

НИУ «Московский Энергетический Институт (ТУ)»
Кафедра Теоретической Механики и Мехатроники

Научно-исследовательская работа:

**«Поведение микромеханического гироскопа
камертонного типа на подвижном основании с
учётом нелинейности»**

Научный руководитель: Подалков В.В.

Студент: Дьячёк Н.В.

Группа: С-11-07

Москва 2012

ВВЕДЕНИЕ

Данная дипломная работа ставит целью продолжить и расширить начатую ещё в 2010 году статью о поведении гироскопа, чувствительным элементом которого являются стержни, шарнирно закреплённые на рамке (Рис. 1).

В означенной работе были получены (двумя способами – с использованием принципа Гамильтона-Астроградского и с помощью вариационных уравнений Эйлера), проанализированы (случаи одночастотной и разночастотной систем при наличии и отсутствии трения) и решены (в переменных Ван-дер-Поля) уравнения движения для линейной системы в режиме свободных колебаний.

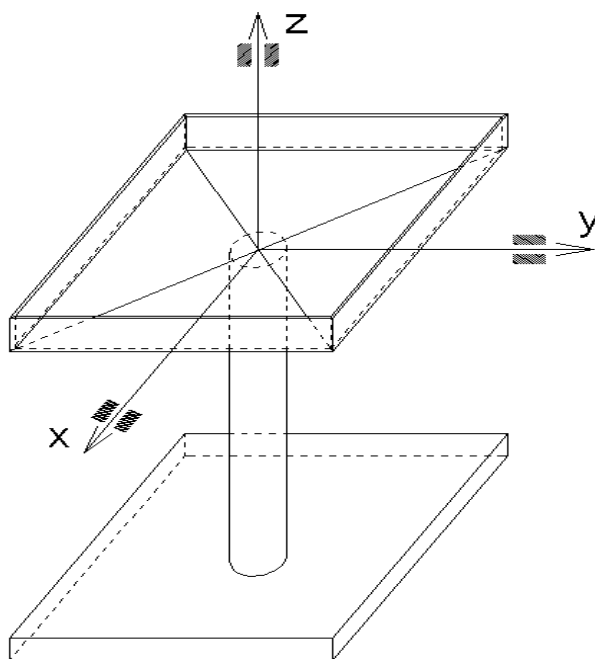


Рис.1

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В данной работе рассматривается динамика микромеханического вибрационного гироскопа камертонного типа. Устройство его следующее: на рамке закреплены четыре упругих стержня, расположенные симметрично относительно её центра. Сама рамка упругой балкой соединена с вращающимся основанием. Рассматривается режим свободных колебаний.

Управление и измерение колебаний стержней осуществляется с помощью электростатической системы. Ёмкостные датчики системы позволяют измерить высокочастотные колебания стержней по двум обобщённым координатам.

Основным нововведением данной работы будет учёт геометрической нелинейности модели.

ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На данный момент получены итоговые уравнения и рассматривается вопрос о выборе методов их анализа. Выглядят они следующим образом:

$$\begin{aligned}\ddot{f}_k + \omega_k^2 f_k &= 2\delta_k \widehat{\Omega} \omega_0 \dot{g}_k - \mu_k \omega_0 \dot{f}_k + a_k \cos \hat{\gamma}_k, \\ \ddot{g}_k + \omega_k^2 g_k &= -2\delta_k \widehat{\Omega} \omega_0 \dot{f}_k - \mu_k \omega_0 \dot{g}_k\end{aligned}$$

В дальнейшем будут построены амплитудно-частотные характеристики стационарных режимов колебаний, рассмотрена устойчивость этих режимов и возможные причины потери устойчивости, алгоритмы частотной настройки и управления по различным переменным.

Кроме того, при удачных результатах будет введена модель, подразумевающая наличие вынуждающей силы и все означенные операции будут повторены – но уже для системы с вынужденными колебаниями.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ

1. «Динамика микромеханического и волнового твердотелого гироскопов», И.В. Меркурьев, В.В. Подалков, 2009

Данная монография содержит большой объём информации по вопросам, связанным с динамикой ММГ и является по сути, отправной точкой для работы над имеющимся заданием.

