

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЛАЗЕРНОГО ДАТЧИКА КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ(ЛДКШ)

Мета роботи: ознайомитися з принципом дії та конструкцією лазерного датчика кутової швидкості; експериментально дослідити основні характеристики кільцевого лазера.

## 3.1. Короткі теоретичні відомості

## 3.1.1. Ефект Саньяка і кільцевий інтерферометр-резонатор

Реєстрація фазового зсуву в кільцевому інтерферометрі заснована на явищі інтерференції, що виникає при сумуванні зустрічних світлових променів. У 1904 р. це явище використав вперше А.Майкельсон при вивченні гіпотези «ефіру». У своїх дослідках він застосував систему дзеркал, розташованих по кутах прямокутного чотирьохдзеркального інтерферометра, Пучок паралельних променів від джерела спрямовувався на напівпрозоре дзеркало, яке розщеплює світловий потік так, що один світловий промінь обходив систему за годинниковою стрілкою, а інший - проти неї. Потім обидва променя змішувалися і прямували через фокусуючу лінзу на екран. Період обертання установки відповідав періоду обертання Землі навколо своєї осі (24 год).

При обертанні чотирьохдзеркального інтерферометра навколо осі, перпендикулярній до площини руху променів, променю, що йде в напрямку обертання, потрібно більше часу для проходження кільцевого резонатора, ніж променю, що йде проти напрямку обертання. Це пояснюється неоднаковою довжиною оптичного шляху, що проходиться обома променями, і на екрані в цьому випадку повинно спостерігатися зміщення інтерференційної картини. Причому зміщення інтерференційних смуг повинне бути пропорційним кутовій швидкості інтерферометра.

Аналогічні досліді були виконані в 1913 р. французьким фізиком Саньяком. Він встановив чотири дзеркала і джерело світла на обертовій платформі (рис. 3.1) і розглядав поширення світла по контуру кільцевого інтерферометра з оптичними елементами. Швидкість поширення електромагнітної хвилі в одному напрямку, наприклад по ходу обертання платформи, Саньяк прийняв рівній  $c + v$  де  $v$  - миттєва лінійна швидкість обертання платформи.

При протилежному напрямку руху швидкість поширення випромінювання -  $c - v$ , тоді різниця оптичного ходу випромінювань на деякій довільно взятій ділянці контуру в точці А (рис.3.1: ДВ - джерело; З - дзеркала; НПП - напівпрозора пластинка; ФП - фотоприймач)

$$\delta L = c \Delta t = c \left( \frac{L}{c - v} - \frac{L}{c + v} \right)$$

$$\delta L \approx \frac{2L}{c} v = \frac{2LR}{c} \Omega(t)$$

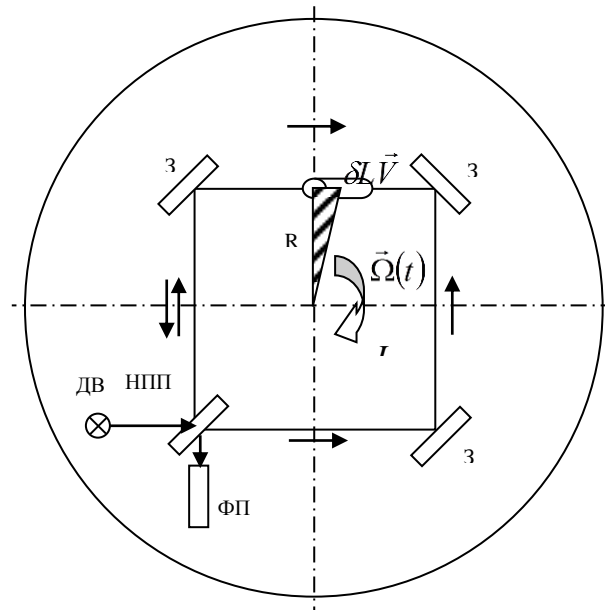


Рис. 3.1.

де  $\Delta t \sim \frac{2VL}{c^2}$  - тимчасова різниця ходу зустрічних випромінювань при  $c \gg v$ .

