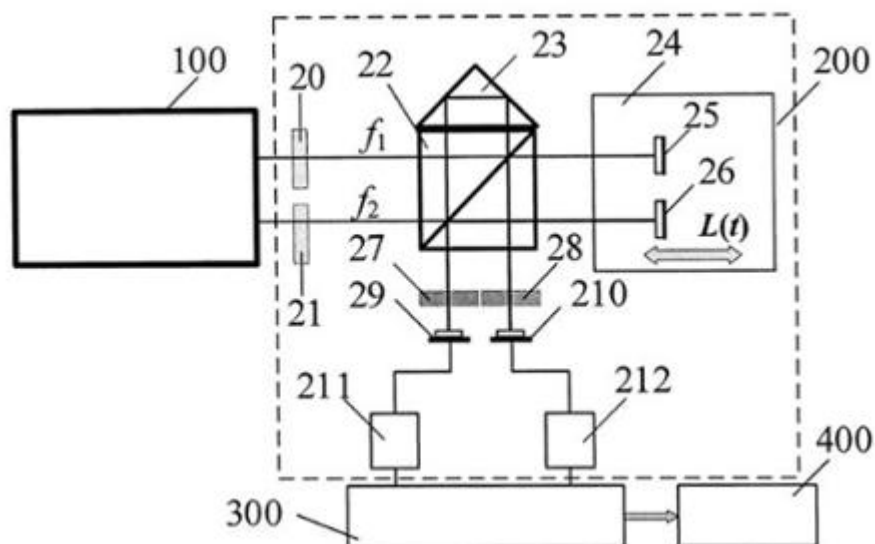
(73) Đại học Bách khoa Hà Nội (VN)

Số 1, Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội

(72) Nguyễn Thành Đông (VN).

(54) HỆ THỐNG GIAO THOA KẾ HAI TẦN SỐ HETERODYNE ĐO DỊCH CHUYỂN TỐC ĐỘ CAO VÀ ĐỘ PHÂN GIẢI CAO

(57) Sáng chế đề xuất hệ thống giao thoa kế hai tần số Heterodyne đo dịch chuyển tốc độ cao và độ phân giải cao bao gồm: cụm nguồn laser hai tần số ổn định (100), giao thoa kế hai tần số heterodyne (200), máy đo pha dựa trên nguyên lý vòng khóa pha đơn (300) và máy tính (400). Nguồn laser phát ra hai tia laser tách biệt với nhau trong không gian hướng về giao thoa kế trong đó nguồn laser thứ nhất (11) là một đầu laser He-Ne được ổn định tần số, nguồn laser thứ hai (12) là hai đầu laser ổn định tần số có cùng bước sóng trung tâm λ_0 . Tần số một trong hai đầu laser được điều chỉnh theo tần số của đầu laser còn lại nhờ kỹ thuật vòng khóa pha. Giao thoa kế (200) có cấu hình đối xứng với hai tia laser vào tách biệt với nhau trong không gian. Hai tia ra là hai chùm tia giao thoa mà sự lệch pha giữa chúng tỉ lệ với quãng đường dịch chuyển của gương đo. Máy đo pha (300) dựa trên kỹ thuật vòng khóa đơn PLL để xác định sự lệch pha giữa hai tín hiệu giao thoa tạo ra từ hai tia giao thoa trên. Máy đo pha gồm hai tín hiệu vào (tham chiếu $I_r = A\cos(\Delta\omega t)$ và đo $I_m = B\cos(\Delta\omega t + \theta_m)$) và một tín hiệu ra (sự lệch pha θ_m). I_r được chia thành hai phần I_{r1} và I_{r2} và bị dịch pha đi $\Phi - \pi/2$ và Φ rad nhờ hai bộ dịch pha tương ứng. Máy tính (400) tính sự thay đổi pha Φ ra dịch chuyển L và lưu lại.



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến thiết bị dùng trong lĩnh vực đo siêu chính xác trong các phòng thí nghiệm, các trung tâm đo lường kiểm định, các phòng kiểm tra chất lượng sản phẩm tại các nhà máy cụ thể là hệ thống giao thoa kế hai tần số heterodyne đo dịch chuyển tốc độ cao và độ phân giải cao.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Công nghệ nano, kỹ thuật xử lý siêu chính xác, gia công và sản xuất bán dẫn đang ngày càng trở thành những lĩnh vực quan trọng trong các ứng dụng công nghiệp. Các ngành này hiện đang ảnh hưởng đáng kể đến sự phát triển các vật liệu mới và sản phẩm mới. Tiềm năng của những lĩnh vực trên là một trong những trụ cột lớn đáp ứng những thách thức kinh tế và xã hội trong thế kỷ 21. Cùng với sự phát triển của các lĩnh vực công nghiệp kể trên cũng như nhu cầu tăng năng suất và hiệu quả sản xuất, các máy/thiết bị đo dịch chuyển/vị trí với yêu cầu tốc độ đo lớn, độ phân giải đo cao (dưới 1 nm và thậm chí là 10 pm) là rất cần thiết và cấp thiết để đáp ứng tốt các nhu cầu trên.

Một hệ đo dịch chuyển/vị trí với độ phân giải dưới 1 nm tới 10 pm thường sử dụng các hệ giao thoa kế kết hợp với bàn dịch chuyển áp điện (PZT)/cuộn âm (voice coil). Trong đó, chuyển động/dịch chuyển áp điện PZT là một trong những cách đầy hứa hẹn nhất để tạo ra các dịch chuyển cơ khí siêu nhỏ như trên nếu cơ cấu PZT kết hợp với một bàn lò xo có cứng phù hợp. Còn dịch chuyển cuộn âm lại là một trong cách rất phù hợp để tạo ra các dịch chuyển cơ khí tốc độ cao, bởi dịch chuyển tương đối giữa cuộn dây và nam châm vĩnh cửu là rất nhỏ/không ma sát do giữa cuộn dây và nam châm vĩnh cửu là một lớp không khí. Các dịch chuyển trên, đặc biệt là các bước dịch chuyển siêu nhỏ dưới 1 nm tới 10 pm cần được đo và kiểm tra để đảm

bảo độ chính xác và tin cậy trong quá trình thực hiện dịch chuyển. Do đó, yêu cầu hệ đo kết chặt chẽ với hệ dịch chuyển để tạo thành một hệ thống nhất có độ tin cậy và chính xác cao cần phải được thực hiện.

Giao thoa kế laze là hệ thống đo quang học không tiếp xúc, có độ chính xác cao. Giao thoa kế sử dụng nguyên lý giao thoa để xác định sự dịch chuyển vật đo nhờ sự thay đổi vân. Sự thay đổi vân có thể nhận biết được từ các dịch chuyển cỡ bước sóng ánh sáng λ (từ 450 nm tới 780 nm) hoặc thấp hơn nhờ một số kỹ thuật đo. Như vậy, giao thoa kế rất phù hợp với các phép đo dịch chuyển nhỏ, cỡ bước nm hay nhỏ hơn 1 nm bởi vì khả năng của phương pháp có thể đạt phép đo tới định nghĩa chuẩn mét ($= \lambda$). Do giao thoa kế đo là không tiếp xúc và các kỹ thuật xử lý đo được thực hiện trên các thiết bị phân cứng mạnh, hệ có thể thực hiện dịch chuyển và đo với tốc độ cao (cỡ vài m/s), vùng đo rộng (cỡ mm) và đạt độ phân giải cao (cỡ dưới nm).

