

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОНЦЕРН «АЗЕРБАЙДЖАН ХАВА ЙОЛЛАРЫ»
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ АВИАЦИИ

На правах рукописи

ЭНВЕР ТАПДЫГ оглы ГАЗАРХАНОВ

**ВИБРАЦИОННЫЙ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГИРОСКОП
ДЛЯ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Специальность 05.07.06 – Наземные комплексы, стартовое оборудование,
эксплуатация летательных аппаратов и их систем

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Баку - 2005

Работа выполнена в Национальной Академии Авиации Азербайджана
НАУЧНЫЕ РУКОВОДИТЕЛИ:

- доктор физико-математических наук,
академик НАН Азербайджана

А.М. ПАШАЕВ

- доктор технических наук, профессор

Т.Б. ГУРБАНОВ

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

- доктор технических наук, профессор

И.М. АБДУЛЛАЕВ

- кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Р.А. САДЫХОВ

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ:

Научно-производственное объединение «NORD» Государственного
Комитета Специального Машиностроения и Конверсии

Защита состоится "28" июня 2005 г. в 14⁰⁰ часов

на заседании Специализированного Совета N.06.001 при
Национальной Академии Авиации Азербайджана по адресу: AZ-1045,
г. Баку, Бина, 25-й км., Национальная Академия Авиации.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национальной
Академии Авиации.

Автореферат разослан "27" мая 2005 г.

Ученый секретарь

Специализированного Совета

д.т.н., с.н.с.



А.Р. Гасанов

Введение

Актуальность темы. Постоянное совершенствование систем управления летательными аппаратами выдвигает задачу улучшения основных показателей измерительных устройств. Широкое внедрение в этих системах бортовых цифровых вычислительных машин стимулирует развитие дискретных линейных акселерометров и гироскопов: струнных, стержневых, вибрационных.

Гироскопы и акселерометры обеспечивают информацией системы управления движением центра масс летательных аппаратов и системы инерциальной навигации, т.е. непосредственно участвуют в решении такой задачи, как прибытие летательных аппаратов в расчетную точку пространства в заданное время и с заданной точностью.

Навигационные измерительные устройства (гироскопы и акселерометры), а также их элементы должны обеспечить необходимую стабильность рабочих характеристик в заданных условиях эксплуатации в широком диапазоне изменения параметров окружающей среды, а также обладать достаточно высокой прочностью и стойкостью, способностью выдерживать кратковременные и длительные перегрузки, минимальными массо-габаритными показателями, технологичностью изготовления, эксплуатационной долговечностью и простотой обслуживания.

Существующие навигационные средства обладают рядом недостатков и не позволяют получать высокую разрешающую способность, необходимые динамические показатели, стабильность работы в жестких условиях. Одни типы классических навигационных устройств, имея большую чувствительность, не способны выдерживать длительные линейные, угловые и вибрационные перегрузки, удары. Другие типы, несмотря на то, что выдерживают длительные линейные, угловые и вибрационные перегрузки, имеют узкий диапазон и низкую чувствительность измерения. С другой стороны, широкий круг эффектов и явлений, на основе которых разработаны такие новые типы гироскопов, как оптические, лазерные, ионные, радиоизотопные и т.п., а также различный уровень их развития на данном этапе в сильной степени затрудняют проведение их сравнительного анализа с целью выявления наиболее перспективных вариантов гироскопов новых типов. В настоящее время еще трудно предсказать, какой из новых типов гироскопов окажется в конечном счете наилучшим и при этом затраты на создание новых гироскопов постоянно увеличиваются. Наконец, необходимо отметить еще одно обстоятельство. Учитывая разнообразные требования, предъявляемые к гироскопам, можно лишь утверждать, что широкий круг областей их использования ведет к необходимости иметь целый ряд гироскопов, обладающих различными параметрами.

В настоящее время в навигации наряду с дальнейшим усовершенствованием конструктивных исполнений традиционных электромеханических устройств начинают широко применяться нетрадиционные принципы их построения и, в частности, структуры, построенные на базе пьезоэлектрических электромагнитных колебательных систем, которые имеют такие новые качества, как совмещение высокой чувствительности и широкого диапазона измерений с жесткими требованиями условий эксплуатации.

В сфере создания таких структур в настоящее время имеется ряд нерешенных задач научного и технического характера, таких, как обеспечение высокой разрешающей способности, стабильности технических характеристик и достижение необходимых динамических показателей.

Для достижения поставленных задач требуется создание и исследование устройств на базе пьезоэлектрических электромагнитных колебательных систем с использованием дифференциального метода измерения. Создание такого рода гироскопов и других навигационных приборов измерения является одной из важнейших задач авиационного приборостроения.

Цель работы. Разработка и исследование пьезоэлектрического гироскопа нового типа с повышенной точностью, стабильностью и низкой стоимостью.

