электронный научно-технический журнал
ИНЖЕНЕРНЫЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51036. ISSN 2307-0595

Электромагнитное взвешивание горизонтально ориентированного вала с управляемым смещением по вертикальному каналу центрирования магниторезонансного подвеса

04, апрель 2017

Корниенко А. Н.[1,*], Горяева М. О.[1]

УДК: 621.31

[1]Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана
*epe@bmstu.ru

Введение

Для решения задачи автономной навигации современных космических летательных аппаратов (КЛА) эффективно применяются [2] инерционные двигатели – маховики, называемые гиродинами. Пространственная угловая ориентация и стабилизация КЛА осуществляется вследствие реактивного эффекта от воздействия момента вызываемого вращением маховика гиродина. В условиях длительных полетов космических объектов к гиродинам предъявляются требования увеличенного ресурса работоспособности при высоких скоростях вращения, лимитированном энергопотреблении, снижения массы и габаритов.

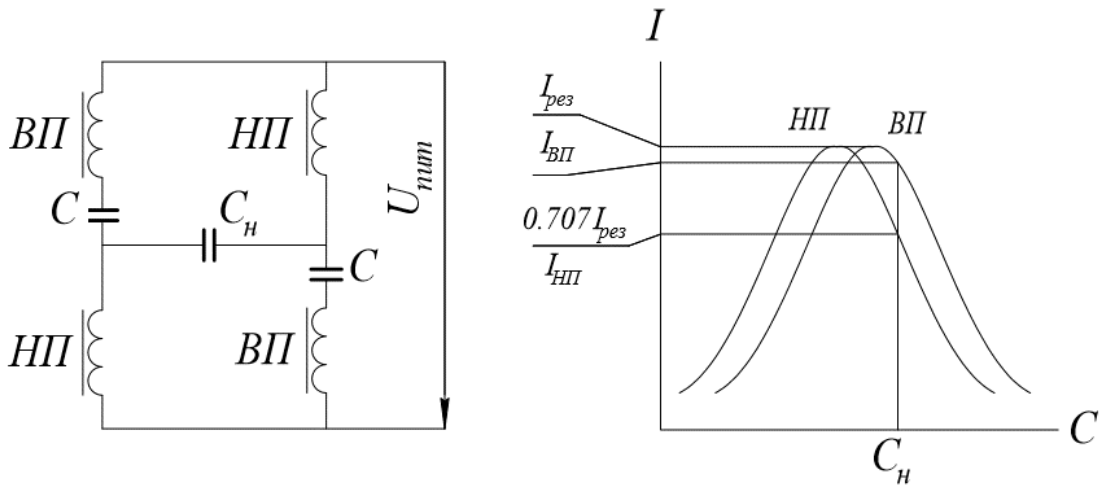
Наиболее совершенной конфигурацией признается [3,4] конструкция гиродина с применением комбинированной электромагнитной подвески маховика-ротора при участии самарий-кобальтовых постоянных магнитов. Однако система постоянных магнитов, обеспечивающая требуемую жесткость и грузоподъемность радиальных каналов центрирования в опорах вращения, весьма критична к вибрационным процессам, вызываемым остаточной несбалансированностью ротора. Электромагнитная структура МрП осуществляет компенсационную функцию приведения системы подвески в устойчивое состояние при минимальном энергопотреблении, определяемом совмещением оси вращения ротора с геометрическим центром симметрии магнитных опор. Таким образом повышение уровня динамической балансировки ротора является актуальной задачей.

С этой целью предлагается проведение технологической операции лазерной балансировки вращающегося маховика гиродина по информационным сигналам о наличии биений в радиальных каналах мостовых схем управления центрированием МрП. Конструктивно МрП представляется двумя центрирующими элементами(ЦЭ), состоящими из магнитопроводов статоров и роторов. В качестве статора ЦЭ целесообразно применить четырехполюсную конфигурацию магнитопровода для разделения вертикального и горизонтального каналов центрирования. При формировании мостовых схем каналов центрирова-

ния на полюсах статора размещается двухсекционные катушки. Во внутренней расточке полюсов статора располагается цилиндрический ферромагнитный ротор с кольцевым воздушным зазором δ порядка 100÷150 мкм.

* * *

Управление положением ротора в расточке ЦЭ осуществляется резонансной структурой LC-контуров, образованных объединением секций катушек противоположно ориентированных полюсов статора в формате электромагнитных мостов. На рис. 1,а представлена электрическая схема вертикального канала центрирования МрП, состоящая из секций катушек верхнего (ВП) и нижнего (НП) полюсов.



а) **б)**

Рис. 1. а) схема вертикального канала МрП; **б)** резонансные характеристики I(C) ВП и НП.

Секции катушек ВП и НП, изображенные на рис. 1,а являются плечами моста и располагаются ассиметрично для обеспечения дифференциального распределения регулирующих токов. В диагонали моста включен настроечный конденсатор $C_н$, выполняющий функцию управления силовой реакцией канала центрирования на смещенное положение ротора. Выбор величины емкости $C_н$ осуществляется на резонансной характеристике I(C), демонстрируемой рис. 1,б для НП по известной методике [1,4] при равенстве настроечного параметра η=1.

В отличие от стандартной архитектуры моста включение последовательно к секциям катушек ВП дополнительных конденсаторов C позволяет смещать силовой центр вертикального канала соответственно соотношению $I_{ВП}>I_{НП}$. При горизонтальном расположении вала маховика гиродина в режиме балансировки технологическое изменение схемы центрирования вертикального канала ЦЭ МрП позволяет в наземных условиях моделировать совмещение оси вращения с геометрическим центром магнитных опор, характерное для космического полета, где отсутствуют силы тяготения g=0. Требуемое смещение Δ силового центра, пропорциональное весу маховика, нормируется функцией радиального смещения ротора по величине напряжения в диагонали электрического моста Δ(U), опре-

деляемой статическими исследованиями при варьировании емкостью дополнительного конденсатора С.