Hiện nay có một số phương pháp và hệ giao thoa kế quang học đo dịch chuyển đã có khả năng thực hiện các phép đo có độ dịch chuyển bước dưới nm và thậm chí là pm. Các phương pháp gồm giao thoa Fabry-Perot, giao thoa homodyne, giao thoa heterodyne hai tần số, giao thoa homodyne kết hợp với kỹ thuật điều biên pha (hoặc tần số) dạng tín hiệu sin, encoder quang (mã hóa quang học) (hoặc là giao thoa kế cách tử tương đương) kết hợp với kỹ thuật điều biên tần số dạng tín hiệu sin và máy đo phát hiện sóng hấp dẫn dùng giao thoa kế. Giao thoa kế Fabry-Perot sử dụng buồng cộng hưởng cho phép đo có độ chính xác cao, tuy nhiên hệ đòi hỏi sự ổn định cao và cấu hình phức tạp nên rất khó áp dụng trong lĩnh vực công nghiệp. Giao thoa kế homodyne có cấu hình đơn giản với một nguồn laze He-Ne ổn định, bộ tách tia, hai gương (một gương tham chiếu và một gương dịch chuyển) và hệ xử lý tín hiệu đo nên áp dụng được phép đo chuyển động trong công nghiệp. Nhược điểm của hệ này không thể xác định được hướng dịch chuyển đối tượng đo. Các giao thoa kế homodyne, encoder quang và giao thoa kế cách tử kết hợp điều biên tần số/pha

có cấu hình phức tạp. Việc kiểm soát sự ổn định tần số của laze để thực hiện kỹ thuật điều biến tần số/pha được ổn định. Do đó cấu hình hệ trở lên phức tạp, phải điều khiển nhiều thông số và giá thành cao.

Giao thoa kế hai tần số heterodyne đã được sử dụng không chỉ trong các phòng thí nghiệm, nghiên cứu mà hệ còn được ứng dụng trong các thiết bị công nghiệp như làm hệ đo cho hệ quang khắc gia công bán dẫn, hệ đo kiểm nghiệm các bàn dịch chuyển máy gia công CNC và máy đo ba tọa độ CMM. Ưu điểm thứ nhất là có khả năng đo dịch chuyển với độ phân giải từ nm tới 10 pm, phạm vi đo cỡ mm và tốc độ có thể đạt vài m/s nhưng lại có khả năng chống nhiễu cao. Tần số chấp của hệ mang thông tin dịch chuyển của vật đo có thể đạt từ vài MHz tới 20 MHz (Agilent, Zygo...). Nó có thể đạt vài chục tới hàng trăm MHz (các giao thoa kế dùng bộ mô đun sóng âm – quang học (AOM)). Do đó tín hiệu này sẽ nằm xa các thành phần DC (dòng một chiều). Điều này giúp cho tín hiệu tránh bị ảnh hưởng từ các nguồn nhiễu tần số thấp lẫn trong các thành phần DC. Ưu điểm thứ hai là nó có cấu tạo đơn giản và dễ lắp đặt so với các hệ giao thoa trên. Nó dễ dàng làm thiết bị đo gắn vào bàn dịch chuyển của hệ gia công theo cả ba trục X, Y và Z. Hệ gia công quang khắc đã dùng hệ heterodyne làm hệ đo. Các máy CNC, CMM đã dùng này để căn chỉnh lại máy với độ chính xác dưới 1 μm .

Thường các giao thoa kế hai tần số heterodyne thương mại thường kết hợp với máy đo pha dựa trên phương pháp đếm xung (pulse counting) để đo dịch chuyển. Tốc độ đo có thể đạt 2 m/s. Nhược điểm là phương pháp nếu đạt được độ phân giải cao sẽ làm giảm tốc độ đo tối đa xuống và ngược lại. Ở đây có sự xung đột về độ phân giải với tốc độ đo của phương pháp. Gần đây một số loại máy đo pha khác đã được ứng dụng tới hệ giao thoa heterodyne. Chúng là máy đo pha sử dụng phương pháp khuếch đại khóa tần (lock-in amplifier (LIA)) hai pha, phương pháp biến đổi Fourier rời rạc, phương pháp vòng khóa pha kép (two phase-lock loops (PLLs)) và phương pháp LIA kết hợp với PLL.

Phương pháp LIA hai pha sử dụng phép tính arctan để tìm ra dịch chuyển với độ phân giải cao. Hạn chế của phương pháp này là thuật toán arctan nặng nề và phức tạp. Rất khó để áp dụng phương pháp này trong các mạch tính toán xử lý tín hiệu tốc độ cao. Tương tự, phương pháp biến đổi Fourier sử dụng thuật toán Fourier rời rạc cho độ phân giải cao nhưng thuật toán nặng nề. Tốc độ tính toán bị hạn chế do khó đưa thuật toán tới các mạch xử lý tốc độ cao. Các phương pháp PLL kép và phương pháp kết hợp PLL với LIA đã cải thiện độ phân giải đo và tốc độ đo. Pha và tần số của tín hiệu giao thoa heterodyne thực đều được so sánh với pha và tần số của tín hiệu số nhân tạo sinh ra từ bộ tạo dao động được điều khiển bằng số (numerically controlled oscillator (NCO)). Cả phương pháp PLL kép và phương pháp kết hợp PLL với LIA đều điều khiển cả pha và tần số của tín hiệu nhân tạo chạy theo để khóa pha và tần số thực của tín hiệu giao thoa. Lỗi khóa tần số trong PLL có thể bị lẫn với pha thu được làm giảm độ chính xác phép đo.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Do đó, mục đích của sáng chế là đề xuất hệ thống giao thoa kế hai tần số heterodyne đo dịch chuyển đo dịch chuyển tốc độ cao và độ phân giải cao nhằm khắc phục nhược điểm của các phương pháp đã biết nêu trên. Để đạt được mục đích trên, sáng chế đề xuất hệ thống đo dịch chuyển bằng giao thoa kế hai tần số heterodyne bao gồm:

cụm nguồn laze hai tần số f_1 và f_2 ổn định và tách biệt với nhau trong không gian hướng về giao thoa kế, trong đó:

loại thứ nhất là một đầu laze He-Ne được ổn định tần số với tần số trung tâm f_0 kết hợp với hai mô đun âm quang AOM (Acousto-optic modulator),

loại thứ hai là hai đầu laze ổn định tần số có cùng bước sóng trung tâm λ_0 . Loại thứ nhất gồm một đầu laze He-Ne ổn định tần số ở f_0 , một bộ cách ly Faraday, một bộ tách tia BS (beam splitter), bộ tạo sóng FG, hai bộ mô đun