Основываясь на данных монографии, был выработан план работы при составлении уравнений; по аналогии с проведёнными расчётами, сделаны выводы о правомерности использования формализма Лагранжа для уравнений движения чувствительного элемента, допущениях при анализе соотношения угловых скоростей, метода усреднения Крылова-Боголюбова и медленных переменных p, q .

2. «Микромеханические приборы», В.Я. Распопов, 2007

В данном учебном пособии изложены терминология, классификация, конструкции и принципы работы микромеханических осевых и маятниковых акселерометров, датчиков давления и гироскопов LL-, LR- и RR-типов. Даны описание и расчет прямых и обратных преобразователей в микромеханическом исполнении, схемы электронной обработки сигналов.

Также приведены примеры электронного устранения ошибок микрогироскопов, в частности квадратной, описана электронная частотная настройка режимов работы микрогироскопов. Рассмотрены конструктивные схемы и расчет упругих повесов и мембран, динамика чувствительных элементов, включая уравнения движения, передаточные функции, частотные характеристики и функциональные зависимости перемещений чувствительных элементов от измеряемой величины.

В нашей работе используется предположение о совмещённости частот линейной системы с помощью контура подстройки, обоснованное в данном пособии.

3. «Движение твердого тела в электрических и магнитных полях», Ю.Г. Мартыненко, 1988

В означенной работе изложены вопросы теории движения проводящего твердого тела в электрических и магнитных полях. Рассмотрены задачи определения главного вектора и главного момента сил, действующих на

твердое тело в электростатическом подвесе. Исследована динамика твердого тела в неконтактном подвесе с учетом взаимосвязи поступательных и вращательных движений.

Актуально в связи с задачей построения решения системы, возникающей при анализе прецессионных уравнений проводящего тела в электрических и магнитных полях под действием момента, обусловленного в том числе неравножесткостью подвеса тела.

4. «Эволюция гироскопа», В.В. Карасев, Н.В. Вовченко, 2009

В статье рассматриваются существующие и разрабатываемые типы гироскопических чувствительных элементов и история их создания. Обсуждается применение гироскопов в различных областях техники. Анализируются тенденции развития современной гироскопии.

Данная статья позволяет рассмотреть в первом приближении вопрос реализации описываемого в моей работе гироскопа – как с точки зрения подбора материальной базы, так и с точки зрения возможности дальнейшего применения аппарата, его актуальности в той или иной сфере.

Стоит, впрочем, отметить, что для обычных ММГ этих сфер осталось не так много – современные тенденции требуют более модернистского подхода.

5. «Алгоритм аналитической компенсации нелинейных уходов микромеханического гироскопа камертонного типа на подвижном основании», А.Б. Гавриленко, И.В. Меркурьев, 2008

Рассматривается кинематическая схема микромеханического гироскопа камертонного типа с линейным и угловым движением чувствительного элемента на подвижном основании. Изучено влияние нелинейных колебаний чувствительного элемента на уходы гироскопа в режиме свободных колебаний. Предложен алгоритм аналитической компенсации уходов гироскопа по измерениям колебаний чувствительного элемента.

Статья актуальна с точки зрения выбора подхода к вопросу частотной настройки гироскопа.

**6. «Динамика и погрешности микромеханических гироскопов»,
В.А. Апостолук, 1999**

В работе исследовано влияние поступательных ускорений и вибраций, гармонического характера измеряемой угловой скорости, перекрестной чувствительности, таких технологических факторов, как несовпадение измерительных и упругих осей, дебаланс, а также изменений температуры на точность измерения угловой скорости, выявлены наиболее вредные факторы и выработаны методы уменьшения обусловленных ими погрешностей, получены зависимости для расчета основных характеристик микромеханических гироскопов и проведен их сравнительный анализ для гироскопов с поступательными и вращательными движениями чувствительного элемента.

