

Министерство образования Российской Федерации
Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана.

ФАКУЛЬТЕТ _____ "Информатики и систем управления" _____

КАФЕДРА "Приборы и системы ориентации, навигации и стабилизации"

РАСЧЁТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к квалификационной работе бакалавра на тему:

Стенд для калибровки датчиков момента ДНГ на базе
одноосного гиростабилизатора.

Студент _____ Венедиктов А. М.

Руководитель _____ Подчезерцев В. П.

Консультант по технологической части _____ Гоцеридзе Р.М.

2006 г.

Оглавление.

ВВЕДЕНИЕ.	4
1. ПРИНЦИП РАБОТЫ ГИРОСКОПИЧЕСКОГО СТАБИЛИЗАТОРА.	6
2. ОПИСАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА	7
2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ДНГ	7
2.2. ГИРОБЛОК С ВНУТРЕННИМ КАРДАНОМ ГВК-6	9
3. РАСЧЁТ ВОЗМУЩАЮЩИХ МОМЕНТОВ.	14
3.1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:	15
3.2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ПЛАТФОРМЫ	15
3.3. РАСЧЁТ ВОЗМУЩАЮЩИХ МОМЕНТОВ.	16
3.3.1. Расчёт моментов трения в подшипниках	16
3.3.2. Расчёт моментов трения в коллекторе	17
3.4. РАСЧЁТ СУММАРНОГО МОМЕНТА	18
3.5. ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ, ДАТЧИКА ОБОРОТОВ.	20
3.5.1. Двигатель разгрузки.	20
3.5.2. Индукционный датчик оборотов.	21
4. ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИБОРА.	22
5. РАСЧЁТ УСТОЙЧИВОСТИ КАНАЛА СТАБИЛИЗАЦИИ.	23
6. РАСЧЕТ ТОЧНОСТИ СТАБИЛИЗАЦИИ.	29
7. ОПИСАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ.	30
8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ О СООТВЕТСТВИИ ВЫПОЛНЕННОГО ПРОЕКТА ТРЕБОВАНИЯМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ.	31
9. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	32
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	33
10. РАСЧЕТ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ	34
10.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	34
10.2. ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ	35
10.3. РАСЧЕТЫ	36
11. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС СБОРКИ	38
11.1. ПРАВИЛА ПОСТРОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ СБОРКИ	38
11.2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ	40
11.3. ВЫБОР ОРГАНИЗАЦИОННОЙ ФОРМЫ СБОРКИ	40
11.4. РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ПРИБОРА	42
ПРИЛОЖЕНИЕ	46

Введение.

Проектируемый стенд предназначен для калибровки датчиков момента динамически настраиваемого гироскопа (ДНГ). Прибор измеряет крутизну датчиков момента и дрейф ДНГ. Стенд представляет собой одноосный гиросtabilизатор.

Гиросtabilизатор - это прибор, предназначенный для сохранения углового положения некоторого объекта и управления этим положением. Гиросtabilизатор (далее ГС) может работать в двух режимах: в режиме стабилизации и в режиме управления.

Классификация ГС.

1. По роли гироскопа в процессе стабилизации:

1) Силовые ГС. В этом типе ГС возмущающие моменты уравниваются гироскопическим моментом и моментом, создаваемым приводом разгрузки. Постоянные или медленно изменяющиеся моменты уравниваются в основном моментом привода разгрузки, а знакопеременные, особенно быстро изменяющиеся, уравниваются как приводом разгрузки, так и гироскопическим моментом, а при высоких частотах изменения момента еще и инерционным моментом самой платформы. Для силовых ГС требуются гироскопы с высоким кинетическим моментом.

2) Индикаторно–силовые ГС. В таких ГС силовая роль гироскопов снижена. Наличие у гироскопа большого кинетического момента не является обязательным.

3) Индикаторные ГС. Гироскопический момент практически не участвует в непосредственной компенсации возмущающих моментов, и их подавление определяется в основном приводом разгрузки, который должен выбираться из условия уравнивания всех составляющих возмущающего момента.

2. По типу чувствительного элемента:

- 1) ГС на двухстепенных гироскопах.
- 2) ГС на трехстепенных гироскопах.
- 3) ГС на датчиках угловых скоростей.
- 4) ГС на датчиках угловых ускорений.

3. По количеству осей стабилизации:

- 1) Одноосные ГС.
- 2) Двухосные ГС.
- 3) Трехосные ГС.

4. По типу привода:

- 1) Электромеханические.
- 2) Пневматические.
- 3) Гидравлические.
- 4) Реактивные.

В данной работе осуществлена разработка одноосного индикаторного гироскопического стабилизатора с электромеханическим типом привода. В качестве чувствительного элемента используется динамически настраиваемый гироскоп МГ-4.

1. Принцип работы гироскопического стабилизатора.

Калибруемый ДНГ при помощи приспособления 3 жестко связывается с платформой 1. ДНГ имеет три степени свободы и не оказывает никакого влияния на платформу, т.е. является индикатором.

При калибровке датчика момента ДМ1 ДНГ устанавливается так, что ось вращения ротора ДНГ и ось, по которой действует ДМ1 устанавливаются перпендикулярно оси вращения платформы.

ДМ1 создает момент M^6 и гироскоп начинает прецессировать. Появляется некоторый малый угол поворота α , который фиксирует датчик угла ДУ1. Сигнал с ДУ1 через усилитель поступает на двигатель разгрузки 2. Платформа начинает вращаться с угловой скоростью ω_{nl} . Следовательно, возникнет гироскопический момент M^2 равный $\overline{M}^2 = \overline{H} \times \overline{\omega}_{nl}$, противоположно направленный моменту создаваемому датчиком момента ДМ1 M^6 . Таким образом момент M^2 вернет гироскоп в начальное положение и, в установившемся режиме, будет компенсировать момент M^6 . Скорость платформы ω_{nl} в установившемся режиме измеряется с помощью индукционного датчика оборотов 4 и частотомера. Таким образом устанавливается соответствие между моментом M^6 и угловой скоростью ω_{nl} , а также, по средствам электрического контура датчика ДУ1, между ω_{nl} и током датчика момента ДМ1.

$$K = \frac{\omega_{nl}}{I}$$

Затем для калибровки датчика момента ДМ2 ДНГ устанавливается так, что ось вращения ротора ДНГ и ось, по которой действует ДМ2 устанавливаются перпендикулярно оси вращения платформы. А на двигатель разгрузки 2 через усилитель поступает сигнал датчика угла ДУ2.

2.1 Общие сведения о ДНГ

Вибрационные роторные трехстепенные гироскопы с внутренним кардановым подвесом, в которых упругие моменты торсионов компенсируются инерционными моментами вращающихся колец подвеса при динамической настройке, называются динамически настраиваемыми гироскопами.

