1557 41

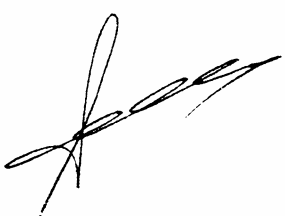
На правах рукописи

Алехин Алексей Викторович

БАЛАНСИРОВКА ПОЛУСФЕРИЧЕСКОГО РЕЗОНАТОРА ВОЛНОВОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ГИРОСКОПА

05.11.03 - Гироскопы, навигационные приборы и комплексы

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва - 1997

Работа выполнена в Московском Государственном Техническом Университете имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор ***Матвеев В.А.***

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор ***Жбанов Ю.К.***

кандидат технических наук, начальник отдела НИИ прикладной механики ***Сакварелидзе Б.К.***

Ведущее предприятие: **Раменское Приборостроительное Конструкторское Бюро**

Защита диссертации состоится «26» «декабря» 1997 г. на заседании диссертационного Совета К053.15.02 в Московском Государственном Техническом Университете им. Н.Э.Баумана по адресу:

107005, г.Москва, Б-5, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Ваш отзыв на автореферат в 1 экз., заверенный печатью, просим выслать по вы-

ся в библиотеке МГТУ им. Н.Э.Баумана.

1557 ЧС

__» «_____» 1997 г.

Подчезерцев В.П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Высокие требования, предъявляемые к чувствительным элементам систем ориентации, навигации и управления подвижными объектами привели к созданию гироскопических приборов, построенных на новых физических принципах. К такого рода приборам относится волновой твердотельный гироскоп (ВТГ), работа которого основана на использовании свойств стоячих волн, возбужденных во вращающихся осесимметричных телах. Преимуществами ВТГ являются: высокая точность, конструктивная простота механических узлов, устойчивость к влиянию ядерного излучения, малая чувствительность к линейным перегрузкам.

Перечисленные качества ВТГ предопределяют их широкое применение при построении бесплатформенных систем навигации, а предельная точность будет определяться погрешностями балансировки и собственными шумами электронных систем.

Основы аналитической теории ВТГ созданы В.Ф. Журавлевым и Д.М. Климовым. Теоретическому анализу динамики полусферического резонатора ВТГ посвящены работы Н.Е. Егармина, С.А. Сарапулова, А.В. Збруцкого, М.Ю. Шаталова, В.А. Матвеева, В.И. Липатникова, Ю.К. Жбанова, А.М. Павловского и других авторов.

Теоретические исследования идеальных и неидеальных моделей ВТГ можно считать в достаточной степени завершенными. Получены линейные и нелинейные уравнения движения полусферического и кольцевого резонаторов при произвольном движении основания и при различных способах возбуждения колебаний, создана электромеханическая модель резонатора ВТГ, предложена тепловая модель для исследования тепловых процессов.

В нашей стране первые экспериментальные образцы ВТГ созданы в организации РПКБ (Раменское Приборостроительное Конструкторское Бюро) и ряде других предприятий.

Создание экспериментальных образцов ВТГ потребовало решения большого числа проблем, связанных с разработкой конструкции, технологических процессов изготовления резонатора, электронных систем возбуждения и съема, методик регулировки и испытаний, автоматизированных стендов для оценки параметров, лазерной балансировки резонаторов, а также алгоритмов управления и компенсации погрешностей.

На данном этапе создания серийного ВТГ основной проблемой является балансировка полусферического резонатора гироскопа, так как балансировка - это важная и неотъемлемая часть процесса создания ВТГ, от которой во многом зависит точность прибора. Кроме того, в литературе вопросы балансировки освещены недостаточно.

Диссертационная работа посвящена восполнению пробела в исследовании вопросов, связанных с балансировкой резонатора и решению возникающей на практике проблемы балансировки полусферического резонатора.

1557040

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1557040
Алехин А.В. Балансировка г

МГТУ
им. Н. Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

Целью работы является разработка и внедрение методики балансировки полусферического резонатора ВТГ. Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. Разработать математическую модель резонатора ВТГ с учетом неоднородности распределения массы резонатора по окружному углу.
2. Выявление основных погрешностей гироскопа.
3. Решение уравнений динамики резонатора ВТГ.
4. На основе анализа теоретической модели и решения уравнений движения резонатора с неоднородным распределением массы разработать методики балансировки резонатора ВТГ.