Для текущей работы интересно рассмотреть уравнения, описывающие поведение гироскопа в условиях изменения угловой скорости:

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 + 2h_1\dot{x}_1 + k_1^2x_1 = 2\Omega\dot{x}_2 + \dot{\Omega}x_2, \\ \ddot{x}_2 + 2h_2\dot{x}_2 + k_2^2x_2 = q_2 \cos(\omega t) - 2d\Omega\dot{x}_1 - d\dot{\Omega}x_1. \end{cases}$$

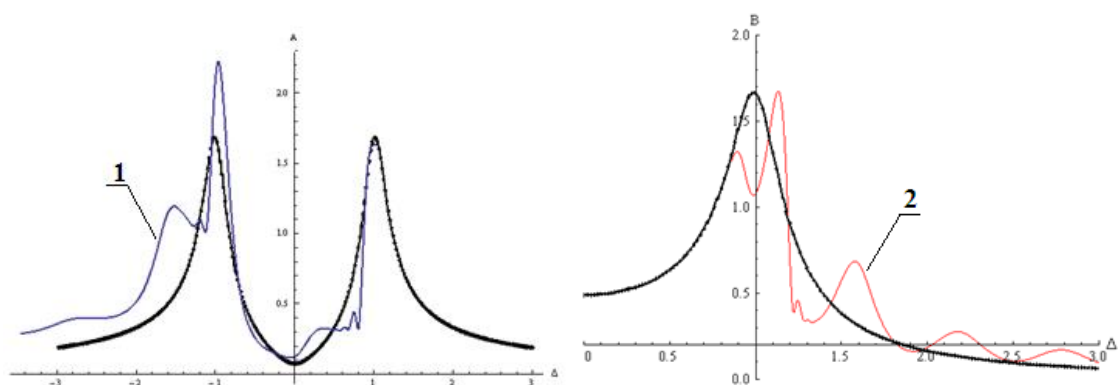
7. «Нелинейные задачи динамики вибрационных микромеханических гироскопов», М.А. Лестев, 2007

Исследовано влияние нелинейностей характеристик сил упругости подвесов чувствительных элементов и электростатических сил контура подстройки частот на динамику и точность ММГ.

Выполнены исследования смещений положений равновесия чувствительных элементов ММГ при вибрационных воздействиях, вызванных колебаниями основания - вибрационных смещений положений равновесия чувствительных

элементов, даны оценки вибрационных смещений и рекомендации по выбору параметров конструкций приборов.

Выполнен анализ резонансных явлений в динамике чувствительных элементов ММГ. Получены уравнения амплитудных кривых стационарных движений (реализация на графике ниже может служить ориентиром при дальнейшей обработке информации) чувствительных элементов ММГ и условия устойчивости стационарных движений в условиях основного резонанса.



Исследована динамика чувствительных элементов ММГ при вибрационных воздействиях, вызванных колебаниями основания с переменной частотой, проходящей в процессе изменения через частоту основного резонанса. Определены резонансные кривые при прямом и обратном прохождении через резонанс, выявлены особенности влияния нелинейностей характеристик сил упругости подвеса чувствительного элемента и электростатических сил контура из подстройки частот колебательной системы ММГ на амплитудные кривые прохождения через резонанс.

Выполнен анализ динамики чувствительного элемента роторного ММГ в условиях нелинейного (демультипликационного) резонанса при функционировании прибора на вибрирующем основании.

8. «Frequency entrainment for micromechanical oscillator», M. Zalalutdinov, K. L. Aubin, M. Pandey, A. T. Zehnder, R. H. Rand, H. G. Craighead, J. M. Parpia, 2003

В статье подробно рассмотрены частотные характеристики различных ММГ, сопровождаемые экспериментальным графическим материалом:

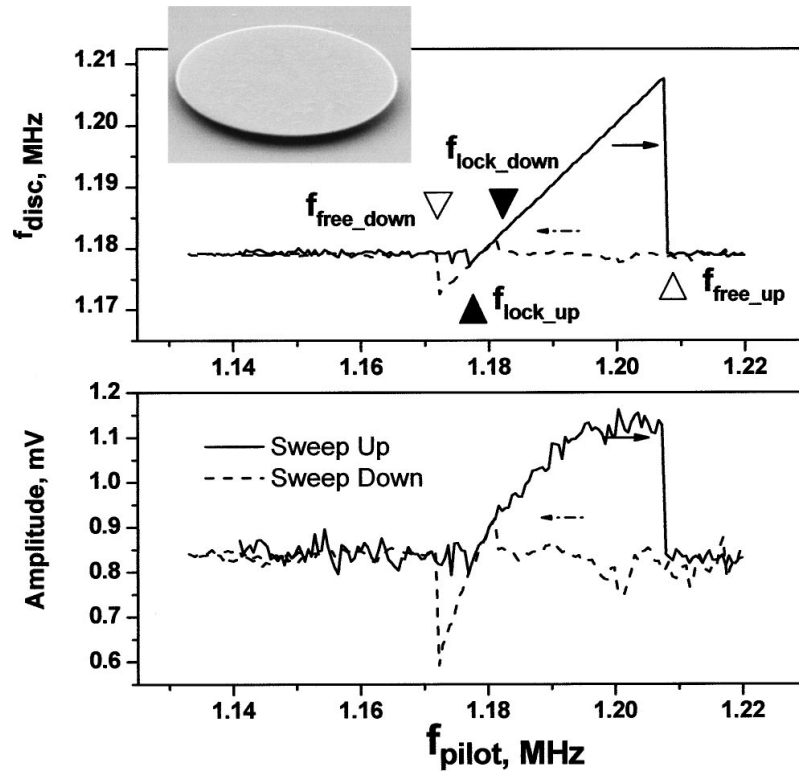


FIG. 1. Frequency and amplitude of the laser-induced self-sustained vibrations as a function of the pilot signal frequency. Laser power P_{cw} 5650 mW, perturbation applied as an inertial drive (V_{piezoac} 54 Vol).