âm quang AOM, hai tấm lỗ kim (pinhole) và một gương phản xạ, bộ cách ly chỉ cho tia laze từ đầu He-Ne phát ra nhưng ngăn không cho tia sáng quay trở lại đầu laze, bộ tách tia BS chia tia tới thành hai phần, hai phần tới hai mô đun âm quang AOM được mô đun bằng tín hiệu sạch từ bộ tạo sóng/tín hiệu mẫu FG, hai mô đun âm quang AOM được mô đun làm nhiễu xạ các tia tới thành nhiễu xạ bậc nhiễu xạ, hai tấm lỗ kim chỉ cho tia có nhiễu xạ bậc một truyền qua và chặn các ánh sáng còn lại, hai tia nhiễu xạ bậc một có các tần số f_1 và f_2 được tách biệt trong không gian và hướng tới giao thoa kế,

tần số chập giữa hai tia là $\Delta f = |f_1 - f_2|$. Δf có thể điều chỉnh nhờ chỉnh tín hiệu mô đun trên hai mô đun âm quang AOM,

loại thứ hai có hai đầu laze He - Ne ổn định tần số có cùng bước sóng trung tâm λ_0 , ba bộ tách chùm BS, gương phản xạ, hệ thu tín hiệu và điều khiển dựa trên nguyên lý vòng khóa pha PLL và bộ tạo sóng/tín hiệu mẫu FG, một đầu laze độc lập còn đầu laze thứ hai phụ thuộc vào đầu laze thứ nhất, đầu laze thứ nhất và đầu laze thứ hai có tần số lần lượt là f_1 và f_2 , tần số f_2 sẽ được điều chỉnh theo tần số f_1 nhờ hệ thu tín hiệu và điều khiển theo nguyên lý vòng khóa pha (PLL) được hỗ trợ bởi bộ tạo tín hiệu mẫu FG,

tần số chập $\Delta f = |f_1 - f_2|$ được ổn định bằng cách chỉnh f_2 theo f_1 , Δf có thể là vài MHz tới hàng trăm MHz

giao thoa kế để đo dịch chuyển bao gồm hai tấm nửa bước sóng, một bộ tách chùm tia BS, một lăng kính/gương phản xạ góc, hai gương phẳng phản xạ (gương tham chiếu cố định và gương đo động), nguồn laze có hai chùm tia f_1 và f_2 được tách biệt với nhau trong không gian chiếu tới giao thoa kế, gương đo dịch chuyển nhờ hệ dịch chuyển áp điện PZT còn gương tham chiếu được cố định, bộ tách chùm tia BS tách hai tia laze tới f_1 và f_2 từ nguồn laze, mỗi tia tới được tách thành hai phần: tia phản xạ và tia truyền qua, hai tia phản xạ f_1 và f_2 đi tới và phản xạ trên lăng kính/gương phản xạ góc, quay trở lại và truyền qua BS, đi qua các tấm phân cực và cuối cùng vào các cảm biến quang, tia truyền qua f_1 và f_2 tới các gương tham chiếu và gương đo, phản xạ trên các

gương đó, quay trở lại và phản xạ trên BS, truyền qua các tấm phân cực và cuối cùng vào các cảm biến quang, trên các cảm biến quang, hai tín hiệu giao thoa điều hòa được tạo ra, sự lệch pha giữa hai tín hiệu có liên quan tỉ lệ với quãng đường dịch chuyển của gương đo, sử dụng máy đo pha để tính sự lệch pha và dịch chuyển gương động tương ứng,

máy đo pha dựa trên kỹ thuật vòng khóa đơn PLL để xác định sự lệch pha θ_m giữa hai tín hiệu giao thoa, máy đo pha gồm hai tín hiệu đầu vào (tín hiệu tham chiếu và tín hiệu đo) và một tín hiệu đầu ra (θ_m), các tín hiệu vào là các tín hiệu dao động điều hòa (dạng hàm sin hoặc hàm cosin) có tần số mô đun là $\Delta\omega$, tín hiệu ra θ_m là sự lệch pha giữa hai tín hiệu vào, tín hiệu tham chiếu có pha ban đầu không đổi, tín hiệu đo có pha thay đổi theo thời gian do dịch chuyển của gương đo/đối tượng đo, sự thay đổi pha của tín hiệu đo sẽ bằng với sự thay đổi tín hiệu ra của máy đo pha và bằng θ_m ,

hai tín hiệu vào tham chiếu I_r và đo I_m có dạng như sau:

$$I_r = A\cos(\Delta\omega t), \quad (1)$$

$$I_m = B\cos(\Delta\omega t + \theta_m), \quad (2)$$

trong đó A , B , $\Delta\omega (=2\pi\Delta f)$ và Δf lần lượt là biên độ của các tín hiệu I_r và I_m , tần số góc chập và tần số chập của nguồn laze,

tín hiệu I_r được chia thành hai phần, một phần được gửi đến bộ dịch pha thứ nhất, và phần còn lại được gửi đến bộ dịch pha thứ 2,

bộ dịch pha thứ nhất sẽ dịch pha của I_r một lượng pha $\Phi - \pi/2$ rad và tín hiệu ra I_{r1} là

$$I_{r1} = A\cos(\Delta\omega t)\sin\Phi + A\sin(\Delta\omega t)\cos\Phi = A\sin(\Delta\omega t + \Phi). \quad (3)$$

bộ dịch pha thứ hai sẽ dịch pha của I_r một lượng Φ rad và tín hiệu ra I_{r2} là

$$I_{r2} = A\cos(\Delta\omega t)\cos\Phi - A\sin(\Delta\omega t)\sin\Phi = A\cos(\Delta\omega t + \Phi). \quad (4)$$

tín hiệu đo I_m được chia thành hai phần, một phần giữ nguyên cùng pha ($B\cos(\Delta\omega t + \theta_m)$) và phần khác bị dịch pha đi $\pi/2$ rad (dạng $B\sin(\Delta\omega t + \theta_m)$), sau

đó, I_{r1} and I_{r2} được nhân lần lượt với các phần $B\cos(\Delta\omega t + \theta_m)$ và $B\sin(\Delta\omega t + \theta_m)$ của tín hiệu I_m để tạo ra các tích,

các tích này lần lượt là $AB\sin(\Delta\omega t + \Phi)\cos(\Delta\omega t + \theta_m)$ và $AB\cos(\Delta\omega t + \Phi)\sin(\Delta\omega t + \theta_m)$, lấy hai tích trừ đi cho nhau để tạo ra tín hiệu tín hiệu lỗi O_r có dạng như sau:

$$O_r = AB\sin(\Delta\omega t + \Phi)\cos(\Delta\omega t + \theta_m) - AB\cos(\Delta\omega t + \Phi)\sin(\Delta\omega t + \theta_m), \quad (5)$$

$$O_r = AB\sin(\Phi - \theta_m) \approx AB(\Phi - \theta_m).$$

Theo một phương án của sáng chế, nguồn laze thứ nhất gồm một đầu laze He-Ne ổn định tần số ở f_0 , một bộ cách ly Faraday, một bộ tách tia BS, một bộ tạo sóng, hai bộ mô đun âm quang AOM, hai tấm lỗ kim và gương phản xạ.

Theo một phương án khác của sáng chế, nguồn laze thứ hai bao gồm đầu laze thứ nhất và đầu laze thứ hai, ba bộ tách tia BS, gương phản xạ, hệ thu tín hiệu và điều khiển và bộ tạo sóng FG.

Theo một phương án khác của sáng chế, bộ dịch pha bao gồm bộ dịch ph, bộ dịch pha, bộ dịch pha, bộ nhân, bộ nhân và bộ cộng.