Методы исследования. Исследования проводились с применением основных законов и методов теории колебаний механических систем, основ теории пьезоэлектрических преобразователей, основ измерительно-информационной техники, теории автоматического регулирования, теории электромеханических систем, теории навигационных систем управления, компьютерного моделирования.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- Предложен способ определения чувствительности вибрационного гироскопа с пьезоактивными силовыми измерительными элементами при работе гироскопа в возмущенном режиме;
- Получена обобщенная нелинейная динамическая модель колебательной системы вибрационного пьезоэлектрического гироскопа;
- Разработаны структурные схемы одномерного и двухмерного управления колебательной системой вибрационного пьезоэлектрического гироскопа;
- Составлены алгоритмы исследования динамической модели одно- и двухмерного управления колебательной системой вибрационного пьезоэлектрического гироскопа.

Практическая ценность работы заключается в разработке конструкции вибрационного пьезоэлектрического гироскопа с относительно меньшими массо-габаритными показателями, низкой стоимостью и с повышенной точностью и стабильностью.

Реализация результатов работы. Диссертация выполнена в рамках проводимых в Национальной Академии Авиации (НАА) научных исследований совместно с Азербайджанским Техническим Университетом (АзТУ).

Полученные в диссертационной работе результаты приняты к использованию в научных исследованиях, проводимых на кафедре «Летательных аппаратов» Таганрогского Государственного Радиотехнического Университета.

Результаты также используются в учебном процессе при подготовке в НАА специалистов по летной и технической эксплуатации летательных аппаратов и их систем, в курсовом и дипломном проектировании.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы были доложены на Республиканской Конференции «Безопасность полетов и современные направления развития авиационной техники», посвященной 80-летию президента Азербайджанской Республики Г.А. Алиева (08-12 мая 2003г., г. Баку), на четвертой Международной Научно-практической Конференции «Современные информационные и электронные технологии» (19-23 мая 2003г., г. Одесса, Украина), на Юбилейной Международной Научно-технической Конференции «Информационные и электронные технологии в дистанционном зондировании», посвященной 70-летию академика А.Ш. Мехтисова (20-23 декабря 2004 г., г. Баку).

Основные положения, выносимые на защиту:

- Новое конструктивное решение вибрационного пьезоэлектрического гироскопа (ВПГ) на базе пьезоактивного чувствительного элемента дифференциального исполнения;
- Способ определения чувствительности вибрационного гироскопа с новым конструктивным решением;
- Динамическая модель системы управления колебательной системой ВПГ;
- Алгоритмы исследования динамических свойств линейной модели системы управления колебательной системой ВПГ.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликованы 14 трудов, в том числе патент-изобретение, статьи, тезисы докладов, материалы международных и республиканских конференций.

Структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, списка использованной литературы и приложений. Содержит 150 страниц, в том числе 108 страниц машинописного текста, 40 рисунков, 2 таблицы, библиографию из 110 наименований, приложения.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, изложены основные защищаемые положения и краткая характеристика работы.

В первой главе рассмотрены тенденции развития современной гироскопии. Представлена классификация и проведен сравнительный анализ свойств классических и новых типов гироскопов, а также гироскопов, построенных на нетрадиционных принципах. На основе проведенного анализа установлено, что существующие гироскопы не в полной мере отвечают требованиям точности и стабильности измерительных приборов существующих навигационных систем. Обоснована необходимость разработки вибрационного гироскопа нового типа на базе пьезоэлектрических электромагнитных колебательных систем с использованием дифференциального метода измерения, с повышенной точностью и стабильностью, с низкой стоимостью и улучшенными массо-габаритными показателями.

Вторая глава посвящена описанию принципов работы новых вибрационных пьезоэлектрических гироскопов с электромагнитной колебательной системой обычного и дифференциального исполнения, являющихся совместной разработкой НАА и АзТУ, и определению чувствительности вибрационного гироскопа дифференциального исполнения с пьезоэлектрическими активными силовыми измерительными элементами.

Техническая сущность предложенного технического решения заключается в том, что возникающий гироскопический момент вызывает отклонения носителя кинетического момента (инерционной упругой массы) относительно продольной оси возбудителя. Отклонение, фиксируемое чувствительными элементами, установленными по боковым сторонам П-образной пластинчатой пружины с преобразованием в аналоговый сигнал, используется в качестве полезного сигнала, являющегося мерой угловой скорости переносного движения или угла поворота объекта, при котором достигается увеличение чувствительности за счет приведения колебательной системы П-образной пружины с чувствительными элементами и упругой инерционной массы к одной частоте синфазных линейных гармонических колебаний.

