

## **Динамическая устойчивость магниторезонансного подвеса в маловязких средах**

**77-48211/574148**

**# 04, апрель 2013**

**Диденко А. С., Корниенко А. Н.**

**УДК 621.31(075.8)**

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

[epe@bmstu.ru](mailto:epe@bmstu.ru)

В качестве объекта проводимого исследования был взят магниторезонансный подвес с цилиндрическим центрирующими элементами (ЦЭ).

Цель исследования состоит в обеспечении динамической устойчивости каналов центрирования магниторезонансного подвеса (МрП) в условиях воздушной среды.

Была поставлена задача исследовать возможность коррекции базовой структуры МрП введением дополнительных средств электрического демпфирования.

Техническое применение магниторезонансных подвесов в целом ряде высокотехнологичных устройств не допускает жидкостное заполнение внутреннего объёма. Присутствие вязкой среды обеспечивает демпфирование резонансных LC – контуров и посредством этого управление процессом центрирования МрП. Поэтому в маловязкой воздушной среде возникает необходимость замещения недостатка внешнего демпфирования корректировкой базовой структуры МрП, в частности, с использованием электрических средств.

На рис.1 изображён ЦЭ магниторезонансного подвеса, который состоит конструктивно из статора и ротора.



Рис. 1. Конструкция ЦЭ

Статор ЦЭ представлен в варианте четырёхполюсного магнитопровода с размещёнными на полюсах двухсекционными катушками. Ротор в форме цилиндрического тела из феррита помещается в расточку внутренних торцевых областей полюсов статора с кольцевым зазором 50 мкм. Конструкцию МрП составляют два ЦЭ, располагаемых соосно в корпусной детали. Объединённые в единый узел роторы ЦЭ образуют подвижную часть подвеса.

Бесконтактное взвешивание роторов относительно полюсов статоров ЦЭ осуществляется формированием электромагнитной структуры резонансных LC контуров. Для управления радиальным положением роторов в межполюсном пространстве статоров, секции катушек на диаметрально ориентированных полюсах соединены в электрические мосты.

На рис. 2 представлена электрическая схема мостового объединения секций катушек взаимодействующих полюсов ЦЭ, включаемых согласно в противоположные плечи и образующих один канал центрирования МрП.

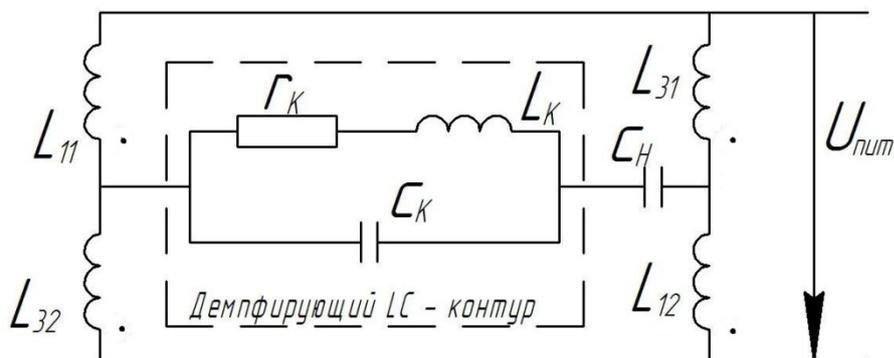


Рис. 2. Канал центрирования МрП

Два центрирующих канала каждого ЦЭ должны обеспечивать мгновенную чередующуюся полярность полюсов попарно сочетанием N-N & S-S. В диагонали электрических мостов четырёхканальной схемы управления МрП включаются конденсаторы  $C_H$  с целью формирования центрирующих воздействий на радиальные смещения роторов.

Выбор величины настроечной ёмкости  $C_H$  осуществляется по стандартной методике известной из [1] на зарезонансном участке резонансной характеристики последовательного LC-контура в соответствии с условием  $L \cdot \omega - \frac{1}{C_H \cdot \omega} = \eta \cdot r$ , где

$L$  – величина индуктивности при центральном положении ротора;

$r$  – величина активного сопротивления резонансного контура;

$\omega$  – круговая частота источника питания;

$\eta$  – параметр настройки.