Theo một phương án khác của sáng chế, trong đó bộ dịch pha bao gồm bộ dịch pha, bộ dịch pha, bộ dịch pha, bộ nhân, bộ nhân và bộ trừ.

Theo một phương án khác của sáng chế, bộ dịch pha và bộ dịch pha là bộ lọc Hilbert hoặc hàm biến đổi Hilbert.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1a là thể hiện sơ đồ nguồn laze hai tần thứ nhất của nguồn laze hai tần số theo sáng chế.

Hình 1b là thể hiện sơ đồ nguồn laze hai tần thứ hai của nguồn laze hai tần số theo sáng chế.

Hình 2 là thể hiện sơ đồ của hệ thống đo dịch chuyển bằng giao thoa kế kết hợp với máy đo pha theo sáng chế.

Hình 3a là thể hiện sơ đồ nguyên lý của máy đo pha dựa trên kỹ thuật vòng khóa pha đơn để xác định sự dịch chuyển của gương/đối tượng chuyển động trong giao thoa kế hai tần số heterodyne theo sáng chế.

Hình 3b thể hiện sơ đồ nguyên lý của bộ dịch pha thứ nhất của máy đo pha theo một phương án của sáng chế.

Hình 3c thể hiện sơ đồ nguyên lý của bộ dịch pha thứ hai của máy đo pha theo một phương án của sáng chế.

Mô tả chi tiết sáng chế

Mục đích của sáng chế là đề xuất hệ thống giao thoa kế hai tần số heterodyne đo dịch chuyển tốc độ cao và độ phân giải cao sử dụng giao thoa kế hai tần số heterodyne với máy giao đo pha dựa trên vòng khóa pha PLL đơn. Để đạt mục đích trên, hệ thống đo dịch chuyển bằng giao thoa kế heterodyne bao gồm:

nguồn laze hai tần số 100, giao thoa kế 200, máy đo pha 300 và máy tính 400.

Như được thể hiện ở Hình 1, nguồn laze hai tần số 100 bao gồm: nguồn laze thứ nhất 11 là một đầu laze He-Ne được ổn định tần số với tần số trung tâm f_0 , nguồn laze thứ hai 12 là hai đầu laze ổn định tần số có cùng bước sóng trung tâm λ_0 .

Như thể hiện ở Hình 1a nguồn laze thứ nhất 11 bao gồm đầu laze He – Ne 111 ổn định tần số ở f_0 , bộ cách ly Faraday 112, bộ tách tia BS 113 (beam splitter), bộ tạo sóng FG (Function Generator) 114, hai bộ mô đun âm quang AOM (Acousto-optic modulator) 115 và 116, hai tấm lỗ kim (pinhole) 117 và 118 và gương phản xạ 119. Bộ cách ly Faraday 112 có chức năng chỉ cho tia laze từ nguồn laze thứ nhất 11 phát ra và ngăn không cho tia sáng quay trở lại nguồn laze thứ nhất 11. Bộ tách tia BS 113 chia tia tới thành hai phần: tia thứ nhất tới mô đun âm quang AOM 115 được mô đun bằng tín hiệu điện sạch phát ra từ bộ tạo sóng FG 114, tia thứ hai phản xạ ở gương 119 và tới mô đun âm quang AOM 116 được mô đun bằng tín hiệu sạch phát ra từ bộ tạo sóng

FG 114. Các tia laze qua hai bộ mô đun âm quang AOM 115 và 116 bị mô đun sẽ tạo ra các tia nhiễu xạ. Các tia nhiễu xạ bậc một sẽ tới tấm lỗ kim 117 và 118 còn các thành phần nhiễu xạ bậc khác sẽ bị chặn lại bởi tấm lỗ kim 117 và 118. Tia nhiễu xạ bậc một qua lỗ kim 117 có tần số $f_1 = f_0 - \delta f_1$, trong đó δf_1 là tần số dịch do bộ mô đun âm quang AOM 115 mô đun tia laze tới. Tia nhiễu xạ bậc một qua lỗ kim 118 có tần số $f_2 = f_0 + \delta f_2$, trong đó δf_2 là tần số dịch do bộ mô đun âm quang AOM 118 mô đun tia laze tới, tần số f_1 và f_2 sai khác nhỏ và tần số chập $\Delta f = |f_1 - f_2|$ có thể điều chỉnh được nhờ mô đun tín hiệu trên hai bộ mô đun âm quang AOM 117 và 118. Δf có thể điều chỉnh từ 1 kHz tới 20 MHz.

Như thể hiện ở Hình 1b nguồn laze thứ hai 12 bao gồm đầu laze thứ nhất 121 và đầu laze thứ hai 122, ba bộ tách tia BS 123, 124 và 125, gương phản xạ 126, hệ thu tín hiệu và điều khiển 127 dựa trên nguyên lý vòng khóa pha PLL hoặc nguyên lý điều khiển vi tích phân tỉ lệ (PID-Proportional integral derivative) và bộ tạo sóng FG 128. Đầu laze thứ nhất 121 độc lập, đầu laze thứ hai 122 có tần số phụ thuộc vào đầu laze thứ nhất 121. Đầu laze thứ nhất 121 và đầu laze thứ hai 122 có tần số lần lượt là f_1 và f_2 . Tần số f_2 của đầu laze thứ hai 122 được điều chỉnh theo tần số f_1 của đầu laze thứ nhất 121 nhờ hệ thu tín hiệu và điều khiển 127 được hỗ trợ bởi bộ tạo sóng FG 128. Tần số chập $\Delta f = |f_1 - f_2|$ được điều chỉnh bằng cách chỉnh f_2 . Δf có thể điều chỉnh từ 2 MHz tới 500 MHz

Như được thể hiện ở Hình 2, giao thoa kế 200 bao gồm hai tấm nửa bước sóng 20 và 21, bộ tách chùm tia BS 22, gương phản xạ góc 23, gương phẳng tham chiếu phản xạ 25 được gắn cố định, gương phẳng đo động 26, gương phẳng đo động 26 di chuyển nhờ hệ dịch chuyển áp điện PZT (gương tham chiếu cố định 25 và gương đo động 26). Nguồn laze 100 phát hai chùm tia laze có hai tần số f_1 và f_2 được tách biệt với nhau trong không gian tới giao thoa kế 200. Hai tấm bước sóng 20 và 21 điều chỉnh độ phân cực các tia laze