Основными элементами конструкции ДНГ являются:

- ротор
- карданов подвес с упругими осями и элементами регулировки
- датчик угла (ДУ)
- датчик момента (ДМ)
- привод с двигателями и опорами
- корпус.

В качестве двигателя ДНГ получили распространение синхронные гистерезисные двигатели со специальными электронными схемами управления, обеспечивающие высокую стабильность вращения. Двигатель, как источник теплоты и магнитных полей удален от подвеса.

В качестве ДУ применяются индукционные, оптические датчики угла и другие, обычно торцевого исполнения. Пределы углового отклонения ротора в рабочем режиме малы (не более $1' \dots 5'$), поэтому ДУ должны обладать высокой чувствительностью. ДМ выполняются магнитоэлектрическими.

Корпус прибора герметизируется. Внутри корпуса прибора обычно находится водородно-гелиевая смесь. Материал корпуса - пермаллой, который экранирует гироскоп от магнитных полей.

При динамической настройке прибора можно считать, что ось ротора гироскопа сохраняет свое положение в инерциальном пространстве неизменным. Измеряя угловое положение ротора относительно корпуса прибора в плоскости $O\xi\eta$ вокруг осей $O\xi$ и $O\eta$, получают с помощью ДУ информацию об углах $\alpha\xi$ и $\beta\eta$ поворота корпуса (или платформы), на котором установлен ДНГ. Так как ДНГ работает в схеме индикаторного гиростабилизатора или в режиме обратной связи по моменту (схема ДУС), то углы отклонения ротора малы. Датчики момента используются для управления гироскопа.

ДНГ, применяемые в качестве чувствительных элементов индикаторных гиросtabilизаторов, имеют преимущества перед гироскопами на шарикоподшипниковых подвесах силовых гиросtabilизаторов из-за малых габаритов и массы при сохранении точностных характеристик, возможности измерения углов поворота (или угловых скоростей) платформы вокруг двух взаимно перпендикулярных осей $O\xi$, $O\eta$. Малые габаритные размеры ДНГ, а также масса прибора и его элементов, отсутствие жидкости, в отличие от поплавковых гироскопов, позволяют создавать приборы с малым временем готовности (несколько минут и менее), по истечению которого его характеристики отвечают требованиям.

Введение системы термостатирования, применение методов экстраполяции ССП и компенсации составляющих ССП с помощью алгоритмов, снижают время готовности до малых величин.

2.2 Малогабаритный гироскоп МГ-4

Гироскоп МГ-4 представляет собой 3-х степенной динамически настраиваемый гироскоп, предназначенный для использования в качестве чувствительного элемента авиационных гироскопических платформ.

Основными элементами МГ-4 являются:

1. привод с карданом;
2. двигатель;
3. датчики момента;
4. датчики угла;
5. система термостатирования.

Привод представляет собой вал, укрепленный на корпусе гироскопа при помощи специальных шарикоподшипников и вращаемый двигателем. На валу установлен кардан — основная прецизионная деталь гироскопа, изготавливаемая из одного куска металла, к которой предъявляются очень жесткие требования по точности изготовления и выставке. Внутренний объем гироскопа заполнен водородно-гелиевой смесью. Для повышенной стабильности его параметров гироскоп термостатируется. Рабочая температура - 75°C.

Характеристики МГ-4

Механические характеристики

- кинетический момент $H=15 \text{ Г} \cdot \text{см} \cdot \text{с}$
- постоянная времени $T = H/K_n = 50 \text{ с}$
- угловая жесткость упругого подвеса $K_n = 350 \pm 15 \text{ Г} \cdot \text{см}/\text{рад}$
- линейная жесткость $3 \text{ кг}/\text{мм}$
- резонансная частота гироскопа $f=4800 \pm 0,3 \text{ Гц}$
- масса 200 г
- габариты $\varnothing 54; h=44$

- минимальный допустимый угол отклонения ротора от рабочего положения до упора не менее ± 30 угл. мин.

Точностные характеристики

- постоянная составляющая ухода 3 о/час
- изменение постоянной составляющей ухода от запуска к запуску не более
 - при вертикальном положении \bar{N} $0,02^\circ/\text{час}$
 - при горизонтальном положении \bar{N} $0,05^\circ/\text{час}$
- случайная составляющая ухода в запуске
 - вертикальное положение \bar{N} $\pm 0,02^\circ/\text{час}$
 - горизонтальное положение \bar{N} $\pm 0,056^\circ/\text{час}$
- постоянная составляющая, пропорциональная n не более $+0,5^\circ/\text{час/g}$
- квадратурная составляющая ухода $\pm 0,5^\circ/\text{час/g}$
- постоянная составляющая пропорциональная n не более
 - $0,03^\circ/\text{час/g}$ при f до 100гц
 - $0,05^\circ/\text{час/g}$ при $f > 100\text{гц}$
- среднеквадратичное значение переменной составляющей уходов не более
 - при вертикальном положении \bar{N} $0,018^\circ/\text{час}$
 - при горизонтальном положении \bar{N} $0,055^\circ/\text{час}$
- температурный коэффициент ухода не более $0,03^\circ/\text{час}$ на 1°C
- невыставка установленной поверхности, образованной фиксаторами с осью прецессии ДМ не более $\pm 1'$
- неперпендикулярность электрических осей ДМ
 - $-1'$ - основных обмоток
 - 1° - компенсационных обмоток
- время выхода на рабочий режим

при -50°C -13 мин.(подогрев)

при н/у -8 мин.

- механические воздействия
 - линейные ускорения до 10 g
- допустимая скорость углового перемещения $360^{\circ}/\text{с}$ многократные удары с ускорением до 70 g в количестве до 140 ударов при длительности удара 0,5-1 мкс и частоте 40...80 ударов в минуту.

Технические характеристики

Ресурс

- Время непрерывной работы - 8 часов
- срок службы - до 1000 часов

Характеристики гистерезисного двигателя

- Питание двигателя прямоугольное двухфазное
 - $f=480\pm 0,096$ Гц
 - $U=18\pm 2,7$ В (в форсированном режиме)
 - $U=10\pm 1,0$ В (в рабочем режиме)
- число пар полюсов двигателя $P=2$
- потребляемая мощность
 - 20 В·А (в форсированном режиме)
 - 3 В·А (в рабочем режиме)
- время вхождения в синхронизм 60 сек
- приработка ШП опор ротора 8 часов
- ускорение вибрации гироскопа в установившемся режиме не более 1,5 g в осевом и радиальном направлениях.

Характеристики ДУ

Датчик угла — состоит из 4-х измерительных узлов индуктивного типа, соединенные в мостовую схему.