Конструктивная схема вибрационного пьезоэлектрического гироскопа (ВПГ) представлена на рис.1. При появлении вращения ВПГ вокруг оси Z относительно инерциального пространства с угловой скоростью ω_z , выражения для кинетической W_K , потенциальной W_{II} энергий и диссипативной функции Лагранжа Φ , соответственно, будут иметь следующий вид:

$$W_K = 0.5m[(\dot{X} - Y\omega_z)^2 + (\dot{Y} + X\omega_z)^2], \quad (1)$$

$$W_{II} = 0.5(C_X X^2 + C_Y Y^2), \quad (2)$$

$$\Phi = 0.5[K_X(\dot{X} - Y\omega_z)^2 + K_Y(\dot{Y} + X\omega_z)^2]. \quad (3)$$

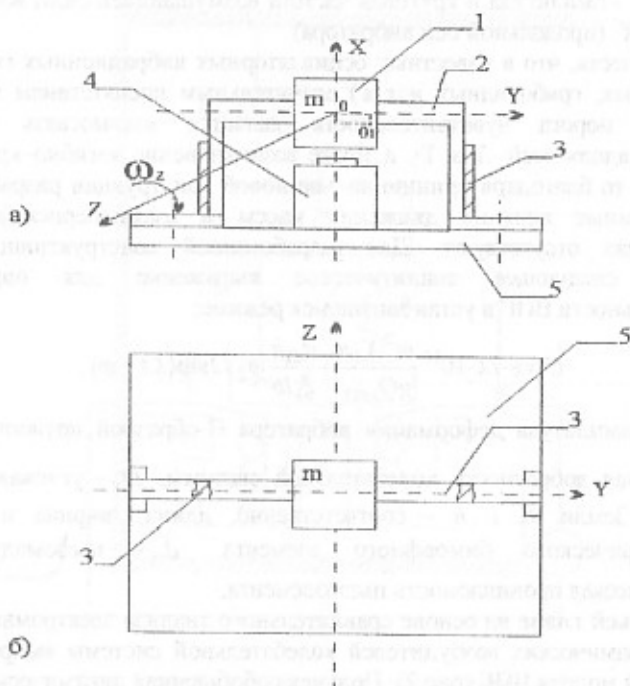


Рис.1. Механическая модель вибрационного гироскопа: а) вид спереди, б) вид сверху; 1-инерционная масса; 2 - П-образная пружина; 3-пьезоактивный силоизмерительный элемент; 4- электромагнитный возбудитель; 5- основание

где K_X , K_Y - коэффициенты сопротивления при движении массы вдоль осей X и Y ; C_X , C_Y - коэффициенты, характеризующие жесткость присоединения массы m к основанию корпуса 5 при ее движении вдоль осей X и Y . С учетом выражений (1-3) уравнения Лагранжа второго рода будут иметь вид:

$$\begin{cases} \ddot{X} + 2h_X \dot{X} + (\Omega_1^2 - \omega_z^2)X - 2\omega_z \dot{Y} - (2h_X \omega_z - \dot{\omega}_z)Y = a \sin \Omega t \\ \ddot{Y} + 2h_Y \dot{Y} + (\Omega_2^2 - \omega_z^2)Y + 2\omega_z \dot{X} + (2h_Y \omega_z + \dot{\omega}_z)X = 0 \end{cases} \quad (4)$$

со следующими принятыми обозначениями:

$$\Omega_1^2 = \frac{C_X}{m}; \Omega_2^2 = \frac{C_Y}{m}; 2h_X = \frac{k_X}{m}; 2h_Y = \frac{k_Y}{m}; a = \frac{F}{m};$$

где F и Ω - амплитуда и круговая частота возмущающей силы возбудителя вдоль оси X (продольной оси вибратора).

Если учесть, что в известных осцилляторных вибрационных гироскопах (камертонных, грибовидных и т.д.) значительным препятствием на пути к снижению порога чувствительности является взаимосвязь изгибных колебаний вдоль осей X и Y , а также возникновение изгибно-крутильных колебаний, то благодаря принципиально новой конструкции разработанного ВПГ взаимные влияния движения массы в взаимоперпендикулярных направлениях отсутствуют. Для разработанной конструктивной схемы получено следующее аналитическое выражение для определения чувствительности ВПГ в установившемся режиме:

$$U = -72 \cdot 10^{14} \frac{m^2 X_0 \pi}{g Q_{МЭХ}} \cdot \frac{d_{31} h}{\xi_b l b} \omega_z \Omega \sin(\Omega t - \varphi), \quad (5)$$

где X_0 - амплитуда деформации вибратора П-образной пружины, $Q_{МЭХ}$ - механическая добротность колебательной системы, ω_z - угловая скорость вращения Земли, b , l , h - соответственно, длина, ширина и толщина пьезоэлектрического биморфного элемента, d_{31} - пьезомодуль, ξ_b - диэлектрическая проницаемость пьезоэлемента.