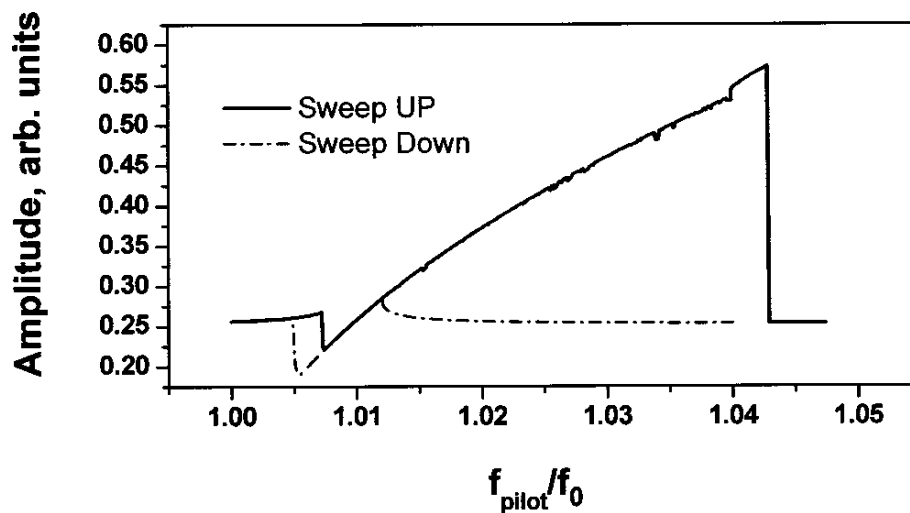
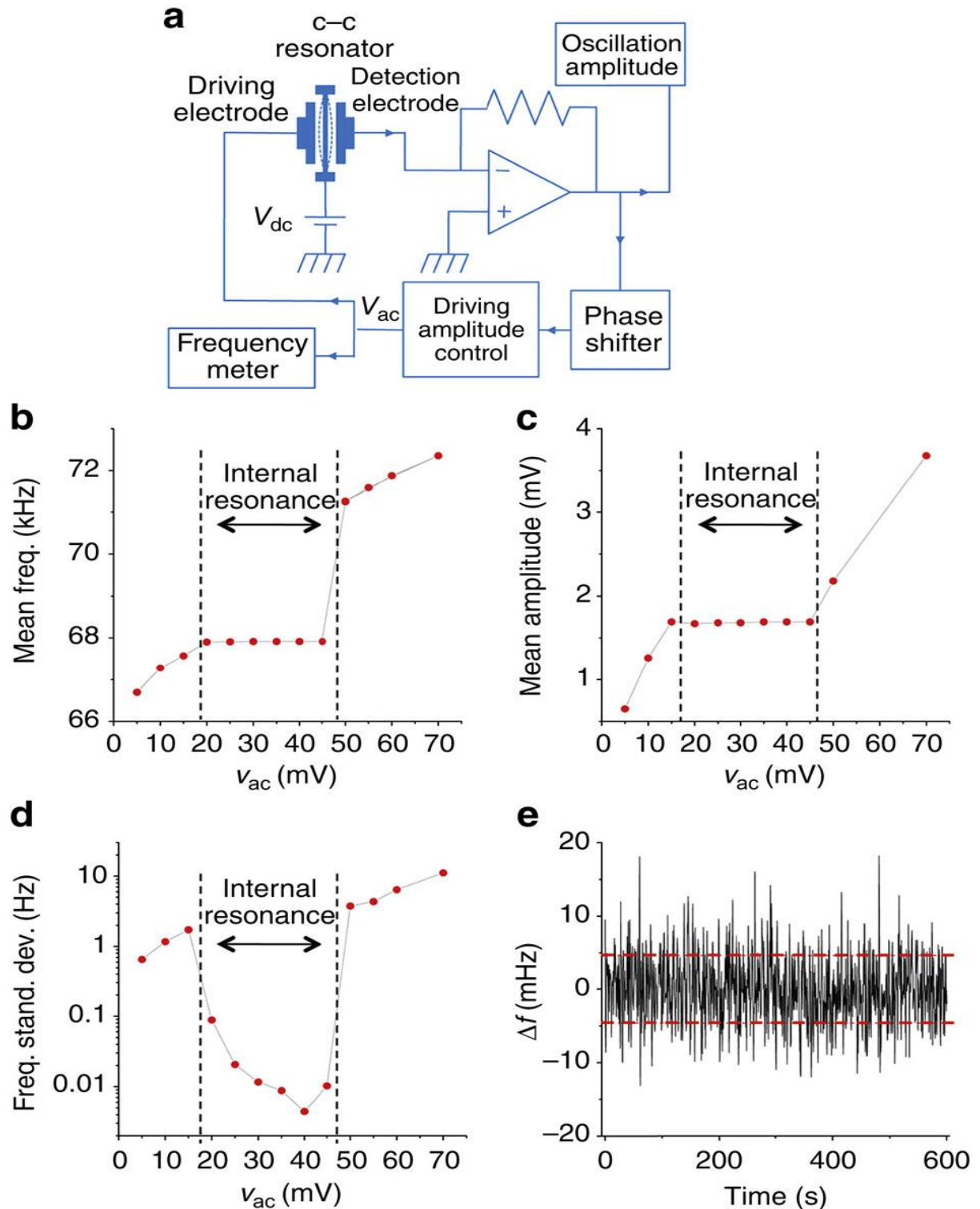


FIG. 4. Result of numerical simulations for the amplitude of the laser-induced self-sustained vibrations as a function of the inertial drive pilot signal frequency (P_{cw} 5650 mW). The amplitude of inertial drive $M510_{24}$, modulation w in Eq. ~2! has been taken as zero.

9. «Frequency stabilization in nonlinear micromechanical oscillators», Dario Antonio, Damián H. Zanette, Daniel López, 2012

В статье дан анализ новейших методов работы со стабилизацией гироскопов, предоставлены графические реализации этих методов и продемонстрирована схема, позволяющая решить этот вопрос на практике:



10. « A micromechanical gyro package with GPS under development for small pointing satellites», N. Barbour, P. Madden, M. Socha

Статья описывает вариант прикладного использования ММГ для работы с системами навигации GPS посредством спутника – полагаю, есть смысл рассмотреть подобную проектную реализацию при обсуждении вопроса выполнения аппарата «в железе».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из объёмов работы двухлетней давности и сравнивая набор методов, применённых для анализа с набором методов, который будет реализован в грядущей работе, можно предположить что она завершена на 20-25%.