Враховуючи, що лінійна швидкість  $v = R\Omega(t)$ , а площа  $S=RL$ , при  $c \gg v$  отримуємо

$$\delta L \approx \frac{2LR}{c} \Omega(t) = \frac{2S}{c} \Omega(t)$$

де  $L$  - довжина кільцевого інтерферометра;  $R$  - радіус обертання елементарної ділянки контуру;  $\Omega(t)$  - збудження у вигляді кутової швидкості кільцевого інтерферометра, який в принципі може бути і резонатором кільцевого лазера. Оскільки оптична довжина шляху зустрічних випромінювань буде різною  $(L + \delta)$  та  $(L - \delta)$ , частоти цих випромінювань також різні і відрізняються від резонансної частоти  $\nu_0$ , тобто

$$\nu_1 = q \frac{c}{L + \delta L}; \nu_2 = q \frac{c}{L - \delta L}$$

На фотоприймачі виділиться різницева частота, що визначається при  $\nu_0 = \frac{qc}{L}$  та  $L^2 \gg (\delta L)^2$  залежністю

$$F_r = \nu_1 - \nu_2 = qc \frac{2\delta L}{L^2 - (\delta L)^2} \approx \nu_0 \frac{2\delta L}{L} = \frac{4S}{\lambda_0 L} \Omega(t)$$

де  $F_r = K_{in} \Omega(t)$ , где  $K_{in} = \frac{4S}{\lambda_0 L}$  - константа контуру;  $F_r$  - частота биття, що одержується в

результаті змішання двох зустрічних випромінювань оптичного діапазону довжин хвиль, пропорційна вхідному впливу  $\Omega(t)$ . Саньяк на підставі дослідів зробив важливі висновки про те, що зсув інтерференційної картини, що отримується в результаті додавання спрямованих назустріч один одному випромінювань від джерела, розміщеного на основі, що обертається, пропорційний кутовій швидкості цієї основи. Кільцевий інтерферометр можна застосовувати для точного вимірювання малих кутових швидкостей.

### 3.1.2. Кільцевий лазер і його основні характеристики

Очевидно, кільцевим лазером буде квантовий прилад з кільцевим активним резонатором, в якому випромінювання поширюється назустріч одне одному і виводяться на інтерференційний оптичний змішувач.

Перший зразок кільцевого лазера був створений в 1962 р. і являв собою чотири He-Ne лазера, розташованих по сторонах квадрата. У кожному з кутів знаходилися дзеркала, встановлені під кутом  $45^\circ$  до оптичної осі лазера таким чином, що промінь світла, що виходить з лазера, відбивався від дзеркала і потрапляв на сусідній. Світлова енергія випромінювалася з обох кінців з'юстованих розрядних трубок, тому в системі виникали два світлових променя, що рухаються по кільцю в протилежних напрямках. Частина енергії обох променів виводилася з системи за допомогою напівпрозорого дзеркала і подавалася на ресструючий фотоприймач - фотопомножувач. Частоти генерованих коливань визначилися декількома факторами, зокрема, власними резонансними частотами кільцевого оптичного резонатора. Якщо кільцевий резонатор обертався навколо осі, перпендикулярної до його площини, то шляхи, які повинні в ньому пройти дві зустрічні хвилі, щоб потрапити в точку активного середовища, звідки вони вийшли, різні. Різниця шляхів  $\delta L$  пропорційна кутовий швидкості резонатора. Дійсно, якщо кільцевому резонатору, частково або повністю заповненому активним середовищем, надати обертання з кутовою швидкістю  $\Omega(t)$ , то в замкнутому контурі по загальному генераційному каналу будуть поширюватися дві зустрічні хвилі випромінювання з різними кутовими швидкостями:

$$\omega_1 = \omega_0 + \Omega(t); \quad \omega_2 = \omega_0 - \Omega(t),$$

де  $\omega_0 = 2\pi\nu_0 = \frac{2\pi c}{\lambda_0}$  причому кутова швидкість світлового пучка при відсутності обертання

контурі набагато більше збудження, тобто  $\omega_0 \gg \Omega(t)$

Направляючи частину енергії зустрічних пучків для створення інтерференційної картини в спеціальному оптичному змішувачі і фокусуючи цю картину на фотоприймач, на виході системи одержуємо різницеву частоту биття вже в кільцевому лазері у вигляді послідовності імпульсів, частота яких пропорційна проекції вектора кутової швидкості  $\Omega(t)\cos\beta$  на нормаль до площини поширення зустрічних хвиль  $Y$ .