В третьей главе на основе сравнительного анализа электромагнитных и электродинамических возбудителей колебательной системы выбрана схема физической модели ВПГ (рис.2). Получена обобщенная динамическая модель электромагнитной колебательной системы ВПГ, обладающая, однако, существенной нелинейностью и требующая в этой связи для своего решения частного подхода:

$$m\ddot{X} + kX = -\frac{1}{Z_1^2 \mu_0 S} \left[a + \frac{u^2}{4\omega^2} - \frac{u^2}{4\omega^2} \cos 2\omega t \right], \quad (6)$$

где m - масса якоря; Z_1 - число витков в обмотке электромагнита переменного тока; μ_0 - магнитная проницаемость воздушного зазора между инерционной массой и полюсом электромагнита; $S = \pi r^2$ - площадь сечения ферромагнитной инерционной массы; $a = -\frac{u}{2\omega^2} \beta e^{-\beta t}$ - неизвестная экспоненциальная функция времени; u - напряжение питания.

Для решения поставленной задачи в данном случае был апробирован асимптотический метод с принятыми определенными условиями, обеспечивающими квазилинейность гармонического колебательного процесса, характеризуемая, однако, громоздкими математическими выкладками, препятствующими точному анализу

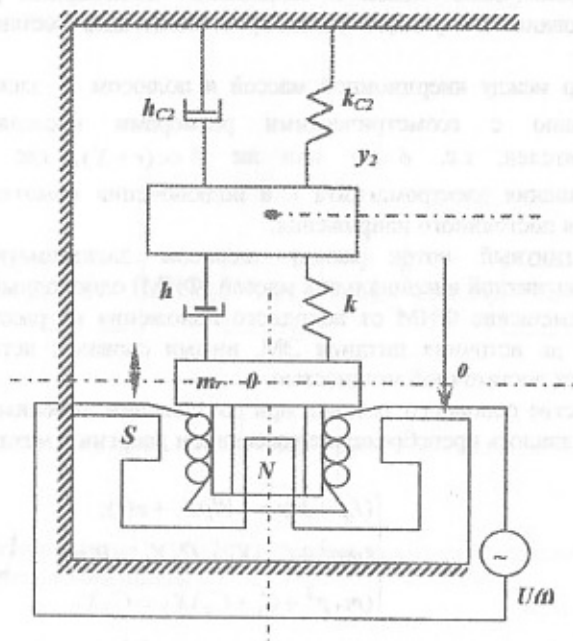


Рис.2. Схема физической модели электродинамической колебательной системы ВПГ в высокочастотном режиме

процессов в колебательных системах реальных устройств. Асимптотические решения консервативной колебательной системы получены в виде:

$$\ddot{X} + kX = \varepsilon f(X, \ddot{X}), \quad (7)$$

где ε - малый параметр. Общее решение уравнения (7) отыскивается в следующем виде:

$$X = a \cos \Psi + \varepsilon u_1(a, \Psi) + \varepsilon^2 u_2(a, \Psi) + \dots \varepsilon^m u_m(a, \Psi),$$

где $u_1(a, \Psi)$, $u_2(a, \Psi)$ - периодические функции угла Ψ с периодом 2π ; a, Ψ - функции времени, определяемые дифференциальными уравнениями

$$\left. \begin{aligned} \frac{da}{dt} &= \varepsilon A_1(a) + \varepsilon^2 A_2(a) + \dots \varepsilon^m A_m(a) + \dots \\ \frac{d\Psi}{dt} &= \omega + \varepsilon B_1(a) + \varepsilon^2 B_2(a) + \dots \varepsilon^m B_m(a) + \dots \end{aligned} \right\}.$$

Для практических целей и выполнения инженерных расчетов были сформулированы следующие условия, позволяющие составить линейную модель:

- а) зазор между инерционной массой и полюсом δ электромагнита по сравнению с геометрическими размерами последних ($S = \pi r^2$) незначителен, т.е. $\delta \ll r$ или же $\delta \ll (r + X)$, где X - величина перемещения электромагнита при подключении обмотки к источнику питания постоянного напряжения;
- б) магнитный поток между полюсом электромагнита (ЭМ) и ферромагнитной инерционной массой (ФИМ) однородный;
- в) перемещение ФИМ от исходного положения на расстояние « X » не влияет на источник питания ЭМ, иными словами, источник питания обладает достаточной мощностью.

В качестве основного условия при составлении линейных операторных уравнений явилось пренебрежение рассеянием энергии в механических узлах системы:

$$\begin{cases} (Lp + R)i = -BlpX_1 + u(t); \\ (mp^2 + C_2)X_1 = C_2X_2 + Bl i; \\ (m_2p^2 + C_1 + C_2)X_2 = C_2X_1 \end{cases}$$

Проведенные исследования дали основания о необходимости использования в конструкции ВПГ электродинамического вибратора, который удобен в управлении и является наиболее эффективным возбудителем механических колебаний в широком диапазоне частот (100-5000 Гц). В основу работы электродинамической колебательной системы были положены основные законы, относящиеся к электромагнитным явлениям.