Одним из технически важных аспектов обеспечения динамической устойчивости процесса центрирования комбинированного магнитного подвеса гиродина в наземных условиях является способность МрП проявлять структурную устойчивость [5] при наличии радиального смещения в паре ротор-статор ЦЭ относительно формируемого силового центра. Практические результаты осуществления управляемого смещения силового центра вертикального канала МрП свидетельствуют о достижении величины Δ до 70% от кольцевого зазора δ ЦЭ при $C_н=2C_{рез}$ и изменении емкости дополнительных конденсаторов LC-контура ВП в диапазоне до $C_{рез}/2$ на частоте питания 10кГц. Таким образом, кроме целевого эффекта совмещения осей вращения маховика и геометрического центра опор, создаются условия роста подъемной силы на МрП конфигурации при центрировании массивных объектов.

Решаемая задача проведения финишной высокотехнологичной лазерной балансировки вращающегося маховика гиродина требует информационного обеспечения об имеющихся радиальных биениях в магнитных опорах. Четырехканальная схема центрирования МрП позволяет регистрировать уровень вибраций в ЦЭ, отражаемый модуляцией напряжений в диагоналях электрических мостов, представленной на рис. 2.

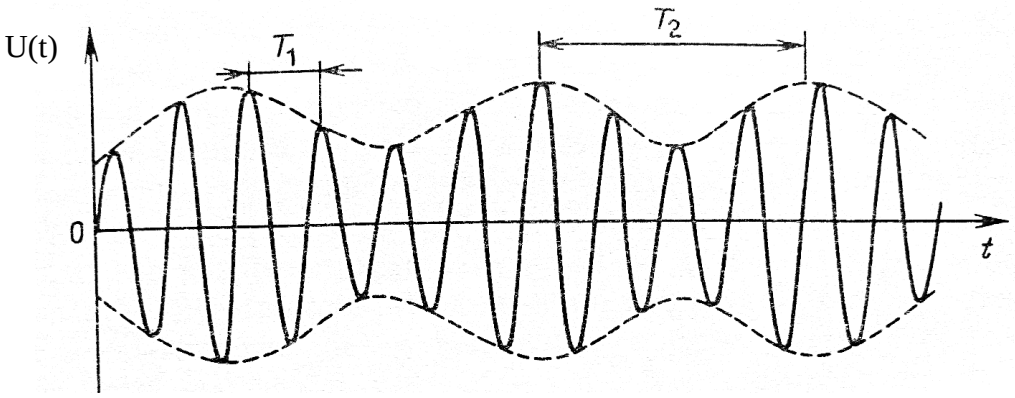


Рис. 2. Осциллограмма модуляционных колебаний U(t).

Специальная программа обработки сигналов разбалансировки мостов поканально определяет координаты текущей несбалансированности маховика и вырабатывает команду на ее ликвидацию точечными выжиганиями материала в торцевых областях с помощью лазерной установки.

В заключение следует отметить, что степень технологичности представленной процедуры динамической балансировки гиродина оценивается как наиболее совершенная по инструментальному обеспечению и результатам исполнения. Сферой практического применения [6,7] разработанного балансировочного комплекса на собственных технологических электромагнитных опорах МрП типа могут быть любые объекты вращения, в частности, турбины авиационных двигателей.

Заключение

1. Анализ специфики функционирования опор гиродина при электромагнитном центрировании в комбинации с постоянными магнитами выявил необходимость высокого уровня балансировки вращающегося маховика.
2. Предложенная схема управления смещением силового центра вертикального канала МрП позволяет моделировать совмещение оси вращения маховика и центра магнитных опор в наземных условиях идентичным космическим при g=0.
3. Практические результаты достигнутого качества динамической балансировки маховика гиродина на экспериментальной установке с текущим контролем уровня радиальных биений и их ликвидации свидетельствуют об эффективности применяемой технологии.

Список литературы

[1]. Анцев Г.В., Богословский С.В., Сапожников Г.А. Проектирование устройств с электромагнитным подвесом. М.: Наука. 2010. 422 с.

[2]. Джанджгава Г.И., Августов Л.И., Бабиченко А.В., Орехов М.И., Сухоруков С.Я., Шкред В.К. Навигация летательных аппаратов в околоземном пространстве. М.: Научтехлитиздат. 2015. 422 с.

[3]. Пашаев А.М., Эфендиев О.З. Теория и практика магнитной левитации в приборостроении. М.: Машиностроение. 2009. 335 с.

[4]. Осокин Ю.А., Герди В.Н., Майков К.А., Станкевич Н.Н. Теория и применение электромагнитных подвесов. М.: Машиностроение. 1980. 284 с.

[5]. Корниенко А.Н., Свинарева М.С. Обеспечение структурной устойчивости процесса центрирования магниторезонансного подвеса при смещенном положении горизонтально ориентированного вала. // Инженерный вестник. Электронный научно-технический журнал. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. №11. Режим доступа: http://engsi.ru/doc/751481.html (дата обращения: 28.04.2017)

[6]. Гусаров А.А. Балансировка роторов машин. В 2 кн. Кн. 1. М.: Наука. 2004. 267с.

[7]. Гусаров А.А. Балансировка роторов машин. В 2 кн. Кн. 2. М.: Наука. 2005. 383с.