На рис.3.2, а зображена вихідна характеристика (ВХ) лазерного гіроскопа (1 - ідеальна; 2 - розрахункова; 3 - область можливого знаходження реальної ВХ; 4 - гістерезис ВХ; 5 - зона захоплення (нечутливість) і гістерезис різницевої частоти  $F_r$  від кутової швидкості  $\Omega(t)$ ). На рис. 3.2, б - пунктирною лінією показана ідеальна вихідна характеристика; суцільні криві — розрахункові;  $2\Omega_{3x}$  - повна область захвату;  $\Omega_l$  и  $\Omega_{3x}$  – нижня і верхня межі області захвату (криві при  $\Omega < 0$  зображені вниз умовно).

На рис. 3.2, а крива 2 зображує розрахункову вхідну характеристику, реальна знаходиться в заштрихованій області 3, оскільки різницева частота на виході лазера є функцією багатьох його параметрів: відносної різниці добротностей для зустрічних випромінювань, розлаштування резонатора, положення резонансної частоти генерації на доплерівському контурі підсилення, різниці інтенсивності зустрічних випромінювань, ширини спектральної лінії випромінювання і ширини резонансної кривої резонатора, значення тиску газової суміші та її компонентів, модового складу випромінювання та ін. Крім наявності істотної зони нечутливості (захоплення) реальна ВХ змінює свою крутизну на  $\Delta K_{in}$ , і має початковий зрушення кутових швидкостей - дрейф  $\Omega_{dr}$

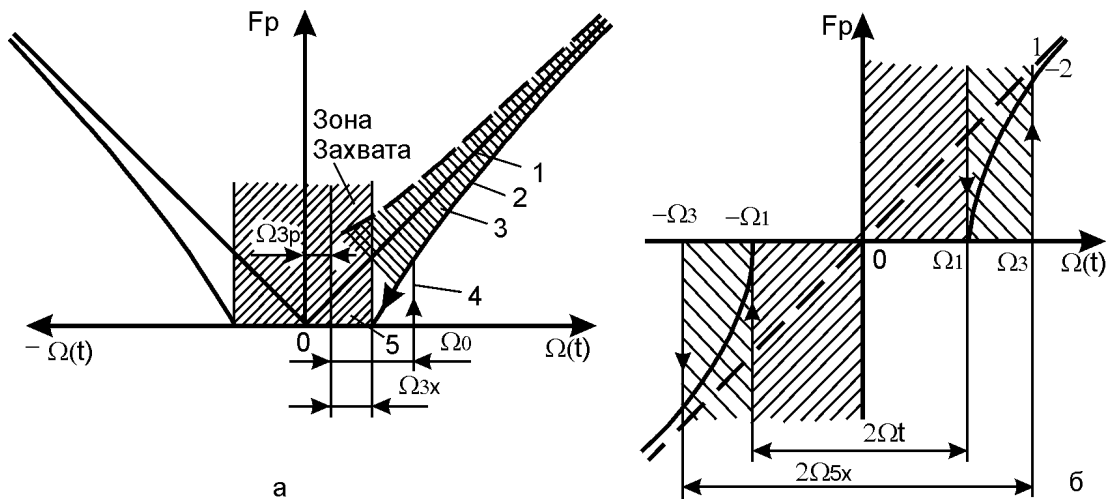


Рис. 3.2. Вихідна характеристика (ВХ) лазерного гіроскопа (а):

1 – ідеальна; 2 – розрахункова; 3 – область можливого знаходження реальної ВХ; 4 – гістерезис ВХ; 5 – зона захвату (нечутливості) та гістерезис разносної частоти  $F_p$  від кутової швидкості  $\Omega(t)$

(б) – пунктирна лінія – ідеальна вихідна характеристика; суцільні криві - розрахункові;  $2\Omega_{3x}$  – повна область захоплення;  $\Omega_1$  та  $\Omega_{3x}$  нижня і верхня межі області захвату (криві при  $\Omega < 0$  зображені вниз умовно).