- питание ДУ $U=2,5 \pm 0,125\text{В}$
 $f=19200 \pm 192\text{Гц}$
- крутизна ДУ $4,5 \pm 1\text{мВ/угл. мин}$
- фазовый сдвиг выходных сигналов ДУ не более $\pm 30^\circ$
- модуляция сигнала на частотах 240 и 280 Гц не более $6''$
- ток не более 70 мА
- отношение нулевого сигнала (U_0) к крутизне ($K_{ДУ}$) не более $0,2$ угл. Мин $U_0 \approx 1\text{мВ}$

Характеристики ДМ

Датчик момента — магнитоэлектрического типа. Состоит из 2-х частей: основного ДМ и компенсационного ДМ.

- крутизна
основного $(95 \pm 20 \text{ о/ч}) \text{ мА}$
компенсационного $(32 \pm 8 \text{ о/ч}) \text{ мА}$
- нестабильность крутизны
основного $\pm 0,5\%$
компенсационного $\pm 0,5\%$
- нелинейность характеристики $0,05\%$
- максимальный ток 60 мА
- рабочий ток $\angle 10 \text{ мА}$

Характеристики системы термостатирования

- Питание прпорциональное напряжению синусоидальной формы
 $U = 115 + 5\text{В}$ $f = 400 \pm 8\text{Гц}$
- две обмотки обогрева
 $R = 100 \cdot \text{Ом} \cdot 2$
 $P_{\text{max}} = 35 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot 2$
- сопротивление ТД и траб. - 758 Ом
- t раб. ДНГ - 75°С

3. Расчёт возмущающих моментов.

Знание возмущающих моментов необходимо как для определения погрешностей гиросtabilизатора, так и для выбора в процессе проектирования его параметров и, в частности, параметров системы разгрузки.

Для указанных целей необходимо знание, как величины, так и характера изменения отдельных составляющих возмущающих моментов. По характеру изменения возмущающие моменты могут быть подразделены на постоянные или медленно меняющиеся, как, например, моменты, определяемые линейными ускорениями центра масс объекта и неточной балансировкой гиросtabilизатора, и моменты знакопеременные, как, например, моменты от сил трения, возникающие при колебаниях прибора вокруг центра его масс. Если постоянные или медленно изменяющиеся моменты в силовом гиросtabilизаторе уравниваются в основном моментами привода разгрузки, то знакопеременные, особенно быстро изменяющиеся, уравниваются как приводом разгрузки, так и гироскопическим моментом, а при высоких частотах изменения момента и инерционным моментом самой платформы. В индикаторных гиросtabilизаторах в непосредственной компенсации возмущающих моментов гироскопический момент практически не участвует, и подавление возмущающих моментов определяется в основном приводом разгрузки, который должен выбираться из условия уравнивания всех составляющих возмущающего момента.

Величины и характер изменения возмущающих моментов определяются не только конструктивными особенностями гиросtabilизатора, но и эксплуатационными условиями, имеющими место при движении объекта. При рассмотрении отдельных составляющих возмущающих моментов, проводимом ниже, предполагается, что эти условия являются известными или заданными.

3.1. Исходные данные:

Параметры движения объекта, на котором установлен прибор:

Угловые скорости: $\omega < 15^0 / \text{с}$

Механические воздействия на прибор:

Ускорение силы тяжести:

$$g := 9.8 \text{ м/сек}$$

Линейные перегрузки по всем осям: 1 ед.

Параметры прибора, которые должны быть обеспечены в результате проектирования:

Статическая ошибка стабилизации 10''

Частота среза $f_{\text{ср}}=15$ Гц

Чувствительный элемент: МГ-4

3.2. Предварительный расчёт параметров платформы

Платформа:

Материал - сталь : $\rho = 7700$ кг/м

Момент инерции платформы:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_2$$

$$I_1 = \pi * r_1^2 * h * \rho * r_1^2 / 2 = 0.3 * \frac{0.5^4}{2} * \pi * \rho * 10^{-4} = \pi * 7700 * 0.009375 * 10^{-4} \text{ Н * м * с}^2$$

$$I_2 = \pi * r_2^2 * h * \rho * r_2^2 / 2 = 0.007 * \frac{5^4}{2} * \pi * \rho * 10^{-4} = \pi * 7700 * 2.1875 * 10^{-4} \text{ Н * м * с}^2$$

$$I_3 = \pi * r_3^2 * h * \rho * r_3^2 / 2 = 0.01 * \frac{15^4}{2} * \pi * \rho * 10^{-4} = \pi * 7700 * 253.125 * 10^{-4} \text{ Н * м * с}^2$$

$$I_2 = 0.390 * \frac{3r_c^2 + h_c^2}{12} = 0.39 * \frac{3 * 0.027^2 + 0.022^2}{12} = 0.86807 * 10^{-4} \text{ Н * м * с}^2$$

$$I \approx 217 \text{ сН * см * с}^2$$

3.3. Расчёт возмущающих моментов

3.3.1. Расчёт моментов трения в подшипниках

Моменты трения, действующие вокруг оси стабилизации, определяются трением в опорах платформы и моментом трения в двигателе разгрузки, приведенным к оси стабилизации.

Для большинства конструкций гиросtabilизаторов, как показывает практика разработок, эти моменты, приведенные к осям стабилизации, имеют меньшие значения, по сравнению с моментами трения в опорах стабилизируемого объекта.

Как правило, в качестве опор осей гиросtabilизаторов применяют однорядные шариковые подшипники. Момент трения шарикоподшипников складывается из следующих составляющих:

- а) момента трения качения шариков с наружным и внутренним кольцами;
- б) момента трения скольжения шариков относительно наружных и внутренних колец;
- в) момента трения скольжения шариков относительно сепаратора;
- г) момента, вызываемого сопротивлению движения смазки.

Величины указанных составляющих момента трения определяются конструктивными параметрами подшипников, воспринимаемой ими нагрузкой и скоростями вращения его колец, поэтому при выбранном типе подшипника момента трения зависит от нагрузки и угловой скорости относительного движения его колец. Однако, зависимость момента подшипника от угловой скорости его вращения незначительна, особенно при имеющих место в гиросtabilизаторах малых скоростях относительного движения, и часто принимают, что этот момент имеет характер «сухого» или кулонова трения.