tới f_1 và f_2 . Bộ tách tia BS 22 tách hai tia laze f_1 và f_2 từ nguồn laze 100, mỗi tia laze tới được tách thành hai phần: tia phản xạ và tia truyền qua. Hai tia phản xạ f_1 và f_2 đi tới và phản xạ trên gương phản xạ góc 23, quay trở lại và truyền qua bộ tách tia BS 22, đi qua các tấm phân cực 27 và 28 và vào các cảm biến quang 29 và 210. Tia truyền qua f'_1 và f'_2 tới gương phẳng tham chiếu phản xạ 25 và gương phẳng đo động 26, phản xạ trên gương phẳng tham chiếu phản xạ 25 và gương phẳng đo động 6, quay trở lại và phản xạ trên bộ tách tia BS 22, truyền qua các tấm phân cực 27, 28 và vào các cảm biến quang 29 và 210. Tia truyền qua f'_1 phản xạ từ gương phẳng tham chiếu phản xạ 25 giao thoa với tia phản xạ f_2 từ lăng kính/gương phản xạ góc 23 tại bộ tách tia BS 22. Tia giao thoa qua tấm phân cực 28 và vào cảm biến quang 210 để tạo ra tín hiệu giao thoa. Tín hiệu giao thoa có tần số chập $\Delta f = f_2 - f'_1$ do gương phẳng tham chiếu phản xạ 25. Tia truyền qua f'_2 phản xạ từ gương phẳng đo động 26 sẽ giao thoa với tia phản xạ f_1 tại bộ tách tia BS 22. Tia giao thoa qua tấm phân cực 27 và vào cảm biến quang 29 để tạo ra tín hiệu giao thoa. Tín hiệu giao thoa có tần số chập $\Delta f + \Delta f_D = f'_2 - f_1 + \Delta f_D$, trong đó Δf_D là tần số Doppler sinh ra do gương phẳng đo động 26 chuyển động. Giả sử gương phẳng đo động 26 dịch một quãng đường ΔL với vận tốc V trong thời gian τ thì sự thay đổi pha φ_m giữa hai tín hiệu giao thoa trên cảm biến quang 29 và 210 là

$$\varphi_m = 2\pi \int_0^\tau \Delta f_D dt = \frac{4\pi n}{\lambda} \int_0^\tau V dt = \frac{4\pi n}{\lambda} \Delta L \quad (1)$$

trong đó, n và λ chiết suất không khí và bước sóng nguồn laze trong chân không tương ứng. Để lọc các nhiễu không mong muốn, các bộ lọc dải băng thông hẹp 211 và 212 được đặt ngay sau các cảm biến quang 29 và 210. Các tia truyền qua f_1 và f_2 được tách biệt không gian, các tia phản xạ f'_1 và f'_2 cùng phương nhưng khác hướng và có tính đối xứng. Với bố trí các thiết bị như trên loại bỏ khả năng các tia laze f_1 và f_2 truyền lẫn lộn trong hệ và do đó các lỗi phi tuyến chu kỳ được loại bỏ. Vai trò của các tia laze f_1 và f_2 ra khỏi nguồn laze

100 là như nhau nên có thể thay đổi vị trí các tia f_1 và f_2 cho nhau (tức là tia f_1 ở dưới và tia f_2 ở trên hoặc ngược lại như thể hiện trong Hình 2) thì quá trình xảy ra ở trên không thay đổi.

Như được thể hiện ở Hình 3a, máy đo pha 300 sử dụng nguyên lý vòng khóa pha PLL đơn để phát hiện sự thay đổi pha φ_m giữa hai tín hiệu giao thoa trên hai cảm biến quang 29 và 210. Nguyên lý máy đo pha 300 gồm hai tín hiệu đầu vào: tín hiệu tham chiếu 31, tín hiệu đo 32 và một tín hiệu đầu ra 315. Tín hiệu tham chiếu 31, tín hiệu đo 32 là các tín hiệu dao động điều hòa có tần số mô đun là $\Delta\omega$. Tín hiệu đầu ra 315 là tín hiệu tham chiếu 31 và tín hiệu đo 32. Pha của tín hiệu tham chiếu 31 là hằng số còn pha của tín hiệu đo 32 thay đổi theo thời gian do dịch chuyển của gương phẳng đo động 26. Sự thay đổi pha của tín hiệu đo 32 sinh ra do hiệu ứng Doppler với tần số đặc trưng. Sự thay đổi pha của tín hiệu đo 32 sẽ bằng với sự thay đổi tín hiệu đầu ra 315 θ_m . Hai tín hiệu tham chiếu 31 và tín hiệu đo 32 được biểu diễn dưới dạng hàm cosin hoặc hàm sin tương tự lần lượt như sau:

$$I_r = A\cos(\Delta\omega t), \quad (2)$$

$$I_m = B\cos(\Delta\omega t + \theta_m), \quad (3)$$

Trong đó A và B lần lượt là biên độ của tín hiệu tham chiếu 31 và tín hiệu đo 32, $\Delta\omega$ ($=2\pi\Delta f$) là tần số góc chấp và Δf là tần số chấp của nguồn laze.

Như thể hiện ở Hình 3a, máy đo pha 300 bao gồm bộ dịch pha 33, bộ dịch pha 34 và bộ dịch pha 35, bộ nhân 38, bộ nhân 39, bộ trừ 313 và bộ tích phân 314, tín hiệu đầu vào của máy đo pha 300 bao gồm tín hiệu tham chiếu 31, tín hiệu đo 32 và tín hiệu đầu ra 315, tín hiệu 315 là sự lệch pha giữa tín hiệu tham chiếu 31 và tín hiệu đo 32: θ_m , tín hiệu tham chiếu 31 và tín hiệu đo 32 có dạng dao động điều hòa (sin hoặc cosin) với tần số mô đun là $\Delta\omega$. Tín hiệu tham chiếu 31 có pha ban đầu không đổi, tín hiệu đo 32 có pha thay đổi theo dịch chuyển của gương phẳng đo động 26, sự thay đổi pha của tín hiệu đo

32 do hiệu ứng Doppler với tần số đặc trưng, sự thay đổi pha của tín hiệu đo 32 bằng với sự thay đổi, tín hiệu 315 là θ_m , tín hiệu tham chiếu 31 được chia thành hai phần, tín hiệu tham chiếu 31' được gửi đến bộ dịch pha 33 và tín hiệu tham chiếu 31'' được gửi đến bộ dịch pha 34, bộ dịch pha 33 sẽ dịch pha tín hiệu tham chiếu 31' một lượng pha $\Phi - \pi/2$ rad tạo ra tín hiệu 36, bộ dịch pha 34 sẽ dịch pha tín hiệu tham chiếu 31'' một lượng Φ rad tạo ra tín hiệu 37 tín hiệu đo 32 chia thành hai phần, tín hiệu đo 32' cùng pha với tín hiệu 32 $B\cos(\Delta\omega t + \theta_m)$, tín hiệu đo 32' và tín hiệu đo 36 qua bộ nhân 38 để tạo ra tích 310 và tín hiệu đo 32'' qua bộ dịch pha 35 dịch pha $\pi/2$ rad dạng $B\sin(\Delta\omega t + \theta_m)$, tín hiệu 32'' và tín hiệu 37 qua bộ nhân 39 tạo ra tích 311. Tích 310 và tích 311 qua bộ trừ 312 tạo ra tín hiệu lỗi 313 có dạng $\approx AB(\Phi - \theta_m)$,

$$O_r = AB\sin(\Delta\omega t + \Phi)\cos(\Delta\omega t + \theta_m) - AB\cos(\Delta\omega t + \Phi)\sin(\Delta\omega t + \theta_m), \quad (4)$$

$$O_r = AB\sin(\Phi - \theta_m) \approx AB(\Phi - \theta_m).$$

tín hiệu lỗi 313 được điều chỉnh về không nhờ một bộ tích phân 314 để pha $\Phi = \theta_m$, bộ tích phân 314 tích lũy sự thay đổi Φ theo θ_m , tín hiệu ra 315 được lấy lọc bởi hai bộ lọc 316 và 317 được chuyển đổi sang giá trị dịch chuyển bởi máy tính 400.