Нелінійність ВХ визначають по зміні масштабного коефіцієнта (крутизни ВХ). При варіаціях  $\Omega(t)$  знаходять відносну зміну крутизни ВХ

$$h_0 = \frac{\Delta K_{in}}{K_{in}^0}$$

де  $\Delta K_{in}^0 = \frac{4S}{\lambda_0 L}$  - крутизна ВХ в точці зміщення частот.

Наприклад, для типових кільцевих лазерів нелінійність ВХ складає менше  $10^{-4}$  при вимірюваннях  $\Omega(t)$   $5 \cdot 10^{-2} \dots 5 \cdot 10^3$  рад/с. Для сучасних кільцевих лазерів з периметром  $L=100$  см, що працюють на довжині хвилі  $\lambda_0=0,63$  мкм, зона захвату  $2\Omega_{in} \approx 15 \cdot 10^{-4}$  рад/с, а дрейф  $\Omega_{dr} \approx 1 \cdot 10^{-7} \dots 1,5 \cdot 10^{-7}$  рад/с. Мінімальне значення зони нечутливості ретельно виконаних лазерів становить 50...100 Гц. Петля гістерезису ВХ обумовлена залежністю різниці показників заломлення та коефіцієнтів розсіювання зустрічних випромінювань від стану плазми в резонаторі кільцевого лазера. Гістерезис виявляється в тому, що вихід із зони захвату відбувається при більшому значенні  $\Omega(t)$ , ніж вхід в цю зону:  $\Omega'_0 > \Omega_{in}$

Діапазон вимірюваних кутових швидкостей визначають співвідношенням

$$\Omega_{\max} - \Omega_{\min} \leq \frac{c\lambda_0}{16S}$$

де  $\Omega_{\min} \approx \Omega'_0$  - половина зони нечутливості. Наприклад, для кільцевого лазера площа резонатора  $S=100$  см<sup>2</sup> і  $\lambda_0=0,6 \cdot 10^{-4}$  см,  $\Omega_{\max} - \Omega_{\min} \approx 1100$  рад/с. Оскільки на виході лазера час поширення, фаза, інтенсивність і частота зустрічно біжучих хвиль, залежать від кутової швидкості, всі існуючі кільцеві лазери можна класифікувати як за параметром вихідного електромагнітного поля, так і за типом вимірювального пристрою, що визначає той чи інший інформативний параметр. Існують чотири основних типи кільцевих лазерів: часові, фазові, амплітудні і частотні. Практичний інтерес представляють частотні вимірювачі кутової швидкості.

Наприклад, частотний лазер з прямокутним резонатором площею  $1 \text{ м}^2$ , який працює на частоті  $5 \cdot 10^{14} \text{ Гц}$ , має чутливість  $4 \cdot 10^5 \text{ Гц}$  на  $1 \text{ рад/с}$   $\Omega(t)$  і реєструє час запізнювання зустрічних хвиль з точністю до  $10^{-16} \text{ с}$ . Безперечні переваги частотних методів реєстрації  $\Omega(t)$  пояснює переваги частотних кільцевих лазерів перед датчиками кутової швидкості інших типів.

### 3.1.3. Основні рівняння кільцевого лазера і явище захоплення різницевої частоти

Визначимо зміну частоти, обумовлену зміною оптичної довжини резонатора при його обертанні. У стаціонарному режимі з умови резонансу поздовжніх мод в кільцевому резонаторі довжина замкнутого оптичного шляху випромінювання  $\sum l_i n_i$ , котре розповсюджується в резонаторі, що складається з елементів з різними показниками заломлення, повинна бути кратною довжині хвилі  $\lambda_0$ .

$$L = \sum l_i n_i = q \lambda_0 = \frac{qc}{\nu}$$

при  $n_i = n = 1$ , де  $n_i$  - показник заломлення на  $i$ -ій ділянці резонатора довжиною  $l_i$ . При виконанні цієї умови хвиля, яка вийшла з будь-якої точки активного середовища в резонаторі, повернеться в цю точку з фазовим зміщенням  $2\pi$ , що забезпечить позитивний зворотний зв'язок і стабільну генерацію. В залежності від напрямку вектора  $\Omega(t)$  різницева частота,

$$F_r = K_m \Omega(t) \cos \beta$$

$$F_r = \frac{4S \sum l_i n_i}{cL^2} v_0 \Omega(t) \cos \beta$$

де  $\beta$  - кут між вектором  $\bar{\Omega}(t)$  та нормаллю  $\bar{Y}$  до площини резонатора. Ця залежність і є основним, робочим рівнянням кільцевого лазера.