При движении объекта на подшипники осей гиросtabilизатора действуют как осевая, так и радиальная нагрузки. Моменты трения радиальных подшипников с внутренним диаметром от 5 до 12 мм, широко применяющихся в приборостроении, при совместном действии радиальных и осевых нагрузок, определяются по следующим соотношениям:

$$M_{um} = M_0 + (1.5 * A + 1.25 * R) * \mu * D_{p\omega} / D_{\omega},$$

где M_0 -

Для расчета выбираю однорядный подшипник 1000900:

3.3.2. Расчёт моментов, возникающих от несбалансированности

Максимальные и минимальные перегрузки по осям:

$$n_{x3\max} := 2 \quad n_{y3\max} := 2 \quad n_{z3\max} := 2$$

$$n_{x3\min} := -2 \quad n_{y3\min} := -2 \quad n_{z3\min} := -2$$

1) Значение момента по оси Y1:

$$R := m \cdot g$$

$$A := 0$$

$$M_{\text{try1}} := M_0 + 500 \cdot (k_1 - k_2) + k_2 \cdot R + k_3 \cdot A$$

$$\Delta := \frac{M_{\text{try1}}}{m \cdot g}$$

$$\Delta = 2.523 \text{ мм}$$

$$M_{\text{nby1max}} := \Delta \cdot (n_{z1\max} - n_{x1\min}) \cdot g \cdot m \quad M_{\text{nby1max}} = 17.653 \text{ Н*мм}$$

3.3.3. Расчёт инерционных моментов зеркала

Двухосный гиросtabilизатор стабилизирует в пространстве ось, связанную с направлением линии визирования. Если в силовых гиросtabilизаторах моменты внешних сил, изменяющиеся с высокой частотой, уравниваются как системой разгрузки, так и гироскопическим и инерционным моментами, то в индикаторных стабилизаторах компенсация знакопеременных моментов внешних сил, так же как и постоянных, полностью должна быть обеспечена системой разгрузки. Знание инерционного момента при проектировании гиросtabilизаторов становится весьма существенным.

Для одноосного гиросtabilизатора возникновение инерционного момента может быть пояснено следующим образом. Эйлеравы уравнения движения зеркала имеют вид:

$$J_{y1} \dot{\omega}_{y1} + (J_{x1} - J_{z1}) \times \omega_{x1} \omega_{z1} = M_{y1};$$

где J моменты инерции, ω угловые скорости и $\dot{\omega}$ ускорения относительно соответствующих осей имеют индексы этих осей. При отсутствии моментов внешних сил правые части обращаются в нуль, а правая часть представляет собой момент реакции со стороны зеркала на корпус вокруг оси y_1 .

Кинематические уравнения одноосного гиросtabilизатора имеют вид:

$$\begin{cases} \omega_{x1} = \omega_{xc} \cos \alpha - \omega_{zc} \sin \alpha; \\ \omega_{y1} = \omega_{yc} + \dot{\alpha}; \\ \omega_{z1} = \omega_{xc} \sin \alpha + \omega_{zc} \cos \alpha; \end{cases}$$

Учитывая кинематические уравнения, получаем следующее выражение для инерционного момента вокруг оси зеркала одноосного гиросtabilизатора:

$$J_{y1} \dot{\omega}_{y1} + (J_{x1} - J_{z1}) \times \omega_{x1} \omega_{z1} = M_{y1};$$

$$I_{x1} := m \cdot \frac{2l^2 + L^2 + h^2}{24} \quad I_{x1} = 2.947 \times 10^{-4} \text{ кг*М}^2$$

$$I_{y1} := m \cdot \frac{h^2 + L^2}{12} \quad I_{y1} = 2.919 \times 10^{-4} \text{ кг*М}^2$$

$$I_{z1} := I_{x1} \quad I_{z1} = 2.947 \times 10^{-4} \text{ кг*М}^2$$

т.к. моменты инерции вокруг осей X_1 и Z_1 одинаковы, формула для расчета момента принимает следующий вид:

$$M_{y1\text{linmax}} := I_{y1} \cdot \omega'_{y1} \quad M_{y1\text{linmax}} = 2.548 \times 10^{-4} \text{ Н*М}$$

3.4. Расчёт суммарного момента

Возмущающие моменты, рассмотренные выше, либо весьма медленно изменяются во времени, как, например, моменты, возникающие при линейных ускорениях центра масс объекта (несбалансированности и др.), либо изменяются с частотами колебаний объекта вокруг центра масс. Так как частоты изменения этих возмущающих моментов лежат значительно ниже частот среза привода разгрузки стабилизаторов, то при расчете стабилизаторов все эти моменты учитываются как постоянно действующие.

В общем случае, для множества гиросtabilизаторов каждый из рассмотренных возмущающих моментов является случайной величиной, определяемой как условиями движения данного объекта, так и параметрами гиросtabilизатора, полученными при его изготовлении. Направление и величина момента несбалансированности зависит от направления и величины остаточного смещения ЦТ зеркала гиросtabilизатора линии визирования, полученного при изготовлении, и направления и величины линейного ускорения объекта. Величина составляющей возмущающего момента трения, не зависящая от ускорения, определяется в основном параметрами подшипников, примененными в гиросtabilизаторе, а ее направление — направлением угловой скорости вращения объекта. В то же время величина составляющей момента трения, зависящая от ускорения, определяется не только характеристиками примененных подшипников, но и величиной ускорения объекта. Отсюда следует, что как величины, так и знаки отдельных составляющих возмущающего момента являются случайными, и эти составляющие могут суммироваться как случайные не зависящие величины. Однако обычно определяют максимальный возмущающий момент арифметическим суммированием составляющих моментов, так как известно, что даже при кратковременном превышении возмущающим моментом максимального момента разгрузки гиросtabilизатор теряет способность стабилизации из-за ограничений по углам прецессии его чувствительных элементов. Так как условия движения объекта на отдельных участках различны и, следовательно, различны на этих участках величины отдельных составляющих момента, то суммарный возмущающий момент определяют для наиболее характерных участков движения, а при определении необхо-

димого максимального момента разгрузки исходят из наибольших величин, полученных для рассчитанных участков движения. При таком методе суммирования составляющих возмущающего момента и определения максимального момента разгрузки создается некоторый запас по моменту привода разгрузки, который необходим вследствие неточного знания эксплуатационных условий работы гиросtabilизатора.

Суммарные моменты:

$$M_{y1max} := M_{try1} + M_{y1inmax} \cdot 10^3 + M_{nby1max} \quad M_{y1max} = 22.321 \quad \text{Н*ММ}$$

$$M_{y1ma} = 22.321 \cdot 10^{-3} \quad \text{Н*М}$$

3.5. Выбор опор, двигателя стабилизации, датчиков команд на основе расчета возмущающих моментов.

3.5.1. Двигатель разгрузки.

Выбор двигателя стабилизации в контур разгрузки проводим на основе расчета максимального возмущающего момента по оси стабилизации. Так как для индикаторного гиросtabilизатора требуется отрабатывать углы поворота с высокой точностью, а максимальные моменты вследствие малости габаритов и веса ГСП малы и не превышают 0,05Н·М, целесообразно в качестве двигателя стабилизации выбрать безредукторный двигатель постоянного тока. Датчик моментов выбирается в строгом соответствии с типоразмером и габаритами двигателя стабилизации, что обеспечивает симметричность конструкции, и как следствие минимум моментов от статической несбалансированности, а также устойчивый тепловой режим.

В соответствии с вышеперечисленными соображениями в качестве двигателя стабилизации выбираем безредукторный двигатель ДМ-23, имеющий следующие характеристики:

- крутизна 0,1 Н·м/А

- сопротивление обмотки 60 Ом
- максимальный момент 0,05 Н·м
- масса 0,08 кг
- размеры: толщина 13мм, внешний диаметр 37мм, внутренний диаметр 16мм.