Четвертая глава посвящена составлению передаточных функций исследуемой системы с одномерным и двумерным управлением по возмущению, проведению компьютерных экспериментов, в том числе и аналитическому моделированию структурной схемы управления колебательной системы в режиме низкочастотных и высокочастотных механических колебаний.

Получены эквивалентные структурные схемы по возмущению колебательной системы вибрационного пьезоэлектрического гироскопа (рис.3 и рис.4). Разработаны алгоритмы исследования линейной динамической модели схемы управления колебательной системы в режиме низкочастотных и высокочастотных механических колебаний в виде операторных уравнений частотных характеристик и в виде аналитической

модели на базе линейных схем с операционными усилителями с последующими компьютерными исследованиями.

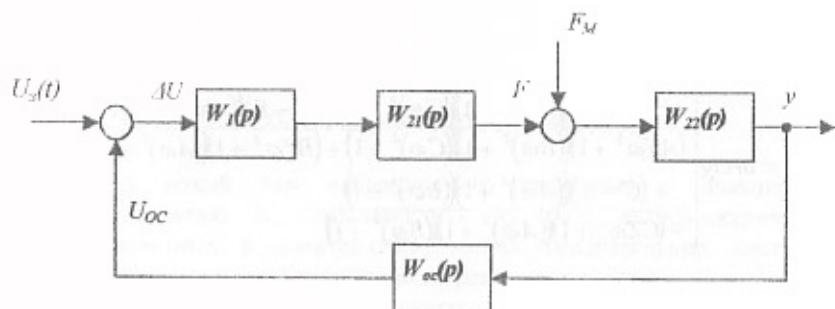


Рис.3. Структурная схема ЭДКС ВПГ в режиме низкочастотных колебаний с учетом действия возмущения

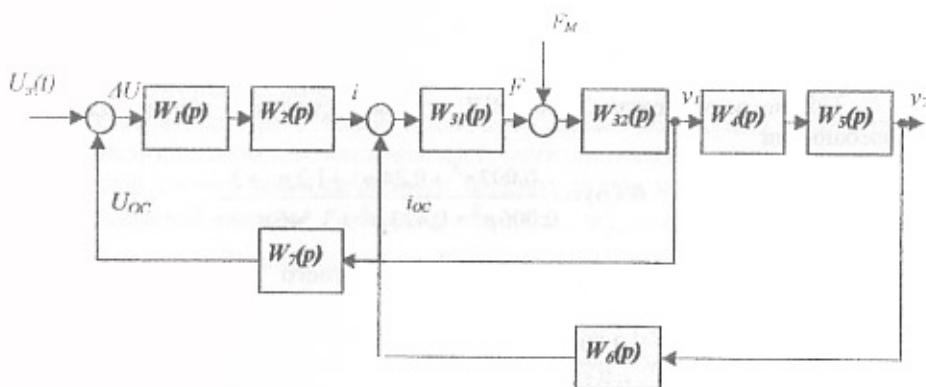


Рис.4. Структурная схема ЭДКС ВПГ в режиме высокочастотных колебаний

Нижеследующие математические выражения являются частотными характеристиками ЭДКС ВПГ:

в низкочастотном режиме:

$$P(\omega) = -K_3 \cdot \left(\frac{AX\omega^2 + 1}{(A\omega)^2 + 1} \cdot \frac{BY\omega^2 + 1}{(B\omega)^2 + 1} \cdot \frac{CZ\omega^2 + 1}{(C\omega)^2 + 1} \right)$$

$$Q(\omega) = j \cdot \left(\frac{(A-X)\omega}{(A\omega)^2 + 1} \cdot \frac{(B-Y)\omega}{(B\omega)^2 + 1} \cdot \frac{(C-Z)\omega}{(C\omega)^2 + 1} \right) \cdot K_3$$

$$\phi(\omega) = \arctg \left[\frac{(A-X)((B\omega)^2 + 1)((C\omega)^2 + 1) + (B-Y)((A\omega)^2 + 1)((C\omega)^2 + 1) + (C-Z)((A\omega)^2 + 1)((B\omega)^2 + 1)}{(AX\omega^2 + 1)((B\omega)^2 + 1)((C\omega)^2 + 1) + (BY\omega^2 + 1)((A\omega)^2 + 1)((C\omega)^2 + 1) + (CZ\omega^2 + 1)((A\omega)^2 + 1)((B\omega)^2 + 1)} \right]$$