З формули видно, що різницева частота пропорційна площі поверхні, утвореної траєкторією поширення променів у резонаторі, і обернено пропорційна периметру резонатора кільцевого набору. Найбільшу чутливість мають лазери з резонатором у формі кільця. Практично виконати лазер з таким резонатором вельми складно. При виборі конфігурації резонатора необхідно також враховувати втрати випромінювання в ньому, складність виготовлення і налаштування.

Якщо на виході системи є фотопомножувач, його струм буде змінюватися з частотою биття  $F_r$ . Але, вимірявши різницеву частоту, можна визначити тільки модуль вектора кутової швидкості, але не його напрямок. Наприклад, при використанні квадратного резонатора з стороною  $10 \text{ см}$  частота биття при робочій довжині хвилі  $0,6328 \cdot 10^{-4} \text{ см}$  наближено дорівнює  $2 \cdot 10^6 \text{ Гц}$ , що відповідає кутовій швидкості близько  $1,2656 \text{ рад/с}$ . Напрямок же обертання лазера залишається невідомим. У цьому полягає одна з принципових особливостей лазерного гіроскопа (ЛГ) як датчика кутової швидкості, що використовує кільцевий лазер.

На практиці ВХ нелінійна, оскільки випадкова зміна розмірів резонатора, анізотропія плазми, погіршення покриття відбивних елементів, флуктуація зустрічних хвиль, і, нарешті, просто зміна зовнішніх умов (вібрації, нагрів, акустичний шум і т.д.) призводять до нестабільності параметрів резонатора, що, в свою чергу, позначається на чутливості і точності вимірювання  $\Omega(t)$ . Особливо це помітно тоді, коли необхідно вимірювати дуже малі кутові швидкості, тобто коли малі частоти автоколивальної системи можуть бути близькими. У цьому випадку виникають захоплення, збільшення частоти (так зване явище синхронізації частот), і кільцевий лазер не реагує на зміну  $\Omega(t)$ .

Залежність різницевої частоти в околиці зони захоплення можна апроксимувати залежністю

$$F_r = K_{in} \sqrt{\Omega^2(t) - \Omega_{in}^x}$$

Це рівняння практично є статичною, або вихідною, характеристикою кільцевого лазера.

Аналізуючи рівняння, можна зробити наступні висновки. За малих кутових швидкостей  $\Omega(t) \leq \Omega_{in}$  відбувається захоплення частот зустрічних коливань. Область захоплення пропорційна коефіцієнту зворотного розсіювання і залежить від різниці інтенсивностей зустрічних випромінювань. Основна характеристика  $F_r = K_{in} \Omega(t)$  за малих  $\Omega(t)$  має гістерезис внаслідок впливу енергетичного зв'язку зустрічних випромінювань і зворотного розсіювання (див. рис. 3.2,6). Збільшення зв'язку між зустрічними випромінюваннями приводить до розширення області захоплення. Область захоплення можна зменшити за рахунок зниження зворотного розсіювання на відбивних елементах, поліпшення однорідності покриття їх і однорідності плазми, збільшення периметра резонатора. Наприклад, область захоплення за інших рівних умов для кільцевого лазера периметром 300 см становить 60 ... 120 Гц; для моноблочного кварцового резонатора периметром 40 см - 500 ... 1500 Гц.

