

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

Р.М. Гоцеридзе, Ю.Е. Нитусов

Анализ работы датчиков сил
и линейных перемещений
с последовательными
LC-контурами

*Рекомендовано редсоветом МГТУ им. Н.Э. Баумана
в качестве учебного пособия*

Москва
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
2006

УДК 621.3.08

ББК 31.22

Г74

Рецензенты: *В.И. Молодницкий, Ю.П. Замчалов*

Гоцеридзе Р.М., Нитусов Ю.Е.

Г74

Анализ работы датчиков сил и линейных перемещений с последовательными *LC*-контурами: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 116 с.

ISBN 5-7038-2936-4

Рассмотрены условия работы и вопросы оптимальной настройки резонансных электромагнитных датчиков сил и линейных перемещений с последовательными *LC*-контурами в целях обеспечения высокой чувствительности измерения сил и линейных перемещений. Такие устройства могут широко применяться при сборке приборов точной механики для контроля их основных параметров.

Для студентов приборостроительных специальностей, изучающих разделы спецтехнологии, которые посвящены сборке приборов точной механики.

Ил. 42. Табл. 4. Библиогр. 7 назв.

УДК 621.3.08

ББК 31.22

Учебное издание

Руслан Михайлович Гоцеридзе

Юрий Евгеньевич Нитусов

Анализ работы датчиков сил и линейных перемещений с последовательными *LC*-контурами

Редактор *С.А. Серебрякова*

Корректор *Р.В. Царева*

Компьютерная верстка *Е.В. Зимакова*

Подписано в печать 05.12.2006. Формат 60х84/16. Бумага офсетная.

Печ. л. 7,25. Усл. печ. л. 6,74. Уч.-изд. л. 6,45. Тираж 150 экз.

Изд. № 145. Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана

105005, Москва, 2-я Бауманская, 5

ISBN 5-7038-2936-4

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006

ВВЕДЕНИЕ

Центрирующие элементы магниторезонансного подвеса (МРП) представляют собой устройства, сочетающие элементы подвеса, которые дают возможность исключить сухое трение в опорах, и чувствительные измерительные элементы, позволяющие с высокой степенью точности определять изменение зазоров между якорем и полюсами статора. Это, в свою очередь, дает возможность определять значение сил, приложенных к якорю.

Таким образом, центрирующий элемент магниторезонансного подвеса является также прибором для измерения перемещений якоря и сил, приложенных к нему. Этот прибор может быть назван соответственно либо резонансным электромагнитным датчиком линейных перемещений (РЭМДЛП), либо резонансным электромагнитным датчиком сил (РЭМДС), так как в электрической цепи каждого из полюсов статора имеется резонансный LC -контур.

На рис. В.1 изображена одна из возможных конструкций МРП. Механическая часть подвеса состоит из цилиндрического якоря 6 и статора, представляющего собой цилиндрический магнитопровод 5 с четырьмя явно выраженными полюсами 1–4. На каждом полюсе магнитопровода статора расположены обмотки возбуждения 9. Якорь 6 закрепляется на оси 10 сборочной единицы, подвешенной на двух МРП. Зазор между бушоном 11 и цапфой 8, закрепленной в неподвижном основании 7, определяет максимальное допустимое смещение якоря при приложении к нему сил. Цапфа 8 и бушон 11 также служат арретирующим устройством при отключении питания МРП.

Статор МРП закрепляется в неподвижном основании и устанавливается таким образом, что оси его полюсов 1 и 3 расположены вертикально, а 2 и 4 – горизонтально. Силы, прикладываемые к якорю, направлены вертикально, их значения можно определить по изменению электромагнитных параметров резонансных цепей полюсов 1 и 3.

Рис. В.1. Четырехполюсный (двухосный) магниторезонансный подвес
с магнитными связями между обмотками:

1–4 – полюса статора; 5 – магнитопровод статора; 6 – якорь; 7 – неподвижное основание;
8 – цапфа; 9 – обмотка; 10 – подвешиваемое изделие; 11 – бушон

Электрическая цепь МРП (рис. В.2) представляет собой контур, состоящий из резонансных цепей с последовательными LC -контурами, число которых соответствует числу полюсов статора. Резонансные цепи подключены параллельно к источнику питания через настроечные емкости таким образом, чтобы мгновенная полярность полюсов была чередующейся.

Рис. В.2. Схема включения контуров четырехполюсного МРП

Такой контур обладает рядом особенностей. В частности, он характеризуется возрастанием тока в обмотке возбуждения и увеличением силы притяжения полюса (рис. В.3) с возрастанием зазора (уменьшением индуктивности) при определенной настройке, когда емкостное сопротивление в резонансных цепях меньше индуктивного ($x_C < x_L$), что было исследовано в работах Ю.Е. Нитусова, Е.А. Никитина, С.А. Шестова, Ю.А. Осокина, инженеров США

С. Дрейпера, П. Гилисона, У. Денхарда и др. [1–5]. Это свойство контура позволяет использовать его в магнитном подвесе, так как в этом случае при смещении якоря из центрального положения будет создаваться радиальная центрирующая сила $F_{ц}$, направленная против смещения якоря. При отсутствии демпфирования в механической части в системе подвеса появляются автоколебания. Будем рассматривать МРП, работающий в демпфирующей среде (жидкости), которая ограничивает возможность появления автоколебаний.