Như thể hiện ở Hình 3b, theo một phương án của sáng chế bộ dịch pha 33 bao gồm bộ dịch pha 319, bộ dịch pha 320, bộ dịch pha 321, bộ nhân 324, bộ nhân 322 và bộ cộng 326. Tín hiệu đo 31' được chia thành hai phần: tín hiệu 31'a giữ nguyên và cùng pha ($\cos(\Delta\omega t)$) và tín hiệu 31'b dịch pha $\pi/2$ rad qua bộ lọc Hilbert 319 và trở thành hàm $\sin(\Delta\omega t)$. Tín hiệu thực 315 được chia thành hai tín hiệu: tín hiệu 315' đi qua bộ dịch pha 320, tín hiệu 315'' đi qua bộ dịch pha 321. Tín hiệu 31'b và tín hiệu 315' sau khi đi qua bộ dịch pha 320 qua bộ nhân 322 tạo ra tích 323, tín hiệu 31'a và tín hiệu 315'' sau khi đi qua bộ dịch pha 321 qua bộ nhân 324 tạo ra tích 325. Tích 323 và tích 325 đi qua bộ cộng 326 để tạo ra tín hiệu 36. Tín hiệu 36 được hiển thị như sau:

$$I_{r1} = A\cos(\Delta\omega t)\sin\Phi + A\sin(\Delta\omega t)\cos\Phi = A\sin(\Delta\omega t + \Phi). \quad (5)$$

Như thể hiện ở Hình 3c, theo một phương án của sáng chế bộ dịch pha 34 bao gồm bộ dịch pha 327, bộ dịch pha 328, bộ dịch pha 329, bộ nhân 330, bộ nhân 332 và bộ trừ 335. Tín hiệu đo 31'' được chia thành hai phần: tín hiệu 31''a giữ nguyên cùng pha ($\cos(\Delta\omega t)$) và tín hiệu 31''b dịch pha $\pi/2$ rad qua bộ dịch pha 327 và trở thành hàm sin ($\Delta\omega t$). Tín hiệu thực 315 được chia thành hai tín hiệu: tín hiệu 315' đi qua bộ dịch pha 329, tín hiệu 315'' đi qua bộ dịch pha 328. Tín hiệu 31''b và tín hiệu 315' sau khi đi qua bộ dịch pha 329 qua bộ nhân 332 tạo ra tích 333, tín hiệu 31''a và tín hiệu 315'' sau khi đi qua bộ dịch pha 329 qua bộ nhân 330 tạo ra tích 331. Tích 331 và tích 333 đi qua bộ trừ 324 để tạo ra tín hiệu 37. Tín hiệu 37 được hiển thị như sau:

$$I_{r2} = A\cos(\Delta\omega t)\cos\Phi - A\sin(\Delta\omega t)\sin\Phi = A\cos(\Delta\omega t + \Phi). \quad (6)$$

Theo một phương án của sáng chế, bộ dịch pha 319 và bộ dịch pha 327 là bộ lọc Hilbert hoặc hàm biến đổi Hilbert.

Hiệu quả đạt được của sáng chế

Hệ thống đo giao thoa kế hai tần số heterodyne sử dụng vòng khóa pha đơn PLL theo sáng chế giúp tăng độ phân giải, độ chính xác và tốc độ đo so với các phương pháp khác.

Lý do thứ nhất là giao thoa kế có hai tia laze tần số f_1 và f_2 tách biệt hoàn toàn trong không gian trước khi giao thoa. Vì thế các lỗi tuần hoàn, lỗi phi tuyến đặc trưng do lẫn pha và lẫn tần số trong hệ quang bị loại bỏ dẫn đến các phép đo trở lên chính xác.

Lý do thứ hai là hệ có cấu hình đối xứng nên các nhiễu thông thường như giãn nở nhiệt, nhiễu loạn nhiệt, ảnh hưởng môi trường do thay đổi nhiệt độ, áp suất, độ ẩm và nồng độ CO₂, v.v có thể bị làm nhỏ hoặc bị triệt tiêu khi lấy pha chênh lệch của hai tín hiệu giao thoa ở hai nhánh đo và tham chiếu. Cấu hình đối xứng giúp cho phép đo pha và dịch chuyển tương ứng ổn định, độ phân giải cao.

Lý do thứ ba là tín hiệu giao thoa có tần số chập Δf từ vùng kHz tới vùng MHz và chứa thông tin dịch chuyển nhưng pha chứa Δf của tín hiệu lại tỉ lệ nghịch với các nguồn nhiễu tần số thấp trong pha. Do đó tín hiệu heterodyne ít nhạy với nguồn nhiễu tần số thấp này và phép đo pha ít chịu ảnh hưởng nhiễu tần số thấp.

Lý do cuối cùng là giao thoa kế sử dụng phương pháp PLL đơn có khả năng loại bỏ nhiễu nhờ phép trừ pha giữa hai tín hiệu giao thoa vào trong thuật toán. Sử dụng các mạch tích hợp FPGA có hỗ trợ ADC xử lý tốc độ cao có thể thực hiện tính toán tốc độ cao, dẫn đến phép đo pha thực hiện ở tốc độ cao (chẳng). Thuật toán PLL sử dụng bộ lọc băng thông thấp số với tần số cắt phù hợp, được lập trình trên mạch tích hợp có thể cắt và loại bỏ các thành phần nhiễu tần số cao không mong muốn một cách hiệu quả. Do đó thuật toán có thể thực hiện các phép đo pha và dịch chuyển tương ứng với độ phân giải cao. Tóm lại độ phân giải đo cao, tốc độ đo cao, khả năng khử nhiễu mềm dẻo nhưng hiệu quả là các ưu điểm của giao thoa kế dạng này sử dụng máy đo pha PLL.

Dịch chuyển trong giao thoa kế được tạo ra bởi cụm dịch chuyển PZT hoặc cụm voice coil với độ phân giải cao nhưng có thể đạt tốc độ dịch lớn. Điều này đảm bảo giao thoa kế sử dụng máy đo pha PLL thực hiện phép đo dịch chuyển độ phân giải cao, tốc độ cao.