в высокочастотном режиме:

$$\left\{ \begin{aligned} P(\omega) &= \frac{(1 - \omega^2 a_1)(\omega^4 b_1 - \omega^3 b_2 + 1) + (\omega^3 a_0 - \omega a_2)(\omega^5 b_0 + \omega^3 b_2 + \omega b_4)}{(\omega^4 b_1 - \omega^2 b_3 + 1)^2 + (\omega_5 b_0 + \omega^3 b_2 + \omega b_4)^2} \\ Q(\omega) &= \frac{(1 - \omega^2 a_1)(\omega^5 b_0 + \omega^3 b_2 + \omega b_4) + (\omega^3 a_0 - \omega a_2)(\omega^4 b_1 - \omega^3 b_2 + 1)}{(\omega^4 b_1 - \omega^2 b_3 + 1)^2 + (\omega^5 b_0 + \omega^3 b_2 + \omega b_4)^2} \end{aligned} \right.$$

В результате расчета получены следующие выражения передаточных функций (ПФ):

- ПФ по возмущению ЭДКС ВПГ с низкочастотными механическими колебаниями:

$$W(p) = \frac{0.002p^3 + 0.24p^2 + 1.2p + 3}{0.006p^3 + 0.423p^2 + 3.546p + 6}$$

- ПФ по возмущению для низкочастотного выхода ЭДКС с высокочастотными механическими колебаниями:

$$W(p) = \frac{0.001p^3 + 0.078p^2 + 0.637p + 1.319}{0.001p^5 + 0.034p^4 + 0.089p^3 + 0.123p^2 + 0.758p + 2.712}$$

- ПФ по возмущению для высокочастотного выхода ЭДКС с высокочастотными механическими колебаниями:

$$W(p) = \frac{0.034p^3 + 0.68p^2 + 1.8p + 2.67}{0.007p^3 + 0.06p^2 + 0.98p + 1.97}$$

С целью расширения диапазона мощности при управлении колебательной системой, дополнительно предусмотрено управление током подмагничивания неподвижной катушки, в результате чего получена система с двухканальным управлением КС ВПГ. Это позволило увеличить до 10% диапазон мощности по управляемым параметрам.

В заключении отражены наиболее важные результаты проведенных исследований и сформулированы основные выводы.

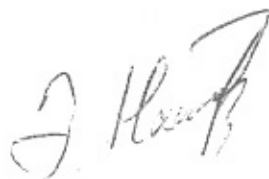
ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработан новый тип вибрационного гироскопа с повышенной чувствительностью и стабильностью на базе пьезоэлектрических электромагнитных и электродинамических колебательных систем с низкочастотными и высокочастотными режимами работы.
2. Установлено, что в разработанных конструкциях вибрационных гироскопов взаимные влияния движений инерционной массы во взаимоперпендикулярных направлениях исключаются, в результате чего увеличивается точность измерения по контролируемой координате.
3. Получены аналитические выражения для определения чувствительности вибрационного пьезоэлектрического гироскопа (ВПГ) с колебательной системой (КС). Установлена зависимость чувствительности ВПГ не только от свойств и геометрических размеров разработанных преобразователей, но и от количества кинетического момента, зависящего от параметров колебаний КС.
4. Установлено, что с целью исключения возможного срыва работы КС максимальная амплитуда подвижной части системы не должна превышать одной третьей части начального значения зазора между возбудителем и подвижной частью. Показано, что при $\omega_{\text{раб}} = \omega_0$ чувствительность значительно больше, чем при работе $\omega_{\text{раб}} \neq \omega_0$.
5. Получена обобщенная динамическая модель системы управления (СУ) электродинамической колебательной системой (ЭДКС) ВПГ, обладающая существенной нелинейностью. Обоснованы основные условия и допущения, позволяющие составить линейную модель СУ ЭДКС ВПГ.
6. Разработаны модели СУ КС ВПГ с одно - и двумерным способами управления.
7. Составлены алгоритмы исследования СУ ЭДКС ВПГ для изучения влияния различных форм внешних воздействий на ЭДКС, с использованием специальных пакетов прикладных программ.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Газарханов Э.Т. Новые типы гироскопов // Azərbaycan Texniki Universitetinin aspirant və gənc tədqiqatçıların elmi-texniki konfransının məruzə materialları. Bakı: AZTU, 2002, s. 66-71.
2. Газарханов Э.Т. Гироскопический эффект колебательной системы // Mülki aviasiyanın müasir problemlərinin həllində elm və tədrisin rolu. Respublika konfransının əsərləri. Bakı: MAA, 2002, 29-30 oktyabr, s.120-121.
3. Гурбанов Т.Б., Газарханов Э.Т., Эфендиев О.З., Кяримли Т.И. Математическая модель навигационных приборов с электромагнитной колебательной системой // Mülki aviasiyanın müasir problemlərinin həllində elm və tədrisin rolu. Respublika konfransının əsərləri. Bakı: MAA, 2002, 29-30 oktyabr, s. 42-45.
4. Аскеров Дж.Дж., Газарханов Э.Т., Гурбанов Т.Б., Эфендиев О.З. Моделирование навигационных приборов с электромагнитной колебательной системой // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Əsərləri. Buraxılış 2. Bakı, 2002, s. 63-66.
5. Пашаев А.М., Гурбанов Т.Б., Газарханов Э.Т. Возникновение гироскопического эффекта при относительном движении колебательной системы // Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Əsərləri. Buraxılış 2. Bakı, 2002, s. 98-104.
6. Гурбанов Т.Б., Газарханов Э.Т., Эфендиев О.З., Кяримли Т.И. Пьезоэлектрические преобразователи в инерциально-навигационных системах управления // Elmi Məcmuələr. Bakı: MAA, 2002, cild 4, №2, s. 9-14.
7. Гурбанов Т.Б., Газарханов Э.Т., Кяримли В.И. Линейная модель электродинамической колебательной системы // Uçuşların təhlükəsizliyi və aviasiya texnikasının inkişafının müasir istiqamətləri. Azərbaycan Respublikasının Prezidenti H.Ə. Əliyevin anadan olmasının 80 illiyinə həsr olunmuş elmi konfransın əsərləri. Bakı: MAA, 2003, 08-12 may, s. 73-75.
8. Гурбанов Т.Б., Газарханов Э.Т., Эфендиев О.З., Кяримли Т.И. Линейные нестационарные системы // Uçuşların təhlükəsizliyi və aviasiya texnikasının inkişafının müasir istiqamətləri. Azərbaycan Respublikasının Prezidenti H.Ə. Əliyevin anadan olmasının 80 illiyinə həsr olunmuş elmi konfransın əsərləri. Bakı: MAA, 2003, 08-12 may, s. 79-81.
9. Гурбанов Т.Б., Газарханов Э.Т., Эфендиев О.З., Кяримли Т.И., Кяримли В.И. Статическая модель электромагнитной колебательной системы для навигационных систем управления летательных аппаратов // Elmi Məcmuələr. Bakı: MAA, 2003, cild 5, №1 s. 20-23.