Назначение.

Моментный двигатель предназначен для использования в качестве исполнительных элементов в различных системах автоматики, телемеханики, измерительной техники.

Они применяются в навигационных системах, в приводах антенн, телескопов, роботов и т.д.

Особенности конструкции.

Коллекторные моментные двигатели постоянного тока имеют плоскую конструкцию и высокие удельные массогабаритные характеристики, характерные при низкой скорости вращения от 0 до 1000 об/мин, что позволяет исключить редуктор, упростить электрическое управление и значительно сократить габариты и массу основного изделия.

В корпусном исполнении моментные двигатели изготавливаются с встроенным подшипниковым узлом.

3.5.1. Датчик угла положения зеркала.

Гироскопические приборы в большинстве случаев являются датчиками первичной информации в составе сложных автоматических систем ориентации, навигации и стабилизации. Информация должна поступать на потребители – объекты стабилизации, шкаловые визуальные приборы (повторители), вычислительные устройства. Потребители, как правило, находятся на некотором расстоянии от гироскопических датчиков. Поэтому возникает задача дистанционной передачи информации, в частности дистанционной передачи угла.

В последнее время для этих целей применяют датчики угла построенные на основе поворотных трансформаторов (синусно-косинусных трансформаторов (СКТ)).

СКТ предназначены для преобразования угла поворота вала в напряжение, пропорциональное некоторым функциям угла (например \sin или \cos) или самому углу.

В конструктивном отношении СКТ представляют собой электрические машины переменного тока с неявно выраженными полюсами. В гироскопических системах наиболее часто применяются плоские конструкции СКТ, отношение наружного диаметра к длине которых меньше единицы.

СКТ – многоцелевые элементы. Они широко применяются в вычислительных системах для решения тригонометрических задач. В гироскопической технике СКТ применяются: для измерения углов и их дистанционной передачи, в качестве преобразователей координат, датчиков первичной информации в преобразователях угол – цифровой код.

СКТ, у которых при повороте на 360° выходной сигнал изменяется на один период, называется двухполюсными.

Для повышения точности передачи угла и преобразования угла в цифровой код применяются также многополюсные СКТ. Принципиально они устроены так же, как и двухполюсные, но только в пазы статора и ротора уложены многополюсные обмотки.

Основными выходными характеристиками СКТ являются: максимальное значение выходного напряжения, крутизна выходного напряжения, коэффициент трансформации.

Характеристики СКТ–260–1 приведены ниже.

- Число пар полюсов – 1.
- Максимальное выходное напряжение – $27,5 \pm 3$ В.
- Крутизна выходного напряжения – 6 мВ/угл.мин.
- Отношение минимального выходного напряжения к крутизне – 5 угл.мин.

- Ассиметрия нулевых точек – $\pm 2,5'$.
- Наружный диаметр – 32мм.
- Внутренний диаметр – 12 мм.
- Высота – 14 мм.
- Масса – 45г.

Особенности конструкции.

СКТ–620–1 имеет конструкцию, сходную с моментным датчиком, а также обеспечивает необходимые выходные параметры, что позволяет применить датчик угла в приборе.

В корпусном исполнении СКТ–620–1 изготавливается с встроенным подшипниковым узлом.

4. Описание конструкции прибора.

На листе 4 приведён общий вид конструкции гиросtabilизатора поля зрения кинокамеры.

Корпус прибора имеет вид короба с передней (поз.9) и задней (поз.2) крышками, предотвращающими попадание внутрь прибора пыли и грязи. Передняя крышка (поз.9) также прижимает к корпусу стекло, через которое изображение попадает на зеркало (поз.3). К задней крышке крепится штепсельный разъем (поз.4).

На корпусе предусмотрены посадочные отверстия для закрепления кинокамеры (вид В), а также отверстие в верхней части под объектив кинокамеры.

В корпусе расположены:

- Микрогироскоп (поз.7)
- Датчик момента ДМ–23 (поз.15)
- Датчик угла СКТ–620–1 (поз.18)
- Узлы гибких токоподводов (поз.21)

Микрогироскоп крепится к корпусу при помощи прижимного кольца (поз.5) винтами (поз.6). Между прижимным кольцом и посадочным местом устанавливается резиновая прокладка (поз.8).

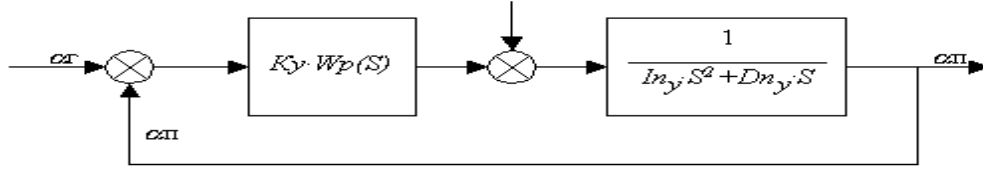
Датчик момента и датчик угла крепятся при помощи прижимных колец (поз.12 и 17) винтами (поз.13) каждый соответственно.

К роторам ДМ и ДУ крепятся правая (поз.16) и левая (поз.11) рамы зеркала (поз.3). В ДМ при помощи винтов (поз.14), а в ДУ при помощи винтов (поз.19). Зеркало крепится в раме при помощи клея.

Для ограничения углового перемещения зеркала в корпус устанавливается ограничитель 20.

5. Расчёт устойчивости канала стабилизации.

Расчёт устойчивости проведем по оси стабилизации OY_1 в режиме стабилизации. Структурная схема канала стабилизации представлена на рисунке:



Определим статический коэффициент усиления k , исходя из требований к статической ошибке стабилизации $\alpha_{ст} = 5''$.

$$\alpha_{ст} := \frac{5 \cdot \pi}{3600 \cdot 180} \quad \alpha_{ст} = 2.424 \times 10^{-5} \text{ рад}$$

$M_{ст\alpha} := 9.441 \cdot 10^{-3} \text{ Н}\cdot\text{м}$ – статический возмущающий момент по оси OY_1 .

Крутизна канала стабилизации определяется по формуле:

$$k_{ст\alpha} := \frac{M_{ст\alpha}}{\alpha_{ст}} \quad k_{ст\alpha} = 389.469 \quad \frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{рад}}$$

$J_{\alpha} := 2.219 \cdot 10^{-3}$ – момент инерции зеркала относительно оси OY_1 .

$D_{\alpha} := 5 \cdot 10^{-5} \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$ – момент демпфирования, приведённый к оси OY_1 .

Передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

$$W(s) := \frac{k_{р\alpha}}{(J_{\alpha} \cdot s^2 + D_{\alpha} \cdot s)}$$

Построим логарифмические амплитудно-частотные характеристики:

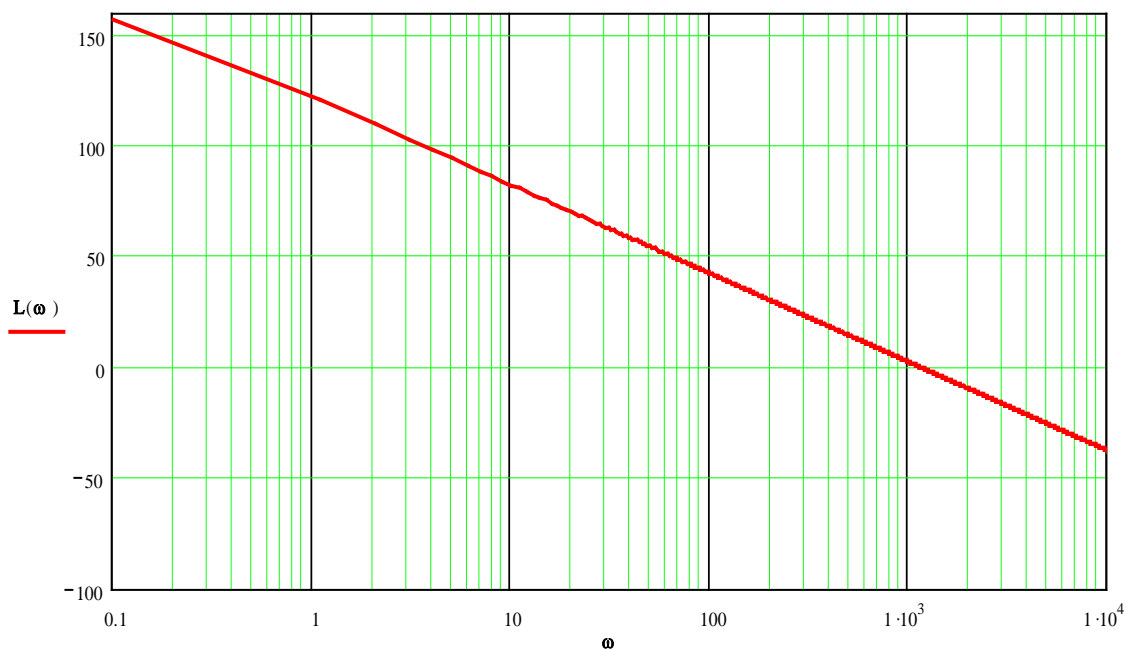
$$W(\omega) := \frac{k_{р\alpha}}{[J_{\alpha} \cdot (i \cdot \omega)^2 + D_{\alpha} \cdot (i \cdot \omega)]}$$

$L(\omega) := 20 \cdot \log(|W(\omega)|)$ – Амплитудно-частотная характеристика.

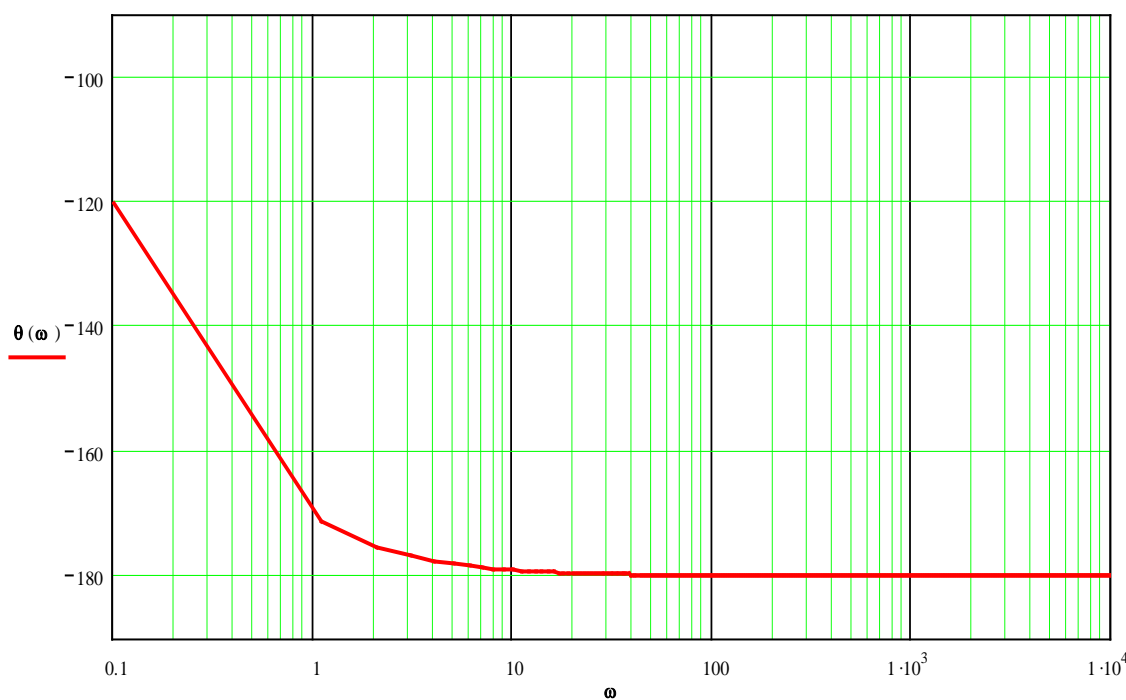
$\theta(\omega) := -180 + \text{atan}\left(\frac{\text{Im}(W(\omega))}{\text{Re}(W(\omega))}\right) \cdot \frac{180}{\pi}$ – фазочастотная характеристика.

Эти характеристики будут иметь следующий вид:

ЛАЧХ



ЛФЧХ



Из ЛАФЧХ видно, что система обладает почти нулевым запасом устойчивости по фазе ($\Delta\varphi=0,017$ на частоте среза $\omega_{ср}=1155$ рад/сек.), т.е. неустойчива. Для обеспечения устойчивости вводим корректирующее звено следующего вида:

$$W_k(s) := \frac{T_1 s + 1}{T_2 s + 1} \cdot \frac{1}{T_3 s + 1}$$

где $T_1=2/\omega_{cp}=0,0017$ с; $T_2=T_1/10=0,00017$ с; $T_3=T_2/10=0,000017$ с.

Для реализации ПФ корректирующего звена используем 2 пассивных четырехполюсника, изображенных ниже, и развязанных между собой с помощью операционного усилителя.

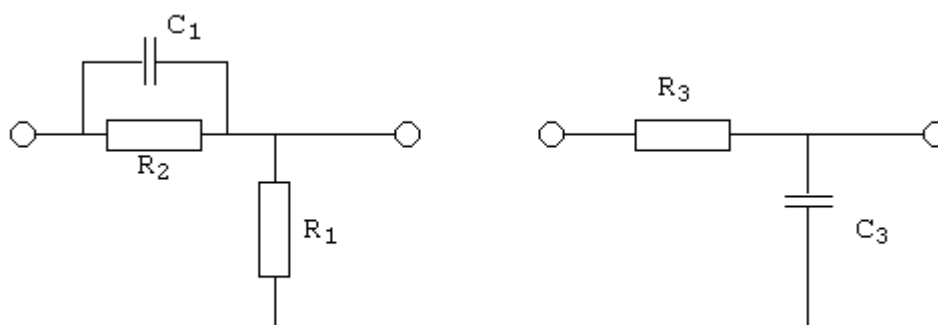


Рисунок 10. Пассивные четырехполюсники.

