**СТЕНД ИЗМЕРЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕАКТИВНОГО МОМЕНТА**

Стенд для измерения остаточного реактивного момента представляет собой конструкцию, обеспечивающую измеряемой аппаратуре одну степень свободы без сухого трения. В процессе перенацеливания аппаратуры на узел подвеса аппаратуры действует реактивный момент. Частично этот момент компенсируется маховиками, входящими в состав аппаратуры. Таким образом, стенд служит для измерения нескомпенсированного внутренними средствами аппаратуры остаточного реактивного момента.

Конструктивно стенд представляет собой крутильный маятник. Момент инерции маятника состоит из суммы моментов инерции рамы с кантователем и момента инерции аппаратуры по измеряемой оси. Кантователь входит в узел подвеса и служит для удобства смены измеряемой оси аппаратуры путем расположения этой оси строго вертикально по оси чувствительности подвеса.

Расчётный момент инерции узла подвеса определяемый по чертежам деталей стенда имеет следующие параметры.

1) Масса узла подвеса 148,1 кг.

2) Положение 1 (Ось OY вертикальна):

Jx=55,4 кг⸳м2,

Jy= 35,05 кг⸳м2,

Jz=34,91 кг⸳м2.

3) Положение 2 (Ось OZ вертикальна)

Jx=54,64 кг⸳м2,

Jy= 36,54 кг⸳м2,

Jz=35,67 кг⸳м2.

4) Моменты инерции аппаратуры составляют:

Jx=5,58 кг⸳м2,

Jy= 3,89 кг⸳м2,

Jz=5,92 кг⸳м2.

Таким образом, суммарный момент инерции узла подвеса при измерении по оси OY аппаратуры составляет:

Jy= 38,94 кг⸳м2

а при измерении по оси OZ:

Jy= 41,59 кг⸳м2.

Узел подвеса установлен на верхней проволоке длиной Lверх=563 мм и подпружиненной нижней проволоке длиной Lниз=237 мм.

Материал проволок сталь 65С2ВА-В-1-ХН ГОСТ 14963-78. Диаметр проволоки 2,5 мм.

Угловая жёсткость подвеса с = 15,37 Нм/рад.

Дифференциальное уравнение колебательного звена для крутильного маятника запишем в виде[1]:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (1) |

где – момент инерции, – обобщённое вязкое трение, с – угловая жёсткость подвеса, - внешний момент, - угол поворота узла подвеса.

Запишем это уравнение иначе:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (2) |

где = - собственная частота колебательного звена,

- декремент затухания.

На рисунке 1 представлены логарифмическая фазовая и логарифмическая амплитудная характеристика колебательного звена. Характеристики построены относительно резонансной (собственной) частоты (приведены к частоте резонанса

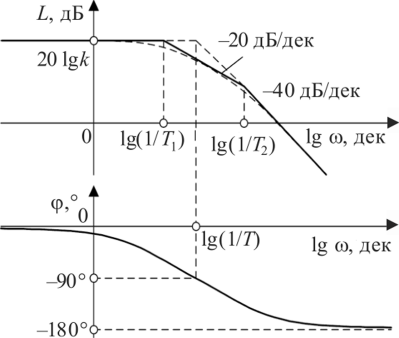


Рисунок 1 – логорифмическая амлитудная и логорифмическая фазовая частотная характеристика колебательного звена.

Как видно из рисунка 1 колебательное звено не искажает входного сигнала ни по амплитуде, ни по фазе вплоть до области близкой к собственной частоте колебаний. В области частот выше собственной частоты амплитуда входного сигнала резко падает с темпом -40 дБ/декада (уменьшение амплитуды в 100 раз при увеличении частоты в 10 раз), а фаза сдвигается на π. Если входной сигнал состоит из нескольких гармоник, то в этой области частот высокочастотные гармоники будут ослабляться по мере удаления от частоты резонанса. Таким образом, с точки зрения информативности измерений наиболее рационально работать в дорезонансной области частот, где угловые перемещения узла подвеса наилучшим образом соответствуют действию момента на узел подвеса.

Зададим внешний момент в виде функции, представленной на рисунке 2.

M(t)

π 2π ωt, рад/с

Рисунок 2 – внешний возмущающий момент

Разложим эту функцию на рисунке 2 в ряд Фурье[2]:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (3) |

где a – максимальное значение момента.

Рисунок 3- остаточный реактивный момент

На рисунке 3 приведён упрощённый график остаточного реактивного момента, возникающего при перенацеливании аппаратуры и результат суммирования первых шести слагаемых ряда Фурье (2). Пропустим шесть первых гармоник ряда через колебательное звено (1) последовательно и суммируем полученные результаты.

Для каждой из гармоник угла отклонения рамы стенда можно записать:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (4) |

где : Ar = Mr (t) / (,

ψr = Arc tg (2\*\*

ω0 – собственная частота колебаний подвеса рамы,

Ωr – круговая частота гармоники,

r = 1,3,5,7,9,11… - коэффициент гармоники.

Тогда для угла отклонения рамы стенда, построенного по 6 первым гармоникам ряда, получим:

|  |  |
| --- | --- |
| φ (t) = , | (5) |

В соответствии с заданием на проектирование аппаратуры, первая гармоника возмущающего момента имеет период Т1= 4 с (время периода перенацеливания) и круговую частоту Ωr1= 1/Т1= 0,25 рад/с.