10. Пашаев А.М., Газарханов Э.Т., Гурбанов Т.Б., Исмаилов Н.М., Кяримли Т.И. Гироскопы с электромагнитными колебательными системами // Труды Четвертой Международной Научно-практической Конференции «Современные информационные и электронные технологии». 19-23 мая 2003 г., г. Одесса, Украина, стр. 218.
11. Пашаев А.М., Гурбанов Т.Б., Газарханов Э.Т., Кяримли Т.И., Эфендиев О.З. Дифференциальный вибрационный пьезоэлектрический гироскоп // Вестник Национального Авиационного Университета Украины. Киев: 2003, стр. 67-70.
12. Paşayev A.M., Qurbanov T.B., Əfəndiyev O.Z., Həzərhanov Ə.T. Vibrasiyalı girooskop. Patent-ixtira № 2004 0023, 01.03.2004.
13. Газарханов Э.Т. Исследование электродинамической колебательной системы вибрационных пьезоэлектрических гироскопов // Elmi Məcmuəyə. Bakı: MAA, 2004, cild 6, №4, s. 20-23.
14. Газарханов Э.Т. Упрощенная динамическая модель вибрационного гироскопа с пьезочувствительными элементами // Труды юбилейной международной научно-технической конференции, посвященной 70-летию академика А.Ш. Мехтиева «Информационные и электронные технологии в дистанционном зондировании». Баку: 20-23 декабря 2004 г., стр. 182-186.



Qeyri-stasionar obyektlərin naviqasiya idarəetmə sistemləri üçün vibrasiyalı pyezoelektrik giroskop