Научная новизна диссертационной работы заключается в создании оригинальной методики балансировки резонатора, анализе влияния технологических дефектов резонатора с единых позиций - теории колебаний упругих систем, анализе явлений, аналогичных явлению прецессии стоячей волны (маятник в магнитном поле), обосновании известных методик балансировки резонатора по четвертой гармонике неоднородности распределения массы с помощью анализа теоретической модели резонатора, решении важной практической проблемы балансировки с помощью решения уравнений движения резонатора.

Методы исследования. Теоретические исследования динамики полусферического и кольцевого резонаторов проводились с использованием метода Бубнова-Галеркина для решения дифференциальных уравнений в частных производных. Для идентификации параметров гармоник дефекта плотности решалась система линейных уравнений методом Гаусса с выбором ведущего элемента, соответствующий алгоритм реализован на персональной ЭВМ.

Практическая ценность. Разработана оригинальная методика балансировки полусферического резонатора на автоматизированном балансировочном стенде с использованием данных системы съема информации.

Реализация и внедрение. Основной результат диссертационной работы внедрен в организации РПКБ, занимающейся разработкой серийного ВТГ, что подтверждено соответствующим актом.

Апробация. Основные теоретические положения диссертационой работы доложены и обсуждены на кафедре ИУ-2 МГТУ им. Н.Э.Баумана в 1996 г. и на научно-технической конференции в МГТУ им. Н.Э.Баумана в 1996 г.

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в работах [1, 2].

Структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Основной тескт изложен на 144 страницах машинописного текста, содержит 45 рисунков. Библиография содержит 47 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дается анализ современного состояния работ по созданию ВТГ, приводится обзор литературы по динамике резонатора ВТГ, обосновывается актуальность вопросов, составляющих предмет диссертационной работы, сформулирована цель и дана постановка задачи, приводится краткое содержание по главам.

Первая глава посвящена анализу моделей идеального резонатора. Значение масштабного коэффициента полусферического резонатора выведено для двух моделей оболочки: модели, основанной на гипотезе Кирхгофа-Лява и модели, использующей гипотезу о нерастяжимости средней поверхности резонатора.

После применения метода Бубнова-Галеркина получается следующая система уравнений, определяющая динамику рабочей формы колебаний полусферического резонатора:

$$\begin{aligned} &\ddot{p}(t) - 2\Omega\alpha\dot{q}(t) + \omega^2 p(t) = 0 \\ &\ddot{q}(t) + 2\Omega\alpha\dot{p}(t) + \omega^2 q(t) = 0 \end{aligned} \qquad (1)$$

где Ω - входная угловая скорость, α -коэффициент, определяемый геометрией резонатора и его упруго-массовыми харктеристиками, ω- собственная частота резонатора по рабочей форме (около 16000 c^{-1}).

Рассмотрено уравнение движения кольцевого резонатора:

$$\ddot{w}'' - \ddot{w} + 4\Omega\dot{w}' + \omega^2 (5/36)(w'''' + 2w'' + w) = 0$$

где Ω - входная угловая скорость, ω - собственная частота, w -нормальное перемещение резонатора, $'$- производная по окружному углу.

После применения метода Бубнова-Галеркина получается система уравнениидинамики рабочей формы кольцевого резонатора:

$$\begin{aligned} &\ddot{p}(t) - (8/5)\Omega\dot{q}(t) + \omega^2 p(t) = 0 \\ &\ddot{q}(t) + (8/5)\Omega\dot{p}(t) + \omega^2 q(t) = 0 \end{aligned} \qquad (2)$$

Функции p(t) и q(t) в системах (1-2) определяют колебания рабочей формы следующим образом:

$$w(\varphi,t) = p(t)\cos 2\varphi + q(t)\sin 2\varphi\,. \qquad (3)$$

Из (1) следует, что диаграмма вибраций, определяемая выражением (3) изменяет ориентацию относительно резонатора (рис. 1) с угловой скоростью ($\vartheta(t)$ - угол поворота диаграммы вибрации относительно резонатора), которая определяется формулой:

$$\frac{d\vartheta}{dt} = -K\Omega ,$$

где $K = \alpha/2$ - масштабный коэффициент. Вычисление показывает, что K = 0.311.

Аналогичная формула верна для скорости прецессии стоячей волны в кольцевом резонаторе, но при этом K = 0.4.