#### 3.1.4. Методи розносу частот. Комірка Фарадея

Стійкість режиму генерація зустрічних випромінювань лазера мінімальна в разі, коли частоти зустрічних хвиль однаково відстають від центру доплеровськи розширеної спектральної лінії випромінювання. У цій ситуації взаємодія обох хвиль йде через одні й ті ж групи атомів активної речовини, тобто взаємозв'язок коливань максимальна. При відсутності обертання кільцевого лазера система стійка, а зі збільшенням кутової швидкості її нестійкість зростає. Це фізичне явище одночасної взаємодії зустрічних хвиль, коли інтенсивність одного випромінювання збільшується, а іншого - зменшується, все це викликано посиленням однієї групи атомів активного середовища і є конкуренцією мод.

Наявність різниці частоти в області, близькій до кордону захоплення, обумовлене явищем захоплення частоти генерації. При цьому залежність  $F_r = K_{in} \Omega(t)$  стає нелінійною. Основна ВХ в більшій мірі залежить від розлаштування частот випромінювання. Якщо забезпечити відносну похибку налаштування резонатора на резонансну частоту спектральної лінії (розлаштування резонатора кожного із зустрічних випромінювань)  $n_1 = \frac{v_1 - v_2}{\Delta v}$ , то зі зміною розлаштування ВХ зміщується з області захоплення і навіть може перетинати ідеальну характеристику (ВХ). Це обумовлено дисперсійними властивостями активного середовища, і, в основному, конкуренцією мод у зустрічних випромінюваннях.

Пред'являючи високі вимоги до частоти і якості поверхонь, що відбивають або застосовуючи замість дзеркала призми повного внутрішнього відбиття, область захоплення можна дещо зменшити. Повністю від синхронізації і конкуренції зустрічних мод позбутися не можна через розсіяння на неоднорідностях флукууючої плазми, кінцевості розмірів дзеркал і перерізу пучка, нелінійних явищ в розряді і при відбитті від дзеркал. У кільцевих лазерах, що використовуються для гіроскопії, область захоплення досягає декількох десятків і сотень герц.

Міра, яка допомагає практично позбутися цього явища і дає можливість вимірювати дуже малі кутові швидкості, - створення штучного зміщення частот, тобто введення заздалегідь відомої частоти, так званої частотної підставки, - початковій різниці частот, що перевищує порогову частоту захоплення. Рознести частоти можна різними способами (рис. 3.3: а - ефект Фарадея; б - ефект захоплення світла рухомих середовищем).

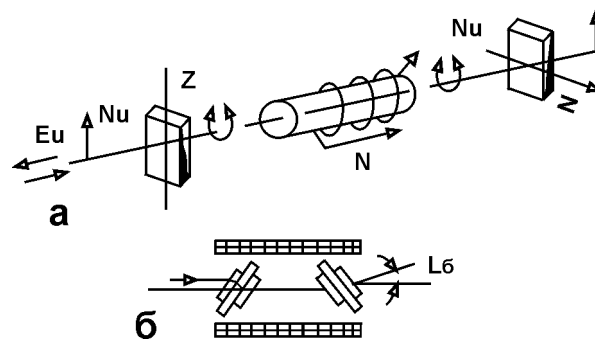


Рис. 3.3

Один із способів створення початкової різниці частот полягає в тому, що платформі, на якій встановлено кільцевий лазер, надаються малі обертальні коливання з частотою порядку 10 ... 40 Гц. Протягом більшої частини періоду таких коливань кутова швидкість виявляється достатньою для того, щоб різницева частота перевищила порогові значення частоти захоплення.

Для створення зміщення частот можна використовувати ефект Фізо або Ленгмюра (захоплення світла газорозрядною плазмою, що рухається), який є наслідком власної анізотропії і її дрейфу в разі збудження газової суміші в кюветі розрядом постійного струму. Цей ефект можна застосувати для створення штучної підставки, оскільки в резонатор не потрібно вводити додаткові втрати.

Ефект Фарадея можна використовувати для створення різницевої частоти зустрічних коливань. Цей ефект полягає в повороті площини поляризації нелінійно поляризованого світла, що поширюється уздовж силових ліній магнітного поля. кут  $\chi$ , на який повертається площина поляризації, пропорційний напруженості магнітного поля  $\bar{H}$  і шляху  $l_E$ , що проходить випромінювання у зовнішньому магнітному полі  $\chi = R_E l_E \bar{H}$  где  $R_E = const.$

### 3.2. Прилади й устаткування

1. Платформа з встановленим на ній кільцевим лазером (трьохдзеркальним кільцевим резонатором і двома активними елементами).
2. Два блоки живлення активних елементів.
3. Чотирохдзеркальний оптичний змішувач.
4. Кремнієвий фотодіод ФД-26.
5. Попередній підсилювач.
6. Осцилограф СІ-70 (СІ-67).
7. Частотомір ЧЗ-34.
8. Установка для перевірки гіроскопів УПГ-56.
9. Блок - живлення УРГ ТЕС-14.