XÜLASƏ

Naviqasiya sistemlərinin informasiya təminatının aparat vasitələrindən biri olan giroskopların klassik və müasir növlərinin müqayisəli təhlili əsasında nisbətən yüksək dəqiqliyə, stabilliyə və aşağı maya dəyərinə malik, diferensial sxemli, aktiv pyezoelektrikli qüvvəölçmə elementli yeni tipli vibrasiyalı pyezoelektrik giroskopun (VPG) yaradılması zərurəti əsaslandırılmışdır. Gösterilmişdir ki, işlənmiş yeni tipli VPG-nin konstruksiyaları onların ətalətli kütləsinin bir-birinə perpendikulyar istiqamətlərdə hərəkətlərinin qarşılıqlı təsirini istisna etməyə imkan verir. Harmonik rəqslər rejimində həssaslığın təyin olunması üsulu işlənərək müəyyən edilmişdir ki, giroskopun tələb olunan dəqiqliyini və stabilliyini təmin etmək şərti ilə dayanıqlı işləməsi üçün onun elektrodinamik rəqsi sistemini (EDRS) yaradan konstruksiyanın hərəkətli hissəsinin amplitudu təsirləndirici ilə hərəkətli hissənin arasındakı məsafənin başlanğıc qiymətinin üçdə birindən çox olmamalıdır. VPG-nin dinamikasının tədqiqi məqsədilə onun RS-nin ümumiləşdirilmiş modeli qurulmuş və o, nəzərəcərpacaq dərəcədə qeyri-xəttiliyə malik olmuşdur. Praktiki hesablamaların və mühəndis tədqiqatlarının aparılmasını sadələşdirmək məqsədilə RS-in xətti modelinin qurulması əsaslandırılmış və bu məqsədlə zəruri olan başlanğıc şərtlər müəyyən edilmişdir. Qurulmuş xətti modellər əsasında VPG-nin RS-nin aşağı və yüksək tezlikli iş rejimlərinə uyğun idarəetmə sisteminin (İES) struktur sxemləri tərtib edilmişdir. Müxtəlif formalı kənar həyəcanlandırıcı qüvvələrin giroskopa təsirini müəyyən etmək məqsədilə VPG-nin EDRS-nin İES-nin tədqiqi alqoritmləri tərtib edilmişdir. Alqoritmlərin kompüter simulyasiyası nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, həyəcanlandırıcı qüvvənin müxtəlif formalarında onların parametrlərinin konkret dəyişmə diapazonunda, EDRS-in İES giroskopun dayanıqlı iş rejimini təmin edir. VPG-nin RS-nin ikikanallı İES-nin modeli və struktur sxemi tərtib edilmişdir. Kanallardan biri əsas kanal adlanıb nisbətən yüksək güclü olmaqla, VPG-nin hərəkətli hissəsində yerləşən elektrodinamik, digəri isə nisbətən aşağı gücə malik olan əlavə kanal olmaqla, konstruksiyanın hərəkətsiz hissəsində yerləşən elektromaqnit RS-nin idarəedilməsini təmin edir.

The vibrational piezo-electric gyro for navigational management systems of non-stationary objects

SUMMARY

On the basis of the comparative analysis of classical and modern types of gyros, that represent hardware of navigational systems infware, necessity of development of a new type of vibrational piezo-electric gyro (VPG) with rather high response and stability, with low cost and mass-dimensional characteristics on the basis of active piezo-electric power-measuring device with a differential linking circuit has been proved. It has been found out that constructions of the new developed VPG types exclude interactive interferences of inertia mass motion in a co-perpendicular direction, therefore the measurement accuracy on the checked coordinate increases. The procedure of determination of sensitivity in a regime of simple harmonic motions has been developed. Thus it has been proved, that for provision of VPG stable running with demanded characteristics of precision and stability, the peak amplitude of a loose port of a construction which forms its electro-dynamics vibrating system (EDVS), should not exceed one third part of the initial value of a backlash between the actuator and a loose port. With the purpose of examination of dynamic properties VS generalized dynamic model has been made and it has been proved, that such model possesses essential nonlinearity. With the purpose of simplification of practical calculations and engineering investigation realization developing of the linear VS model has been proved and the basic starting conditions and the assumptions allowing to make the linear model have been worked out. On the basis of the linear model skeleton diagrams of a management system (MS) EDVS VPG have been made by operation in low- and high-frequency modes. Algorithms of MS EDVS VPG investigation with the purpose of examination of effect produced by various types of exterior action on EDVS have been made. Computer examinations have been carried out and it has been proved, that developed MS EDVS versions provide stable VPG running at any types of external action, at variation of their parameters in the certain gamut. MS EDVS VPG model with the system of one- and two-dimensional expedient of control which contains two control channels has been also developed: the main channel possessing relatively high power and intended for the control of electro-dynamics system, incorporated in the movable part of VPG; and the additional channel with rather low power, intended for guidance electromagnetic system control and representing a fixed coil.

«AZƏRBAYCAN HAVA YOLLARI» DÖVLƏT KONSERNİ
MİLLİ AVİASIYA AKADEMİYASI

Əlyazması hüququnda

ƏNVƏR TAPDIQ oğlu HƏZƏRXANOV

**QEYRİ-STASİONAR OBYEKTLƏRİN NAVİQASIYA İDARƏETMƏ
SİSTEMLƏRİ ÜÇÜN VİBRASIYALI PYEZOELEKTRİK GİROSKOP**

İxtisas: 05.07.06 - Yerüstü komplekslər, buraxılış avadanlıqları,
uçan aparatların və onların sistemlərinin istismarı

Texnika elmləri namizədi alimlik dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş
dissertasiyanın

A V T O R E F E R A T I

BAKİ - 2005