Hệ thống giao thoa kế theo sáng chế có giá thành thấp hơn so với các sản phẩm nhập khẩu cùng loại. Kích thước của hệ thống đo nhỏ gọn, ổn định khi làm việc trong môi trường công nghiệp. Hệ thống này sẽ góp phần đẩy mạnh nghiên cứu về đo lường laze, giảm phụ thuộc vào các sản phẩm nhập khẩu. Hệ thống cũng góp phần đẩy mạnh phát triển các bàn tích hợp dịch chuyển cơ học và đo chính xác theo ba phương XYZ ứng dụng trong các công nghệ gia công cơ khí siêu chính xác, sản xuất bản dẫn, công nghệ nano, v.v.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Hệ thống giao thoa kế hai tần số Heterodyne đo dịch chuyển tốc độ cao và độ phân giải cao bao gồm:

nguồn laze hai tần số (100), giao thoa kế (200), máy đo pha (300) và máy tính (400), trong đó:

nguồn laze hai tần số (100) bao gồm: nguồn laze thứ nhất (11) là một đầu laze He-Ne được ổn định tần số với tần số trung tâm f_0 , nguồn laze thứ hai (12) là hai đầu laze ổn định tần số có cùng bước sóng trung tâm λ_0 , hai chùm tia phát ra là hai tần số f_1 và f_2 được tách biệt với nhau trong không gian,

giao thoa kế (200) bao gồm hai tấm nửa bước sóng (20) và (21), bộ tách chùm tia BS (22), một lăng kính/gương phản xạ góc (23), gương phẳng tham chiếu phản xạ (25) được gắn cố định, gương phẳng đo động (26), gương phẳng đo động (26) di chuyển nhờ hệ dịch chuyển áp điện PZT (gương tham chiếu cố định (25) và gương đo động (26),

bộ tách tia BS (22) tách hai tia laze f_1 và f_2 từ nguồn laze (100), mỗi tia laze tới được tách thành hai phần: tia phản xạ và tia truyền qua, hai tia phản xạ f_1 và f_2 đi tới và phản xạ trên lăng kính/gương phản xạ góc (23), quay trở lại và truyền qua bộ tách tia BS (22), đi qua các tấm phân cực (27) và (28) và vào các cảm biến quang (29) và (210), tia truyền qua f_1 và f_2 tới gương phẳng tham chiếu phản xạ (25) và gương phẳng đo động (26), phản xạ trên gương phẳng tham chiếu phản xạ (25) và gương phẳng đo động (26), quay trở lại và phản xạ trên bộ tách tia BS (22), truyền qua các tấm phân cực (27, 28) và vào các cảm biến quang (29, 210), tia truyền qua f_1 phản xạ từ gương phẳng tham chiếu phản xạ (25) giao thoa với tia phản xạ f_2 từ lăng kính/gương phản xạ góc (23) tại bộ tách tia BS (22), tia giao thoa qua tấm phân cực (28) và vào cảm biến quang (210) để tạo ra tín hiệu giao thoa,

máy đo pha (300) bao gồm bộ dịch pha (33), bộ dịch pha (34) và bộ dịch pha (35), bộ nhân (38), bộ nhân (39), bộ trừ (313) và bộ tích phân (314), tín hiệu đầu vào của máy đo pha (300) bao gồm tín hiệu tham chiếu (31), tín hiệu

đo (32) và tín hiệu đầu ra (315), tín hiệu (315) là sự lệch pha giữa tín hiệu tham chiếu (31) và tín hiệu đo (32): θ_m , tín hiệu tham chiếu (31) và tín hiệu đo (32) có dạng dao động điều hòa (sin hoặc cosin) với tần số mô đun là $\Delta\omega$, tín hiệu tham chiếu (31) có pha ban đầu không đổi, tín hiệu đo (32) có pha thay đổi theo dịch chuyển của gương phẳng đo động (26), sự thay đổi pha của tín hiệu đo (32) do hiệu ứng Doppler với tần số đặc trưng, sự thay đổi pha của tín hiệu đo (32) bằng với sự thay đổi, tín hiệu (315) là θ_m , tín hiệu tham chiếu (31) được chia thành hai phần, tín hiệu tham chiếu (31') được gửi đến bộ dịch pha (33) và tín hiệu tham chiếu (31'') được gửi đến bộ dịch pha (34), bộ dịch pha (33) sẽ dịch pha tín hiệu tham chiếu (31') một lượng pha $\Phi - \pi/2$ rad tạo ra tín hiệu (36), bộ dịch pha (34) sẽ dịch pha tín hiệu tham chiếu (31'') một lượng Φ rad tạo ra tín hiệu (37), tín hiệu đo (32) chia thành hai phần, tín hiệu đo (32') cùng pha với tín hiệu (36) $B\cos(\Delta\omega t + \theta_m)$, tín hiệu đo (32') và tín hiệu đo (36) qua bộ nhân (38) để tạo ra tích (310) và tín hiệu đo (32'') qua bộ dịch pha (35) dịch pha $\pi/2$ rad dạng $B\sin(\Delta\omega t + \theta_m)$, tín hiệu (32'') và tín hiệu (37) qua bộ nhân (39) tạo ra tích (311).

2. Hệ thống giao thoa kế hai tần số Heterodyne đo dịch chuyển tốc độ cao và độ phân giải cao theo điểm 1, trong đó:

nguồn laze thứ nhất (11) gồm một đầu laze He-Ne (111) ổn định tần số ở f_0 , một bộ cách ly Faraday (112), một bộ tách tia BS (113), một bộ tạo sóng (114), hai bộ mô đun âm quang AOM (115) và (116), hai tấm lỗ kim (117) và (118) và gương phản xạ (119).

3. Hệ thống giao thoa kế hai tần số Heterodyne đo dịch chuyển tốc độ cao và độ phân giải cao theo điểm 1, trong đó:

nguồn laze thứ hai (12) bao gồm đầu laze thứ nhất (121) và đầu laze thứ hai (122), ba bộ tách tia BS (123), (124) và (125), gương phản xạ (126), hệ thu tín hiệu và điều khiển (127) và bộ tạo sóng FG (128).

4. Hệ thống giao thoa kế hai tần số Heterodyne đo dịch chuyển tốc độ cao và độ phân giải cao theo điểm 1, trong đó bộ dịch pha (33) bao gồm:

bộ dịch pha (319), bộ dịch pha (320), bộ dịch pha (321), bộ nhân (324), bộ nhân (322) và bộ cộng (326).

5. Hệ thống giao thoa kế hai tần số Heterodyne đo dịch chuyển tốc độ cao và độ phân giải cao theo điểm 1, trong đó bộ dịch pha (34) bao gồm:

bộ dịch pha (327), bộ dịch pha (328), bộ dịch pha (329), bộ nhân (330), bộ nhân (332) và bộ trừ (335).

6. Hệ thống giao thoa kế hai tần số Heterodyne đo dịch chuyển tốc độ cao và độ phân giải cao theo điểm 1, trong đó:

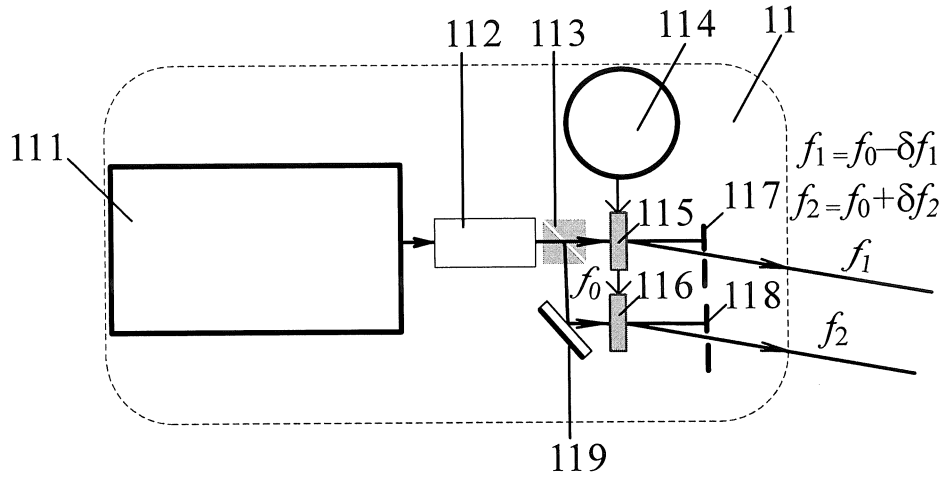
bộ dịch pha (319) và bộ dịch pha (327) là bộ lọc Hilbert hoặc hàm biến đổi Hilbert.