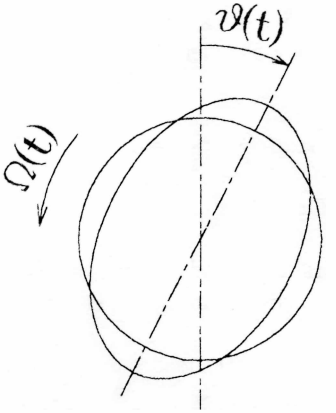


Рис. 1. Прецессия диаграммы вибрации в резонаторе ВТГ

Системы (1) и (2) качественно не отличаются, поэтому при исследовании колебаний резонатора, не выходящих за пределы плоскости его кромки, можно использовать кольцевую модель (при этом необходимо брать реальное значение масштабного коэффициента, близкое к 0.3).

С помощью кольцевой модели показаны свойства резонатора при различных видах возбуждения колебаний.

Анализируется схема обработки сигналов системы съема для получения угла поворота основания, основанная на демодуляции сигналов, также применяемая при разработке методики балансировки на автоматизированном балансировочном стенде.

Во второй главе исследована динамика неидеального резонатора и влияние погрешностей систем возбуждения и съема. Проведен анализ влияния следующих дефектов резонатора: неоднородность распределения массы, неоднородность диссипативных характеристик. Дефекты системы возбуждения: некруглость кольце-

вого электрода, нестабильность питания кольцевого электрода; дефект системы съема - неточная выставка датчиков перемещения.

Причина скорости ухода ВТГ - расщепление собственной частоты его резонатора (зависимость собственной частоты от направления возбуждения стоячей волны). Величина расщепления характеризуется разностью между наибольшей и наименьшей собственными частотами. Наиболее существенное расщепление вызывает четвертая гармоника неоднородности упругомассовых характеристик резонатора:

$$\Delta\omega = \omega_1 - \omega_2 = 0.5\omega\varepsilon_4$$

где ω - собственная частота (номинальное значение),

ε_4 - величина дефекта по четвертой гармонике.

Найдена зависимость скорости ухода от времени и расщепления частоты в разночастотном резонаторе с помощью представления колебаний резонатора в виде суммы двух стоячих волн, ортогональных по окружному углу и по фазе:

$$w(\varphi,t) = A\cos 2(\varphi-\varphi_o)\cos\omega^* t + A\delta\sin 2(\varphi-\varphi_o)\sin\omega^* t,$$

где **A** - амплитуда колебаний основной формы, δ - величина, пропорциональная расщеплению собственной частоты, φ_o начальная ориентация стоячей волны, $\omega^* = \omega_1\cos^2 2\varphi_o + \omega_2\sin^2 2\varphi_o$.

Скорость ухода стоячей волны в разночастотном резонаторе выражается формулой:

$$\frac{d\vartheta}{dt} = -\frac{1}{8}\sin 8\varphi_o(\Delta\omega)^2 t, \qquad (4)$$

где $\Delta\omega$ - расщепление частоты, φ_o - начальное положение волновой картины, **t** - время, на котором рассматривается движение.

Формула (4) определяет скорость ухода в режиме выбега, причем время **t** ограничено величиной постоянной времени резонатора, составляющей около 900 секунд На основе представления волнового процесса в виде суммы ортонональных стоячих волн предложен способ идентификации ориентации четвертой гармоники дефекта плотности резонатора с целью проведения балансировки по четвертой гармонике. Для этого применяется схема возбуждения колебаний, показанная на рис. 2. На рисунке обозначено: 1, 2 - электроды возбуждения; **Д1, Д2**- датчики перемещения; ψ - ориентация четвертой гармоники относительно датчика **Д2.**

После возбуждения колебаний с помощью электродов 1 и 2 напряжение питания отключается и рассматриваются свободные колебания резонатора (выбег).

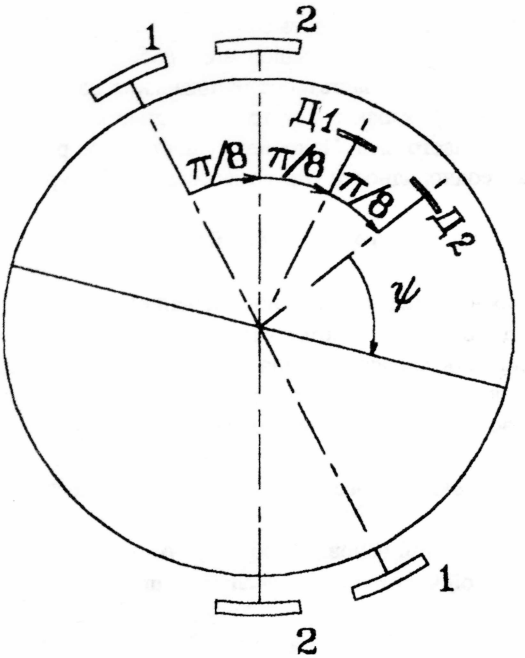


Рис. 2. Идентификация четвертой гармоники дефекта плотности резонатора в режиме выбега