Для схем справедливы следующие соотношения:

$$T_1=R_1 \cdot C_1, \quad T_2 = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2}} \cdot T_1, \quad \text{или} \quad R_1 = R_2 \left(\frac{T_1}{T_2} - 1 \right), \quad T_3=R_3 \cdot C_3.$$

$T_1=0,0017$ с, $T_2=0,00017$ с, $T_3=0,000017$ с.

Пусть $C_1=1$ мкФ, тогда $R_2=0,18$ кОм, $R_1=1,7$ кОм

Пусть $R_3=1$ кОм, тогда $C_3=1,7$ мкФ.

Передаточная функция скорректированной системы имеет вид:

$$W_{\text{скор}}(s) := \frac{k_{p\alpha}}{(J_{\alpha} \cdot s^2 + D_{\alpha} \cdot s)} \cdot \frac{1 + T_1 \cdot s}{1 + T_2 \cdot s} \cdot \frac{1}{1 + T_3 \cdot s}$$

$$W_{\text{скор}}(\omega) := \frac{k_{p\alpha}}{[J_{\alpha} \cdot (i \cdot \omega)^2 + D_{\alpha} \cdot (i \cdot \omega)]} \cdot \frac{1 + T_1 \cdot (i \cdot \omega)}{1 + T_2 \cdot (i \cdot \omega)} \cdot \frac{1}{1 + T_3 \cdot (i \cdot \omega)}$$

Построим логарифмические амплитудно-частотные характеристики для скорректированной системы:

$$L_{\text{скор}}(\omega) := 20 \cdot \log(|W_{\text{скор}}(\omega)|) \quad \text{— Амплитудно—частотная характеристика}$$

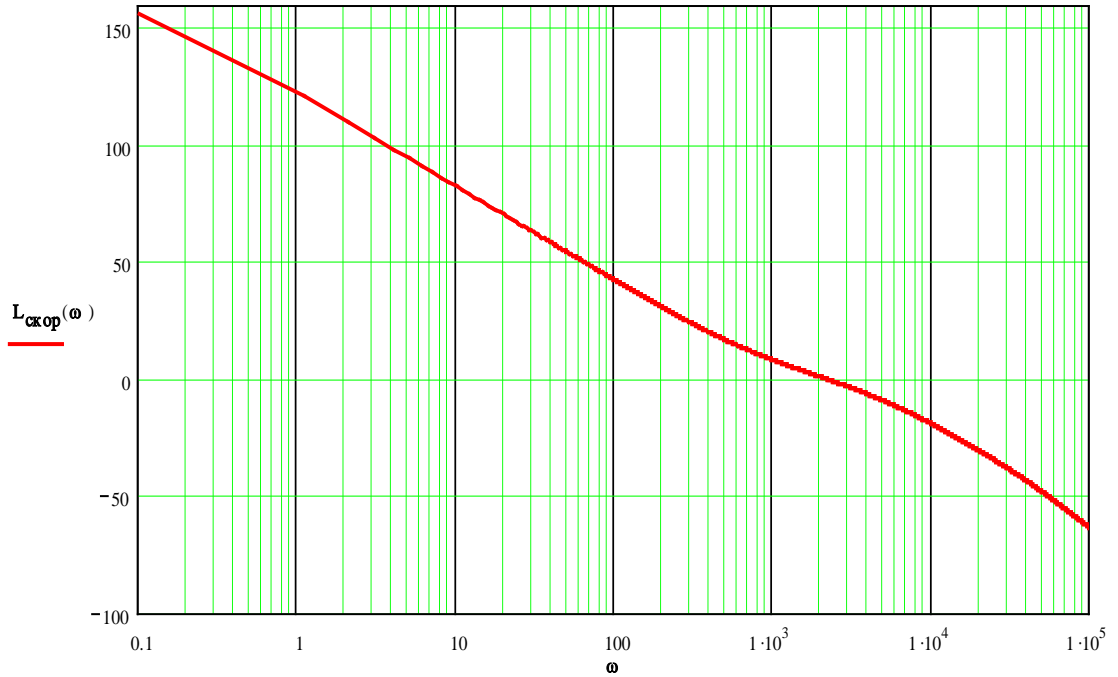
скорректированной системы.

$$\theta_{\text{скор}}(\omega) := -180 + \operatorname{atan} \left(\frac{\operatorname{Im}(W_{\text{скор}}(\omega))}{\operatorname{Re}(W_{\text{скор}}(\omega))} \right) \cdot \frac{180}{\pi} \quad - \quad \text{фазочастотная характеристика}$$

скорректированной системы.

Эти характеристики будут иметь вид:

ЛАЧХ



ЛФЧХ



Новая частота среза ($\omega_{\text{ср}}=2255$ рад/сек) приходится на пик в частотной характеристике, т.е. запас устойчивости в такой системе будет максимальным, что подтверждает оптимальность параметров системы коррекции. Таким образом мы получили следующие параметры скорректированной системы :

Частота среза – 354 Гц.

Запас устойчивости по амплитуде 28 Дб

Запас устойчивости по фазе 52° .

6. Расчет точности стабилизации.

Расчет точности производится исходя из заданного коэффициента подавления колебаний на заданной частоте.

Коэффициент подавления колебаний $L(\omega)$ определяется исходя из передаточных функций замкнутой и разомкнутой систем по формуле:

$$L(\omega) := 20 \cdot \log(|F(\omega)|)$$

где:

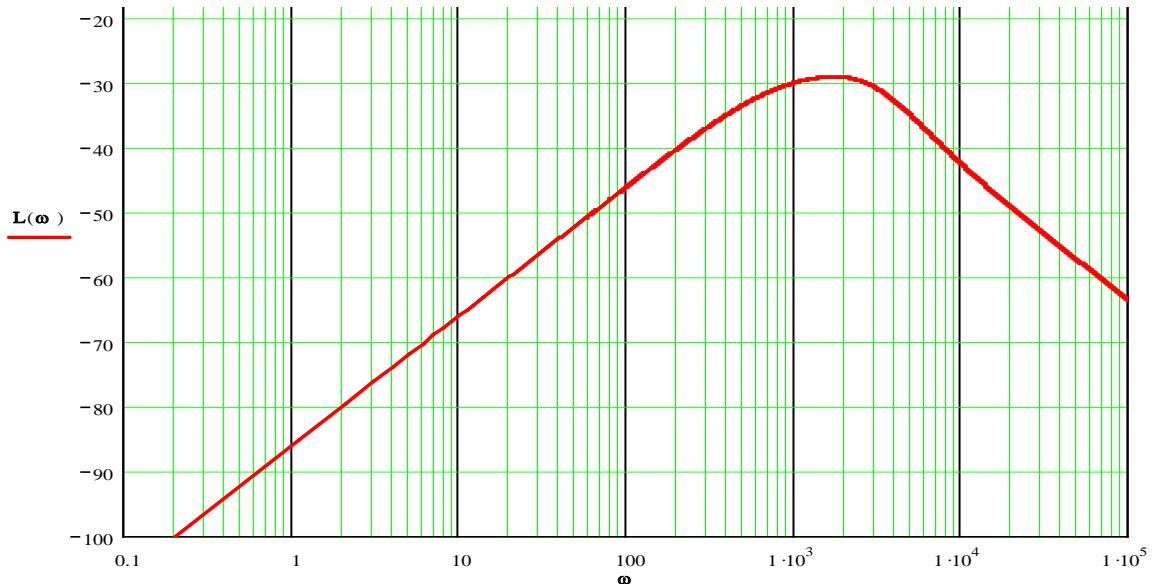
$$F(\omega) := D_{\alpha} \cdot (i \cdot \omega) \cdot \frac{W(\omega)}{1 + W_{\text{скор}}(\omega)}$$

$D_{\alpha} := 5 \cdot 10^{-5}$ – момент демпфирования приведенный к оси OY_1

$W(\omega)$ – передаточная функция нескорректированной разомкнутой системы;

$W_{\text{скор}}(\omega)$ – передаточная функция скорректированной разомкнутой системы.

График функции коэффициента подавления колебаний имеет вид:



$$\omega 01 := 6\pi$$

$$\Delta B := |-L(\omega 01)|$$

$$\omega 02 := \pi$$

$$\Delta H := |-L(\omega 02)|$$

Из графика видно, что на заданной частоте тремора $3,14 \dots 18,849$ рад/сек ($0,5 \dots 3$ Гц) коэффициент подавления колебаний равен $76,078 \dots 60,517$ Дб, что соответствует заданным параметрам прибора.

7. Описание электрической схемы.

На листе 5 приведена электрическая схема электромеханической части стабилизатора поля зрения.

На схеме расположены следующие блоки: гироскоп (А1) и два выпрямителя (А2 и А3). Силовая часть электрической схемы ГС расположена в отдельном блоке электроники. Подключение электромеханической части ГС к блоку электроники осуществляется через разъем ХР.

В блоке гироскопа (А1) имеются:

- гиродвигателя (М1);
- двухкоординатного ДУ (D1);
- двухкоординатного ДМ (M2).

Питание двигателя М1 на гермовыводы 1...4 блока А1 подается с контактов 1...4 разъема ХР. Управляющие сигналы на ДМ М2 подается на гермовыводы 11...14 блока А1 с контактов 12...16 разъема ХР. Сигналы с ДУ D1 блока А1 с гермовыводов 5...10 поступают на входы блоков выпрямителей А2 и А3 соответственно по каждому каналу (X и Y).

Блок А2 состоит из микросхем (DA1,DA2 и DA3), диодов (VD1, VD2), резисторов и конденсаторов. Микросхемы DA1, DA2 – 544УД2А; DA3 – 140УД17А. Работа блока А2 осуществляется следующим образом.

На вход 3 микросхем операционных усилителей DA1 и DA2 подается сигналы от ДУ. Операционные усилители включены в схему “идеального диода”. Диод на выходе 6 пропускает только положительную полуволну сигнала с ДУ. Аналогично работает и на ОУ DA2. Регулировка “нуля” датчиков угла гироскопа осуществляют подбором сопротивлений резисторов R1 и R2 блоков А2 и А3. Сигналы с выходов микросхем DA1 и DA2 поступают на входы дифференциального операционного усилителя, выполненном на микросхеме DA3, который осуществляет вычитание поступивших сигналов. На выходе имеем разность сигналов, которая соответствует углу поворота ДУ. Информация об угловом повороте подается на контакты 5 и 6 разъема ХР.

Блок А3 имеет аналогичную структуру и принцип работы. Питание на блоки А2 и А3 подается с контактов 7...9 разъема ХР.

Связь между зеркалом и корпусом осуществляется через двигатель разгрузки ДМ-23 М1 и датчик угла СКТ-260-1 D2. Управляющие сигналы на двигатель разгрузки М1 поступают с контактов 16 и 17 разъема ХР. Сигналы с ДУ поступают на контакты 20 и 21 для сигнала \sin и 22 и 23 для сигнала \cos разъема ХР. Питание на ДУ подается с контактов 18 и 19 разъема ХР.

8. Заключение о соответствии выполненного проекта требованиям технического задания.

В техническом задании были предъявлены следующие требования к проектируемому гиросtabilизатору:

- 1) Обеспечение устойчивости канала стабилизации.
- 2) Допустимая статическая ошибка по углу стабилизации не должна превышать 5 угловых минут.
- 3) Обеспечение коэффициента подавления угловых колебаний на частоте 0,5..3 Гц не менее 50 дБ.
- 4) Диаметр объектива кинокамеры должен быть 60 мм.
- 5) Обеспечиваемый угол обзора не менее 40°.

Рассмотрим по порядку эти требования.

1) Расчет канала стабилизации приведен в главе 4. Первоначальная система (без корректирующего звена) была неустойчивой. Для обеспечения устойчивости было введено корректирующее звено, и система стала устойчивой (запас по фазе =52°; запас по амплитуде – 28дб).

2) Требование по статической ошибке было выполнено при расчете устойчивости (см. главу 4).

3) Проверка обеспечения системой коэффициента подавления угловых колебаний было проведено в главе 5.

4) Расчеты пунктов 4,5 приведены в гл. 3.

Таким образом, все требования технического задания были выполнены.

9. Список литературы.

- 1) Пельпор Д.С. Гироскопические системы.Ч1. - М.: Высшая школа, 1986.
- 2) Пельпор Д.С., Матвеев В.А., Арсеньев В.Д. Динамически настраиваемые гироскопы. - М.: Машиностроение, 1988.
- 3) Пельпор Д.С. Гироскопические системы.Ч2. - М.: Высшая школа, 1986.
- 4) Пельпор Д.С. Гироскопические системы.Ч3. - М.: Высшая школа, 1986.
- 5) Лекции по теории гироскопов и гиросtabilизаторов.
- 6) Лекции по элементам САУ.
- 7) Э.Г. Богатырев, З.Ф. Уразаев. Методические указания по выполнению технологической части дипломных проектов. М.: изд. МВТУ, 1978.
- 8) Р.М. Гоцеридзе, З.Ф. Уразаев. Методы обеспечения точности сборки приборов. М.: Издательство МГТУ, 1993.