Рисунок 4 – ускорение рамы под с различным декрементом затухания.

Рисунок 5 – ускорение рамы при различном периоде колебания рамы.

На рисунках 4 и 5 приведены результаты моделирования ускорения рамы под действием момента амплитудой 0,1 Нм при различных настройках узла подвеса стенда с различными декрементами затухания при Тр =8 с (рисунок 4) и при различных периодах колебания рамы с декрементом затухания (рисунок 5).

На рисунке 4 видно, что увеличение декремента затухания больше приводит к существенным деформациям формы выходного сигнала по отношению к входному моменту.

Скорость качания узла подвеса измеряется волоконным оптическим гироскопом (ВОГ). После дифференцирования сигнала ВОГ получаем сигнал ускорения узла подвеса. Для получения значения момента на основание следует умножить полученное ускорение узла подвеса на момент инерции узла подвеса. На рисунке 4 показана зависимость выходного сигнала стенда от коэффициента демпфирования, а на рисунке 5 показана зависимость выходного сигнала стенда от периода колебаний рамы. Этот период сильно меняется в процессе уравновешивания стенда и особенно при смене осей ОС УПК, т.к. в этих случаях меняется момент инерции узла подвеса. На рисунке 5 видно, что при совпадении периода измеряемого момента (4 с) и периода собственных колебаний узла подвеса измерение момента становится практически невозможным.

Как следует из рисунка 1, для измерения моментов с периодом 4 без существенных искажений следует настраивать узел подвеса на период собственных колебаний не менее 10…12 с.

В процессе измерений полученные значения момента сравниваются с известным моментом измерительного маховика, который закрепляется на узле подвеса стенда.

Момент, вносимый измерительным маховиком Ми, определяется выражением:

|  |  |
| --- | --- |
| Ми = Jи∙Δωи /Δt, Н·м, | (6) |

где Jи – расчетный момент инерции измерительного маховика, равный 2,68∙10-4 кг∙м2 определяется с относительной погрешностью 0,002;

Δωи – разность скоростей на границах участка линейного изменения скорости измерительного маховика Δωи= 18,65 1/с;

Δt – период времени участка линейного изменения скорости измерительного маховика ( Δt = 1 с).

Тестовый момент должен иметь период равный периоду перенацеливания аппаратуры 4 с. График на рисунке 6 может служить основой для генерации задания контура управления по скорости поворота измерительного маховика. На рисунке 7 представлен график момента измерительного маховика, соответствующего такому закону изменения скорости маховика.

Рисунок 6 – скорость измерительного маховика.

Рисунок 7 – остаточный момент при вращении измерительного маховика

График на рисунке 6 может служить основой для генерации задания контура управления по скорости поворота измерительного маховика. На рисунке 7 представлен график момента измерительного маховика.

Величина погрешности измерения скорости измерительного маховика Δωи= 2·ωmax определяется по абсолютной погрешности датчика угла ЛИР-362А ( 75"), установленного соосно с маховиком, отнесённой ко времени измерения 0,2 с, т.е 0,1 °/с =0,00175 1/с .Отсюда относительная погрешность измерения скорости маховика составляет Δωи= 0,00175/18,65=9,36 ·10-5 . Величина Δt определяется по количеству тактовых импульсов контроллера за время 1с. Опорная частота контроллера 2000Гц, поэтому абсолютная погрешность измерения времени составит 1/2000 с, а относительная погрешность не превысит 5·10-4.

Величина момента измерительного маховика Ми = 0,005 Нм. Тогда требуемое значение ускорения Δωи/Δt измерительного маховика на участке линейного изменения скорости составит:

Δωи /Δt = Ми / Jи = 0,005 / 2,68∙10-4) = 18,65 рад/с2

Для оценки некомпенсированного момента, создаваемого при перенацеливании аппаратуры, измеряется изменение значения скорости узла подвеса в процессе перенацеливания, результат измерения дифференцируется и соотносится с пороговой величиной (0,005 Нм), полученной при тестовом воздействии. Относительная погрешность гироскопа ВОГ ОИУС-1000 составляет 0,01. Тогда, относительная погрешность измерений на стенде остаточного момента составит[3]:

ΔМи=.

Выводы:

1. Период собственных колебаний узла подвеса измерительного стенда должен быть в 2,5…3 раза больше периода перенацеливания аппаратуры.
2. Декремент затухания колебаний узла подвеса стенда не должен превышать значения 0,05.
3. Момент инерции измерительного маховика должен быть измерен (рассчитан) с относительной погрешностью не хуже 0,002.
4. Относительная погрешность измерения остаточного момента на стенде составляет 1%.

Литература

1. **Т.Я. Лазарева, Ю. Ф. Мартемьянов** Основы теории автоматического управления –ТГТУ, 2004 – 256 с.
2. **Г.П. Толстов.** Ряды Фурье - Государственное издательство физико-математической литературы, 1960 – 392 с.
3. **Э.Г. Миронов**. Методы и средства измерений – ГОУ ВПО УГТУ−УПИ., 2009. –463 с.
4. **Кенио Т**. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления. Пер с англ. –. 1987. -200 с.
5. **Зимин Е.Н., Яковлев В.И.** Автоматическое управление электроприводами. М.: Высшая школа, 1979. B