Расщепление собственной частоты и ориентация четвертой гармоники дефекта плотности определяются формулами

$$\Delta\omega = \frac{2}{At}\sqrt{A_1^2 + A_2^2},$$

$$\psi = (1/4)\mathrm{arctg}(A_2/A_1),$$

где A_1 - амплитуда сигнала датчика **Д1**, после отключения электродов **1**, A_2 - амплитуда сигнала датчика **Д2**, после отключения электродов **2**, **A** - амплитуда рабочей формы колебаний, **t** - время, на котором рассматривается выбег.

Влияние неоднородности диссипативных характеристик резонатора и некруглости кольцевого электрода характеризуется явлением «захвата» стоячей волны, которое состоит в том, что существует диапазон входных угловых скоростей, при которых ВТГ теряет интегрирующее свойство (рис. 3). Проведены оценки величины области захвата для характерных случаев.

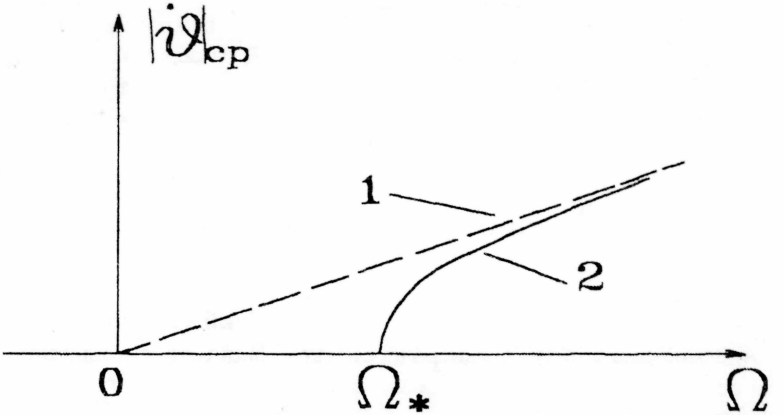


Рис. 3. Явление захвата стоячей волны:

1 - прямая $\dot{\vartheta}_{ср} = K\Omega$; 2 - зависимость средней скорости ухода от входной угловой скорости; Ω- входная угловая скорость; Ω_* - область захвата; $\dot{\vartheta}_{ср}$ - средняя скорость ухода

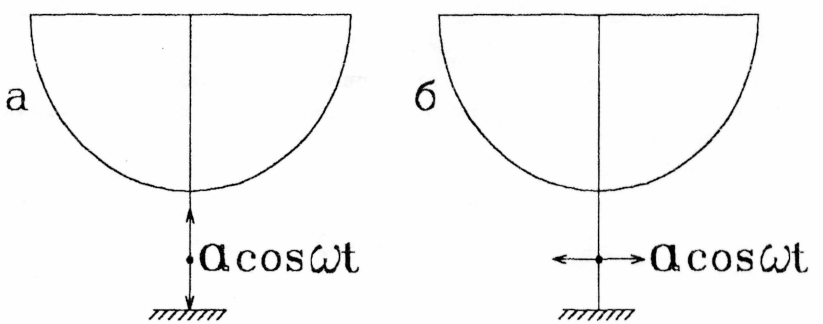


Рис. 4. Вибрации резонатора:

а) - продольные; **б)** - поперечные; **a**, ω - амплитуда и частота вибраций

Оценки проведены для следующих значений параметров резонатора $\omega = 1.6 \cdot 10^4 c^1$, $Q = 10^7$ (добротность резонатора), $d_0 = 100$ мкм, (зазор между электродом и резонатором), $K = 0.3$.

Зависимость диссипативных свойств резонатора от окружного угла приводит к появлению в резонаторе двух выделенных систем осей развернутых относительно друг друга на 45°, вдоль которых постоянные времени достигают наибольшего и наименьшего значений. Различие постоянных времени приводит к скорости ухода стоячей волны:

$$\frac{d\vartheta}{dt} = -K\Omega + (1/4)\,\omega^2 \xi_0 \delta_4 \sin 4(\vartheta - \vartheta_0), \qquad (5)$$

где Ω - входная угловая скорость, K - масштабный коэффициент, δ_4 - величина четвертой гармоники неоднородности коэффициента диссипации, ξ_0 - номинальное значение коэффициента диссипации. Величина скорости ухода (5) порядка 0,8 град/ч.