Рис. В.3. Графики зависимостей $I = f(L)$ и $F = f(L)$ на один полюс МРП

В резонансных цепях с последовательными rLC -контурами, варьируя эти параметры, а также частоту ω , можно добиться возникновения в цепи режима резонанса напряжений, который наступает при равенстве индуктивного и емкостного сопротивлений цепи ($x_L = x_C$) и характеризуется резким возрастанием тока в обмотке возбуждения.

Согласно принципу действия магнитного подвеса, его работа должна происходить на резонансном участке силовой характеристики (кривая 2–3–4 на рис. В.3).

Изменение величин воздушных зазоров при перемещениях якоря МРП приводит к изменению индуктивностей обмоток возбуждения статора и, следовательно, к изменению режима резонансной цепи.

В связи с тем, что скорости перемещения якоря при измерениях в МРП весьма малы, динамические составляющие индуктивности также малы и, следовательно, индуктивность обмоток возбуждения с достаточной степенью точности можно считать зависящей

только от положения якоря относительно полюсов статора, т. е. от величин воздушных зазоров в магнитных цепях МРП. При этом сигнал, характеризующий положение якоря, может быть получен несколькими способами:

1) измерением действующих значений токов I_1 и I_3 (или разности $\Delta I = I_1 - I_3$) в обмотках возбуждения противоположных полюсов 2 и 3 при помощи миллиамперметров (mA_k – рис. В.4, а);

Рис. В.4. Схемы получения сигнала измерительной информации в РЭМДС и РЭМДЛП:

а – измерение I_k ($k = 1, 3$ – номер полюса); б – измерение P_k при $f < 500$ Гц;

в – измерение P_k при $f > 500$ Гц; г – измерение $\Phi_k = \frac{U_{Luk}}{\omega w_u}$; д – измерение U_{13}

2) измерением активных мощностей P_1 и P_3 (или их разности $\Delta P = P_1 - P_3$) в обмотках возбуждения полюсов 1 и 3 при помощи

ваттметров W_k при $f < 500$ Гц (рис. В.4, б) или фазометров φ_k , миллиамперметров mA_k и вольтметра V при $f > 500$ Гц (рис. В.4, в);

3) измерением действующих значений магнитных потоков Φ_1 и Φ_2 , (или их фазности $\Delta\Phi = \Phi_1 - \Phi_3$) в полюсах 1 и 3 при помощи индикаторных обмоток r_u, L_u и вольтметров V_k (рис. В.4, г);

4) измерением действующего значения напряжения U_{13} между средними точками a_1 и a_3 резонансных цепей противоположных полюсов (см. рис. В.2).

Чувствительность измерения будет максимальной, если РЭДМЛП и РЭМДС имеют четное число полюсов, причем оси противоположных полюсов совпадают, а якорь перемещается вдоль общей оси двух противоположных полюсов. Тогда изменение вышеперечисленных величин, измеряемых в обмотках этих полюсов, будет пропорционально смещению якоря.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Анализ работы резонансных электромагнитных датчиков сил и линейных перемещений без магнитных связей между обмотками	8
1.1. Основные величины, характеризующие работу резонансных контуров	8
1.2. Радиальная центрирующая сила и жесткость магниторезонансного подвеса (на два полюса)	18
1.3. Условия функционирования магниторезонансного подвеса	22
1.4. Относительные разности измеряемых величин	36
1.5. Действующее значение напряжения между средними точками двух резонансных контуров противоположных полюсов	37
1.6. Чувствительность резонансного электромагнитного датчика линейных перемещений при измерении ΔI , ΔP и $\Delta \Phi$	40
1.6.1. Чувствительность при измерении ΔI	42
1.6.2. Чувствительность при измерении ΔP	45
1.6.3. Чувствительность при измерении $\Delta \Phi$	46
1.7. Чувствительность при измерении U_{13}	48
1.8. Оптимальные условия работы датчика линейных перемещений (на два противоположных полюса)	51
1.9. Чувствительность резонансного электромагнитного датчика сил при измерении ΔI , ΔP , $\Delta \Phi$ и U_{13} и оптимальные условия его работы	62
1.10. Выбор габаритных размеров электромагнитных конструктивных элементов магниторезонансного подвеса без магнитных связей между обмотками	68

1.11. Радиальная центрирующая сила и жесткость центрирования четырехполюсного магниторезонансного подвеса без магнитных связей между обмотками возбуждения	71
Выводы к гл. 1	74
Глава 2. Анализ функционирования четырехполюсных резонансных электромагнитных датчиков линейных перемещений и сил с магнитными связями между обмотками.....	79
Выводы к гл. 2	110
Список литературы	112