### 3.3. Опис експериментальної установки

Дана установка (рис. 3.4) призначена для дослідження основних характеристик кільцевого лазера і побудованого на його основі лазерного датчика кутової швидкості. Після включення блоків живлення активних елементів 2 в кільцевому лазері, встановленому на платформі 1, виникає генерація. За допомогою змішувача 3 на фотоприймач 4 подаються два промені 1 і 1', що виходять з кільцевого лазера. З виходу фотоприймача сигнал биття з частотою  $F_r$ , посилений підсилювачем 5, надходить на вхід осцилографа 6 і частотоміра 7. Платформа 1 обертається за допомогою установки 8, що живиться від блоку живлення 9. За відсутності обертання платформи 1 на екрані осцилографа буде спостерігатися пряма лінія. Після початку обертання і досягнення кутової швидкості, достатньої для виходу з зони нечутливості, на екрані буде спостерігатися синусоїдальний сигнал з частотою, пропорційною кутовій швидкості обертання. Значення цієї частоти вимірюється частотоміром 8.

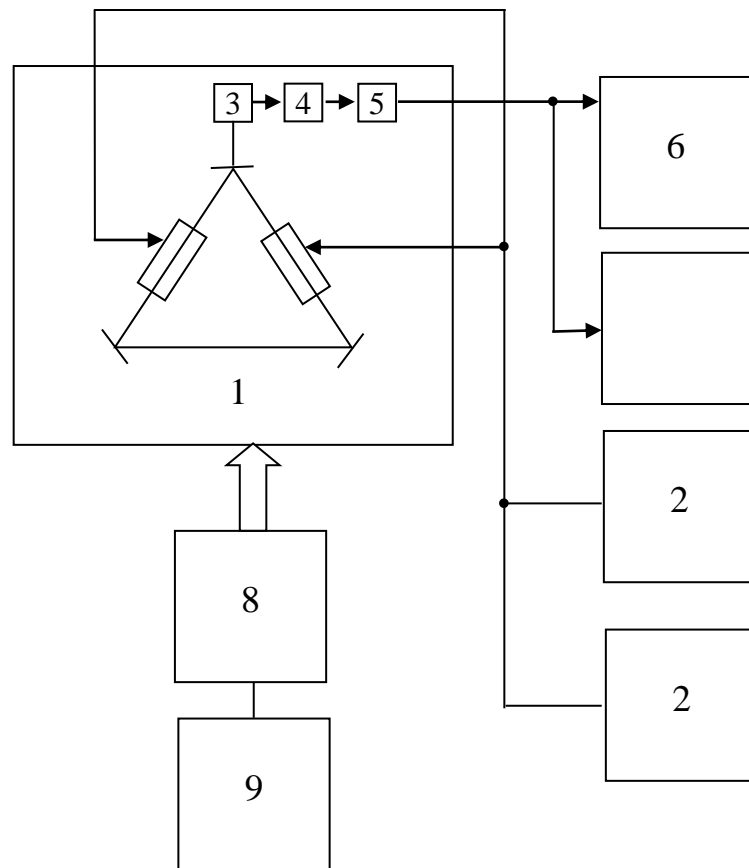



Рис. 3.4

### 3.4. Порядок проведення роботи

З метою забезпечення правил техніки безпеки та збереження експериментальної установки категорично ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ:

1. Відкривати та знімати кришку макета;
2. Направляти випромінювання, що виходить, в очі;
3. Повертати платформу більш ніж на один оберт;
4. Перемикаєть множник швидкостей УПГ в положення "x10";
5. Змінювати кутову швидкість платформи під час її руху.