Коэффициент диссипации ξ определяется законом Кельвина-Фойгта:

$$\sigma = E(\varepsilon + \dot{\varepsilon}\xi),$$

где σ, ε - тензоры напряжений и деформаций, E - модуль Юнга, точка обозначает производную по времени.

Нестабильность питания кольцевого электрода, выражаемая формулой

$$V = (V_0 + v\cos 4\varphi)\cos\lambda t,$$

где V_0, λ -амплитуда и частота напряжения (частота близка к собственной частоте резонатора), v - параметр нестабильности, вызывает скорость ухода:

$$\frac{d\vartheta}{dt} = -K\Omega - \frac{1}{8}\frac{v}{V_0}\frac{\omega}{Q}\sin 4\vartheta. \qquad (6)$$

Величина области захвата, определяемой (6), порядка 0,2 град/ч.

Эллиптичность кольцевого электрода, задаваемая выражением

$$d = d_0 + e\cos 4\varphi + w(\varphi, t),$$

где d - зазор между кольцевым электродом и резонатором, e - эксцентриситет, вызывает следующую скорость ухода стоячей волны:

$$\frac{d\vartheta}{dt} = -K\Omega + \frac{3}{8}\frac{\omega}{Q}\frac{e}{d_0}\sin 4\vartheta, \qquad (7)$$

При $e=10^{-1}$ мкм величина области захвата, определяемая (7), около 3 град/ч.

Проведено исследование динамики резонатора на вибрирующем основании. Показано, что действие продольной вибрации на резонансной частоте (рис. 4, а) вызывает влияние второй гармоники дефекта плотности резонатора на скорость ухода; действие поперечной вибрации (рис. 4, б) вызывает влияние первой и третьей гармоник дефекта плотности на скорость ухода ВТГ. Указано, как использовать эти свойства вибраций в целях идентификации первой, второй и третьей гармоник дефекта плотности резонатора для проведения балансировки по данным гармоникам.

Третья глава посвящена вопросам управления стоячей волной в разночастотном резонаторе. Рассмотрены принципы работы следующих систем управления: системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) и системы 16-ти электродной электрической коррекции положения стоячей волны (электрическая балансировка).

Система ФАПЧ предназначена для настройки частоты напряжения питания кольцевого электрода на значение, обеспечивающее ограниченные колебания собственных форм резонатора. Найдена скорость ухода разночастотного резонатора в режиме параметрического возбуждения:

$$\frac{d\vartheta}{dt} = -K\Omega - \frac{1}{4}\Delta\omega(\alpha+\beta)\sin 4\vartheta,$$

где $\Delta\omega$ - расщепление собственной частоты, α и β - величины, характеризующие фазы колебаний вдоль осей, развернутых на 45 град.

Проведена оценка погрешности настройки частоты:

$$\lambda = \lambda_{ид} + \eta,$$

где $\lambda_{ид}$ - идеальное значение частоты, η - погрешность настройки. Для величины η верна оценка:

$$\eta \le \frac{2\omega}{Q\Delta\omega}\dot{\vartheta}_{max},$$

где ω - собственная частота, Q - добротность резонатора, $\dot{\vartheta}_{max}$ - наибольшая скорость ухода, определяемая техническим заданием на разработку прибора.

16-ти электродная система коррекции применяется с целью доворота оси наибольшей (или наименьшей) собственной частоты до текущего положения стоячей волны. В результате действия системы коррекции компенсируется расщепление собственной частоты в рабочем режиме и устраняется скорость ухода. Показано, каким образом выбрать напряжения на электродах системы коррекции, чтобы она работала независимо от системы ФАПЧ.

В четвертой главе излагаются вопросы балансировки резонатора ВТГ. Приводятся общие принципы балансировочных операций, методики проведения динамической балансировки. Разработана оригинальная методика балансировки резонатора, позволяющая проводить балансировку резонатора по нечетным гармоникам неоднородности его упруго-массовых характеристик.

К механической балансировке относятся: статическая балансировка, обеспечивающая совмещение центра масс резонатора с его осью симметрии и динамическая балансировка - связанная с устранением расщепления собственной частоты. Механическая балансировка осуществляется путем съема массы с кромки резонатора импульсным CO_2 - лазером.