7. Hệ thống giao thoa kế hai tần số Heterodyne đo dịch chuyển tốc độ cao và độ phân giải cao theo điểm 1, trong đó:

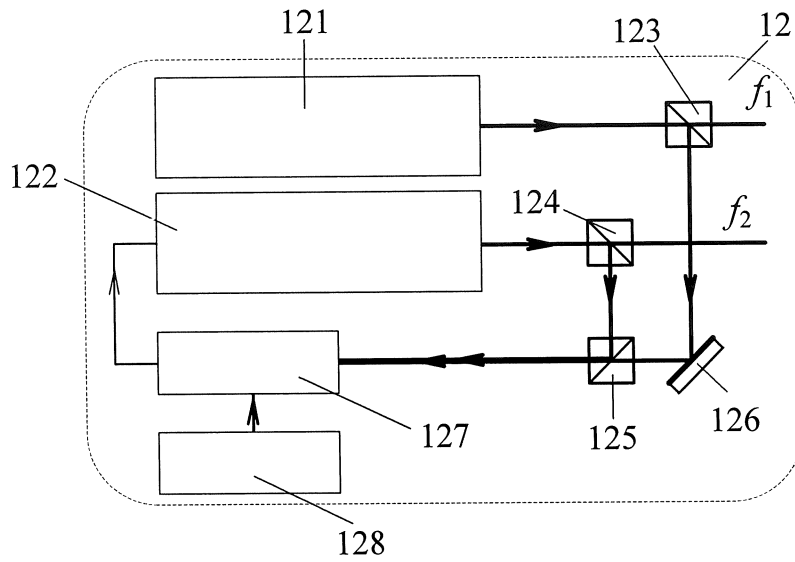
tích (310) và tích (311) qua bộ trừ (312) tạo ra tín hiệu lỗi (313) có dạng $\approx AB(\Phi - \theta_m)$,

$$O_r = AB\sin(\Delta\omega t + \Phi)\cos(\Delta\omega t + \theta_m) - AB\cos(\Delta\omega t + \Phi)\sin(\Delta\omega t + \theta_m),$$

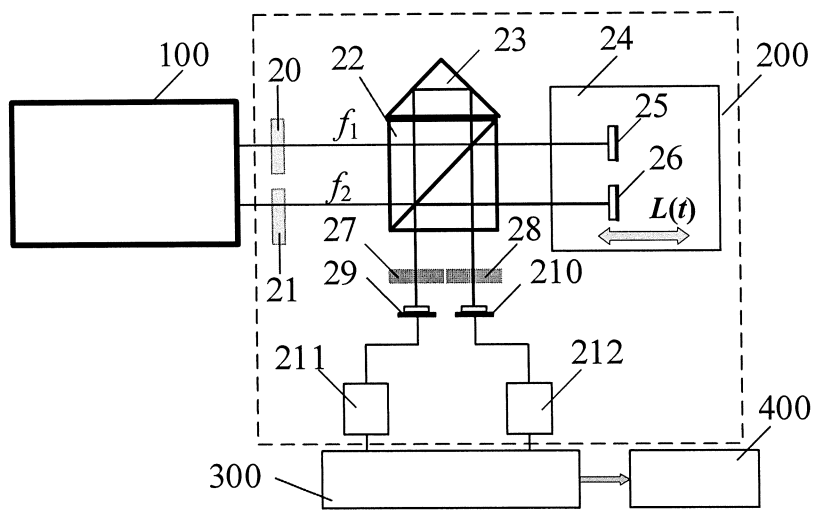
$$O_r = AB\sin(\Phi - \theta_m) \approx AB(\Phi - \theta_m).$$



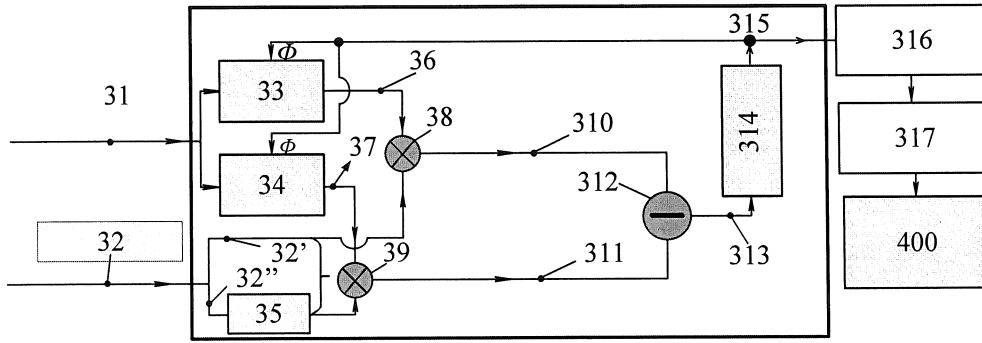
Hình 1a



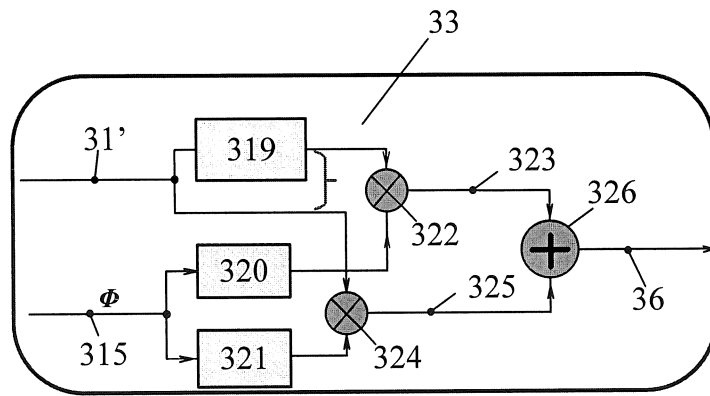
Hình 1b



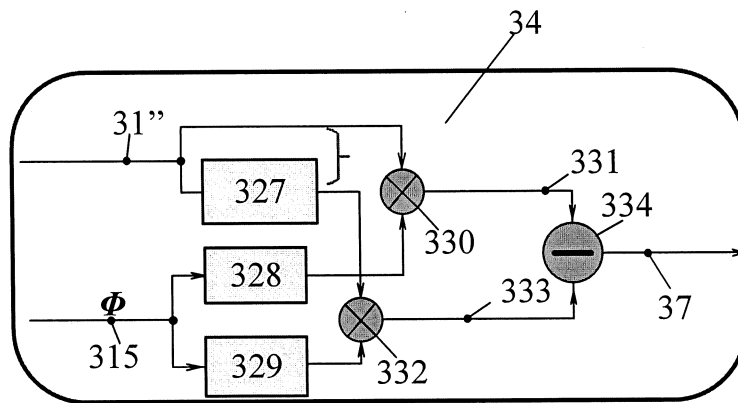
Hình 2



Hình 3a



Hình 3b



Hình 3c