### 3.5. Підготовка до роботи

1. Включити блоки живлення активних елементів. Встановити перемикач «Ток лазера» в положення «1». При цьому в кільцевому лазері виникає генерація.
2. Встановити тумблер «Переключатель мотора» на панелі УПГ в положення «Откл.» (середнє).
3. Встановити кутову швидкість платформи 1 рад/с, перемикаючи дві ручки на лицьовій панелі УПГ.
4. Встановити режим роботи осцилографа: масштаб - 0,5 В/поділ; розгортка 0,2 нс; режим роботи - чекаючий.
5. Встановити режим роботи частотомера: час вимірювання - 0,1 с; перемикач роду робіт - в положення «частота А контроль», тумблер пуск в положення «»



### 3.6. Завдання по роботі

1. Визначити мінімальну кутову швидкість, що забезпечує вихід із зон синхронізації (нечутливості). Для цього, включаючи різні кутові швидкості платформи (1,00; 1,25; 1,50; 3,00; 4,50; 6,00 рад/с) домогтися появи на екрані осцилографа низькочастотної обвідної з рівномірним заповненням ВЧ-сигналом з частотою  $F_r$ . Виміряти  $F_r$  однократним натисканням на кнопку «Пуск» на панелі частотоміра.
2. Встановити тривалість розгортки осцилографа 10 мс. Визначити  $F_r$  для значень, кутової швидкості 3; 6; 9; 18; 27 рад/с. Одночасно визначати амплітуду сигналу на екрані осцилографа.
3. Результати занести в табл. 3.1.

Таблиця 3.1.

| Параметр    | Кутова швидкість, рад/с |   |   |    |    |
|-------------|-------------------------|---|---|----|----|
|             | 3                       | 6 | 9 | 18 | 27 |
| $F_r$ , кГц |                         |   |   |    |    |
| $U_C$ , В   |                         |   |   |    |    |

4. Побудувати вихідну характеристику лазерного датчика кутової швидкості  $F_r = f_1(\Omega)$  та  $U_C = f_2(\Omega)$  за даними табл. 3.1. Визначити значення масштабного коефіцієнта К.
5. За паспортними даними кільцевого лазера і значенням кутової швидкості  $\Omega$ , зазначеним в п.2, розрахувати і побудувати вихідну характеристику лазерного датчика кутової швидкості за формулою

$$F_r = k\Omega = \frac{4S\nu_0}{cL}\Omega$$

де S, L - відповідно площа і периметр рівностороннього трикутного кільцевого резонатора;

$\nu = \frac{c}{\lambda_0}$  - частота випромінювання.

6. Оцінити похибку вимірювання  $F_r$  і  $U_C$ .

### 3.7. Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Схема стенда і характеристики вимірювальних приладів і пристроїв.
3. Таблиці експериментальних і розрахункових даних.
4. Графіки вимірних характеристик.
5. Висновки по роботі.

#### Контрольні питання

1. Які принципи дії та конструкція кільцевого лазера?
2. У чому виражається ефект Саньяка?
3. Назвіть основні типи кільцевих оптичних резонаторів.
4. Назвіть основні типи датчиків кутової швидкості. Якому з цих датчиків притаманна найбільша потенційна точність?
5. Що таке вихідна характеристика лазерного датчика кутової швидкості?
6. Чим зумовлений дрейф різницевої частоти на виході лазерного датчика кутової швидкості і які способи його зменшення?

7. Чим викликано наявність зони синхронізації (нечутливості) у вихідній характеристиці?
8. Чим обмежений динамічний діапазон вимірюваних лазерним датчиком кутової швидкості кутових швидкостей?
9. Наведіть основне рівняння кільцевого лазера.
10. Чому в макеті ЛДКШ встановлені два активних елемента?
11. Який вид поляризації випромінювання, що поширюється: а) всередині резонатора; б) всередині активного елемента; с) на виході кільцевого лазера?
12. Назвіть типи оптичних змішувачів.
13. Основні методи створення різних частот всередині резонатора.
14. Чим обмежена смуга пропускання приймального тракту лазерного датчика кутової швидкості?
15. Що буде спостерігатися на екрані осцилографа, якщо в кільцевий резонатор помістити елемент розносу частот при  $\Omega=0$ ?