Точность механической (динамической балансировки) определяется расщеплением частоты, которое можно сформировать с помощью системы корректирующих электродов. Это расщепление можно определить по формуле:

$$\Delta f_{эл} = \frac{36}{5} \frac{\varepsilon_0 V_{max}^2}{\pi^2 \rho \omega h d_0^3} \sin 2\varphi_{эл},$$

где ε_0 - диэлектрическая постоянная, V_0 - максимальное напряжение на электродах, ρ - плотность материала резонатора, h - толщина стенки резонатора, ω - собственная частота, $\varphi_{эл}$ - угловой размер электрода, d_0 - зазор между электродом и резонатором. Вычисление показывает, что $\Delta f_{эл} = 0{,}2 * 10^{-3}$ Гц.

Диссертация касается вопросов механической динамической балансировки.

С помощью анализа теоретической модели резонатора обоснованы такие методики балансировки, как методика АЧХ и ФЧХ, методика ФУХ - фазоугловой характеристики резонатора. Данные методики позволяют провести балансировку резонатора по четвертой гармонике дефекта его упруго-массовых характеристик.

Методика АЧХ и ФЧХ основана на снятии в различных точках резонатора амплитудно- и фазочастотных характеристик, которые при различных ориентациях резонатора относительно электродов возбуждения обладают рядом особенностей.

При возбуждении колебаний вдоль оси наибольшей (или наименьшей)

собственной частоты характеристики двух каналов системы съема совпадают. При возбуждении колебаний резонатора по биссектрисе угла между осями наибольшей и наименьшей собственных частот характеристики, снятые с двух каналов системы съема находятся на максимально возможном расстоянии друг от друга. Это свойство частотных характеристик лежит в основе идентификации осей наибольшей и наименьшей собственных частот, которые в свою очередь определяют четвертую гармонику дефекта резонатора,а также величину расщепления собственной частоты.

Методика ФУХ основана на измерении разности фаз колебаний по двум каналам системы съема. Зависимость разности фаз от угла поворота резонатора называется фазоугловой характеристикой. Наибольшее значение разность фаз достигает при возбуждении колебаний по биссектрисе угла между осями максимальной и минимальной собственой частоты.

Это свойство ФУХ лежит в основе идентификации осей максимальной и минимальной собственной частоты и следовательно, четвертой гармоники дефекта резонатора.

Балансировка резонатора по четвертой гармонике состоит в снятии лазерным лучом точечных масс в областях максимума четвертой гармоники дефекта резонатора. Балансировочный процесс продолжается до тех пор, пока расщепление частоты не достигнет 10^{-3} Гц.

Указанные методики не позволяют проводить балансировку резонатора по первым трем гармоникам. Однако, при исследовании динамики ВТГ на вибрирующем основании установлено, что на показания гироскопа оказывают влияние первая, вторая и третья гармоники дефекта упруго-массовых характеристик резонатора. Поэтому балансировка резонатора ВТГ по этим гармоникам имеет большое значение при использовании ВТГ в условиях вибраций.

Для разработки методики идентификации первых четырех гармоник дефекта резонатора используется уравнение движения кольцевого резонатора с переменной плотностью (в качестве модели технологических дефектов резонатора рассматривается резонатор с неравномерным распределением массы по окружному углу):

$$\ddot{w}'' - \ddot{w} + \left(\frac{\rho' w}{\rho}\right)' + \frac{EI}{\rho S R^4}\left(w^{IV} + 2w'' + w\right) -$$

$$- \frac{EI}{\rho S R^4}\rho'\left(w''' + 2w' + w'\right) + \frac{EI}{\rho S R^4}\xi\left(\dot{w}^{IV} + 2\dot{w}'' + \dot{w}\right) =$$

$$= Q''(\varphi)/(\rho S), \qquad (8)$$

где $Q(\varphi)$ - нормальная сила, отнесенная к единице длины кольца, ρ - плотность материала кольца, E - модуль Юнга, I - момент инерции сечения кольца, S - площадь сечения кольца, R - радиус кольца, ξ - величина, характеризующая диссипативные свойства резонатора.

При решении уравнения (8) учитывается влияние маятниковой формы колебаний, появление которой вызвано влиянием нечетных гармоник, а также изгибными колебаниями ножки резонатора. Решение записывается в виде:

$$w(\varphi,t) = p_1(t)\cos\varphi + q_1(t)\sin\varphi + p_2(t)\cos 2\varphi + q_2(t)\sin 2\varphi. \qquad (9)$$

Плотность представляется рядом Фурье до четвертой гармоники окружного угла:

$$\rho = \rho_0\left(1 + \sum_{i=1}^{4} \varepsilon_i \cos(\varphi - \varphi_i)\right).$$

После применения метда Бубнова-Галеркина получается система уравнний относительно функций $p_i(t)$ и $q_i(t)$.