Современным тенденциям миниатюризации ЦЭ соответствует питание МрП на повышенных частотах в диапазоне до 10 кГц. В этих условиях LC – контуры МрП характеризуются высокой добротностью –  $Q$  более 30 единиц. Поэтому рекомендуемая настройка по параметру  $\eta=1$  и добротности LC – контуров  $Q_0 > 30$  единиц, не способен обеспечить динамическую устойчивость каналов центрирования со структурой представленных ранее электрических мостов.

Исследование динамики МрП в маловязких средах при ограниченном ресурсе демпфирования, проведённые Корниенко А.Н. показали возможность достижения оптимальной крутизны регулирования токов в резонансных контурах каналов центрирования с приведённой добротностью  $Q_{пр} = \frac{L \cdot \omega}{r + r_g}$ , составляющей от 2,8 до 5 единиц. С этой целью в базовую структуру МрП включается в диагонали электрических мостов параллельный резонансный LC –контур (см. выделенная область на рис. 2) последовательно с конденсатором  $C_H$ .

Параллельный резонансный LC – контур осуществляет отбор избыточной колебательной мощности в каналах центрирования за счёт формирования активной составляющей вносимого сопротивления -  $\Gamma_g$  на резонансной частоте  $\omega$ , то есть проявляется демпфирующим качеством. Реактивная составляющая сопротивления такого демпфирующего контура проявляется фазокорректирующим звеном канала центрирования в диапазоне частот расстройки  $\omega \pm \omega_0$  на собственной частоте  $\omega_0$ . Крутизна изменения реактивного сопротивления должна быть высокой, что определяется добротностью –  $q$  демпфирующего контура, которую следует обеспечивать на уровне от 8 до 12 единиц.

Для расчёта требуемых параметров элементов демпфирующего контура необходимо определить величины добротности  $Q_0$  и сопротивления  $r$ , получаемые в процессе настройки каналов центрирования. Добротность резонансных контуров

исследуемых ЦЭ на частоте источника питания 8кГц составляет 32 единицы при активном сопротивлении катушек полюсов  $r=1,2$  Ом.

Далее в соответствии с рекомендациями для величины приведённой добротности по выражению  $Q_{пр} = \frac{L \cdot \omega}{r+r_g}$  выбираем  $Q_{пр} \approx 3$  ед, что обеспечивает при  $r_g = 10$  Ом. С учётом добротности демпфирующего контура  $q=10$  ед определяем активное сопротивление  $r_K$  катушки индуктивности по формуле  $r_g = q^2 \cdot r_K$ , следовательно  $r_K = 0.1$  Ом. Величина индуктивного сопротивления катушки составляет  $X_L = q \cdot r_K = 1$  Ом. Величина ёмкостного сопротивления конденсатора  $C_K$  определяется из выражения  $X_C = (q + \frac{1}{q}) \cdot r_K$  и составляет  $X_C = 1.01$  Ом. Соответствующий номинал ёмкости конденсатора  $C_K$  равняется  $19,9$  МкФ  $\approx 20$  МкФ. Катушка индуктивности с параметрами  $[X_K = 1.0$  Ом;  $r_K = 0.1$  Ом] выполнена 17 витками медного провода диаметром 0,94 мм на броневом ферритовом сердечнике типа СБ 20-2.

При проведении экспериментальных исследований динамических характеристик МрП с включёнными в структуру каналов демпфирующими контурами увеличивалось напряжение источника питания до проявления предельной жёсткости при потере устойчивости. Динамическая расстройка каналов центрирования фиксировалась появлением модулированных колебаний в составе сигнала снимаемого с диагонали электрического моста резонансного LC – контура МрП, которые наблюдались на экране осциллографа. Частота модуляции характеризует собственную частоту  $\omega_0$  каналов

центрирования и через зависимость  $\omega_0 = \sqrt{k/m}$  при известной массе  $m$ , была пересчитана на величину предельной жёсткости  $k$ .

### Результаты исследования.

1. Экспериментально подтверждена эффективность применения демпфирующих контуров в структуре МрП динамической стабилизации каналов центрирования.
2. Зафиксировано достижение предельной жёсткости центрирования МрП, представленного конструктивного исполнения, на уровне 2,4 Г/мм при массе ротора  $m=5$  грамм. Собственная частота каналов центрирования при этом составила 250 Гц.

### Литература.

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