Представляя эти функции в виде

$$p_i(t) = a_i\cos\lambda t + m_i\sin\lambda t;$$
$$q_i(t) = b_i\cos\lambda t + n_i\sin\lambda t, \qquad i = 1, 2.$$

можно получить систему восьми алгебраических уравнений относительно амплитуд a_i, m_i, b_i, n_i. Эту же систему можно рассматривать как линейную относительно неизвестных вида:

$$x_{2i-1} = \varepsilon_i\cos\varphi_i; \quad x_{2i-1} = \varepsilon_i\sin\varphi_i, \qquad i = 1,...,4.$$

и ее можно представить в матричной форме:

$$\mathbf{A}(a_i, m_i, b_i, n_i)\mathbf{X} = \mathbf{F}(a_i, m_i, b_i, n_i),$$

где $\mathbf{A}$ - матрица 8x8, $\mathbf{F}$ - вектор 8x1, $\mathbf{X}$ - вектор неизвестных 8x1.

Величины a_i, m_i, b_i, n_i можно определить, применяя схему на рис. 5. На схеме обозначено:

Р - резонатор;
Д1,....Д6 - датчики системы съема;
ЭВ - электроды возбуждения;
У1,...,У6 - усилители сигналов съема;
У - усилитель аналогового сигнала;
ФСВ - формирователь сигнала возбуждения;
ФОС - формирователь опорного сигнала;
ГУН - генератор, управляемый напряжением;
$ДМ_{ф}$ - демодулятор фазовый;
$ДМ_{кв}$ - демодулятор квадратурный;
ЦАП - цифроаналоговый преобразователь;
АЦП - аналогоцифровой преобразователь;
ЭВМ - электронно-вычислительная машина.

Усиленные сигналы с шести датчиков поступают на платы демодуляторов, где сигнал каждого датчика делится на две составляющие, одна из которых находится в фазе с опорным сигналом (сформированном в блоке **ФОС**), а другая находится в квадратуре (сдвинута по фазе на 90 град.) относительно этого сигнала. Опорный сигнал совпадает по фазе с сигналом возбуждения. Демодулированные сигналы, преобразуясь в блоке **АЦП** в электронные коды, через контроллер связи поступают в **ЭВМ**, где происходит обработка сигналов и вывод результатов на дисплей. В **ЭВМ** также вырабатывается команда управления частотой возбуждения, которая будучи преобразована в аналоговую форму в блоке **ЦАП** и усилена усилителем **У**, подается на вход блока **ГУН**, который изменяет частоту импульсов возбуждения в соответствии с входными сигналами.

Величины a_i, m_i, b_i, n_i определяются формулами:

$$a_1 = (w_{1c} - w_{4c})/2; \qquad b_1 = (w_{3c} - w_{6c})/2;$$

$$a_2 = (w_{1c} + w_{4c})/2; \qquad b_2 = (w_{2c} + w_{5c})/2;$$

$$m_1 = (w_{1s} - w_{4s})/2; \qquad n_1 = (w_{3s} - w_{6s})/2;$$

$$m_2 = (w_{1s} + w_{4s})/2; \qquad n_2 = (w_{2s} + w_{5s})/2.$$

где w_{ic} и w_{is} - соответственно фазная и квадратурая составляющие сигнала датчика **Дi**.

Решая систему (10) относительно неизвестных x_i, находим амплитуды и ориентации гармоник в виде:

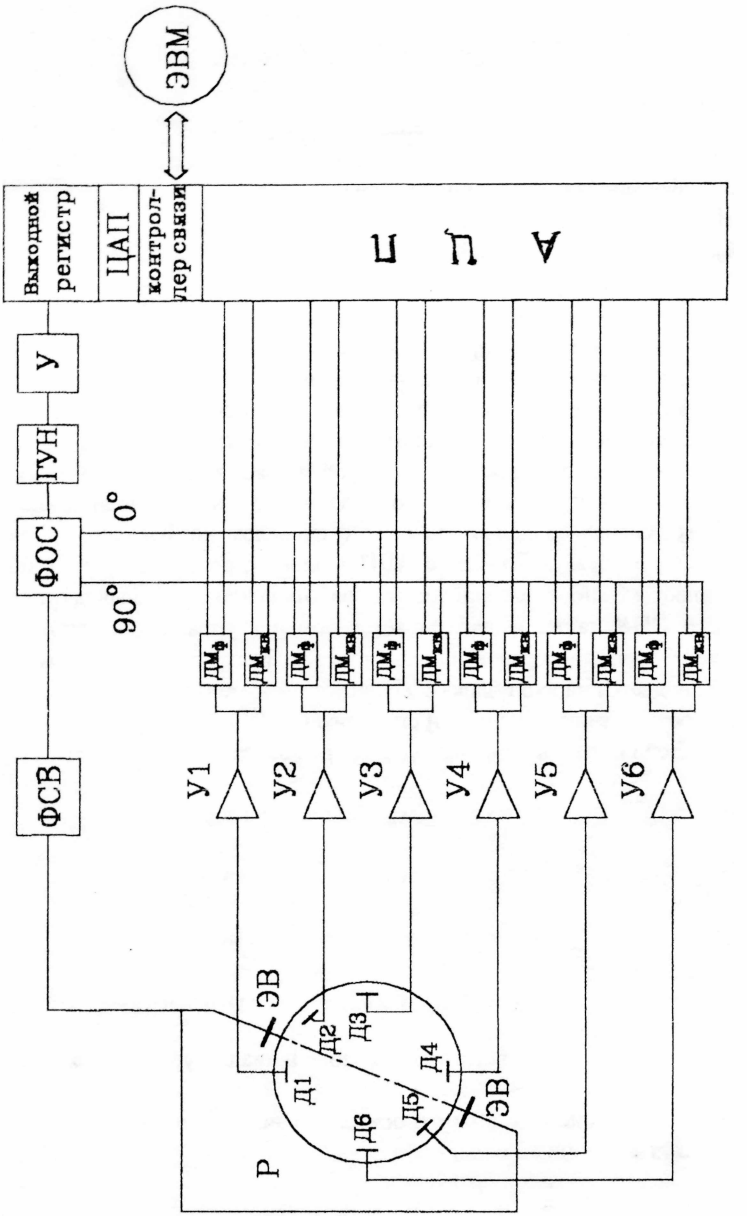


Рис. 5. Схема определения четырех гармоник неоднородности распределения массы резонатора

$$\varepsilon_i = \sqrt{x_{2i}^2 + x_{2i-1}^2};$$

$$\varphi_i = (1/i)\mathrm{arctg}(x_{2i-1}/x_{2i}); \qquad i = 1, 2, 3, 4.$$

После проведения балансировки резонатора по четвертой гармонике устраняется расщепление собственной частоты резонатора и он имеет равные собственные частоты по всем направлениям. Балансировка по первым трем гармоникам компенсирует влияние этих гармоник в условиях резонансных вибраций, что позволит применять ВТГ в жестких условиях вибрационных перегрузок без потери точности его показаний.

В заключении приводятся основные результаты работы.

ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Разработана математическая модель резонатора волнового твердотельного волнового гироскопа с учетом неоднородности распределения массы резонатора по окружному углу и выявлены погрешности ВТГ, вызванные основными технологическими дефектами резонатора.

2. Получено представление волнового процесса в резонаторе в виде суммы двух стоячих волн, ортогональных по окружному углу и по фазе, на основе этого представления предложен способ идентификации четвертой гармоники дефекта резонатора.

3. Проведена оценка вибрационных погрешностей ВТГ с целью идентификации первых трех гармоник дефекта резонатора.

4. Получено приближенное решение уравнений динамики резонатора ВТГ с учетом влияния четырех гармоник неоднородности распределения массы резонатора.

5. На основе анализа уравнений динамики разработана и внедрена оригинальная методика идентификации и балансировки первых четырех гармоник неоднородности упруго-массовых характеристик резонатора, состоящая в обработке сигналов системы съема информации с помощью демодуляторов и получении данных для системы линейных уравнений, решая которую, можно определить параметры гармоник. Для реализации разработанной методики составлена программа на языке Турбо-Паскаль, позволяющая идентифицировать амплитуды и фазы гармоник и провести балансировку на автоматизированном балансировочном стенде.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. *Матвеев В.А., Липатников В.И., Алехин А.В.* Идентификация неоднородности распределения массы резонатора твердотельного волнового гироскопа //Вестник МГТУ. Приборостроение. - 1997.- №1.- С. 104-109.

2. *Матвеев В.А., Липатников В.И., Алехин А.В.* Проектирование волнового твердотельного гироскопа.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1997.-180 с.