

Содержание

1. Введение	2
2. Назначение прибора.....	6
3. Принцип действия	7
4. Описание конструкции ГС, ЧЭ, узлов	8
5. Предварительный расчет инерционных характеристик ГС.....	13
6. Расчет вредных моментов, действующих вокруг осей стабилизации:	15
<i>Расчет моментов трения</i>	15
<i>Расчет моментов тяжения токоподводов</i>	18
<i>Расчет моментов остаточной несбалансированности</i>	20
<i>Расчет моментов неравножесткости</i>	21
<i>Расчет инерционных моментов рам корданова подвеса</i>	22
<i>Подсчёт суммарных возмущающих моментов и выбор двигателей разгрузки</i>	22
7. Выбор привода стабилизации.....	23
8. Математическая модель каналов ГС	24
9. Исследование устойчивости ГС	26
10. Вычисление коэффициента подавления колебаний.....	34
11. Расчет электрической цепи корректирующего звена.....	37
12. Описание электрической схемы	40
13. Расчет технологической части проекта.....	42
<i>Выбор организационной формы сборки</i>	42
<i>Построение технологической схемы сборки</i>	42
<i>Расчет коэффициентов технологичности конструкции прибора</i>	46
<i>Расчет сборочной размерной цепи</i>	49
14. Заключение о соответствии техническому заданию	54
15. Список используемой литературы	55
16. Приложения	56

Введение

Гироскопическими стабилизаторами (ГС) называются гироскопические устройства, предназначенные для стабилизации тех или иных приборов и устройств в инерциальном пространстве, а также управление их угловым положением.

На гироскопические приборы и системы возлагаются сложные задачи по стабилизации и управлению специальными бортовыми приборами (приборы инерциальной навигации, антенны бортовых радиолокационных станций, чувствительные элементы пеленгаторов, координаторы цели, аэрофотоаппараты и др.) Известно, что ось гироскопа в кардановом подвесе, установленного на борту летательного аппарата, в течение длительного времени сохраняет почти неизменное направление в пространстве. Однако несовершенство элементов конструкции и тяжелые условия эксплуатации порождают значительные моменты внешних сил, действующие на гироскоп и отклоняющие ось вращения его ротора, а следовательно и стабилизируемую ось от заданного направления в пространстве. Требования высокой точности стабилизации приборов бортовых систем привели к необходимости создания гироскопических стабилизаторов.

Классификация гиростабилизаторов:

- *По типу применяемых гироскопов:*

Гиростабилизаторы разделяются на ГС с двухстепенными гироскопами и ГС с трехстепенными гироскопами. В свою очередь ГС с двухстепенными гироскопами можно разделить по типу подвеса гироскопов: ГС с гироскопами на шарикоподшипниковом подвесе, на поплавковом, воздушном, магнитном подвесах и т.п. Гиростабилизаторы с трехстепенными гироскопами делятся на ГС с бескарданными гироскопами и ГС на базе гироскопов с кардановым подвесом.

- *По роли гироскопа в процессе стабилизации:*

- 1) Силловые 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 стабилизации, который должен выбираться из условия уравнивания всех составляющих возмущающего момента.

- *По типу чувствительного элемента:*

- 1) ГС на двухосных гироскопах.
- 2) ГС на трехосных гироскопах.
- 3) ГС на датчиках угловых скоростей.
- 4) ГС на датчиках угловых ускорений.

- *По количеству осей стабилизации:*

- 1) Одноосные ГС. – стабилизируют то или иное устройство только относительно одной оси.

2) Двухосные ГС. – стабилизируют приборы и устройства относительно двух осей (например , ГС , создающий горизонтальную площадку)

3) Трехосные ГС. – осуществляют стабилизацию относительно трех осей , т.е. полную стабилизацию . Такие ГС называются еще пространственными гиросtabilизаторами или гиросtabilизированными платформами.

• *По типу подвеса:*

1) Корданов подвес

2) Плавающий подвес

3) На космических аппаратах роль подвеса может выполнять сам аппарат

• *По типу привода:*

1) Электромеханические.

2) Пневматические.

3) Гидравлические.

4) Реактивные

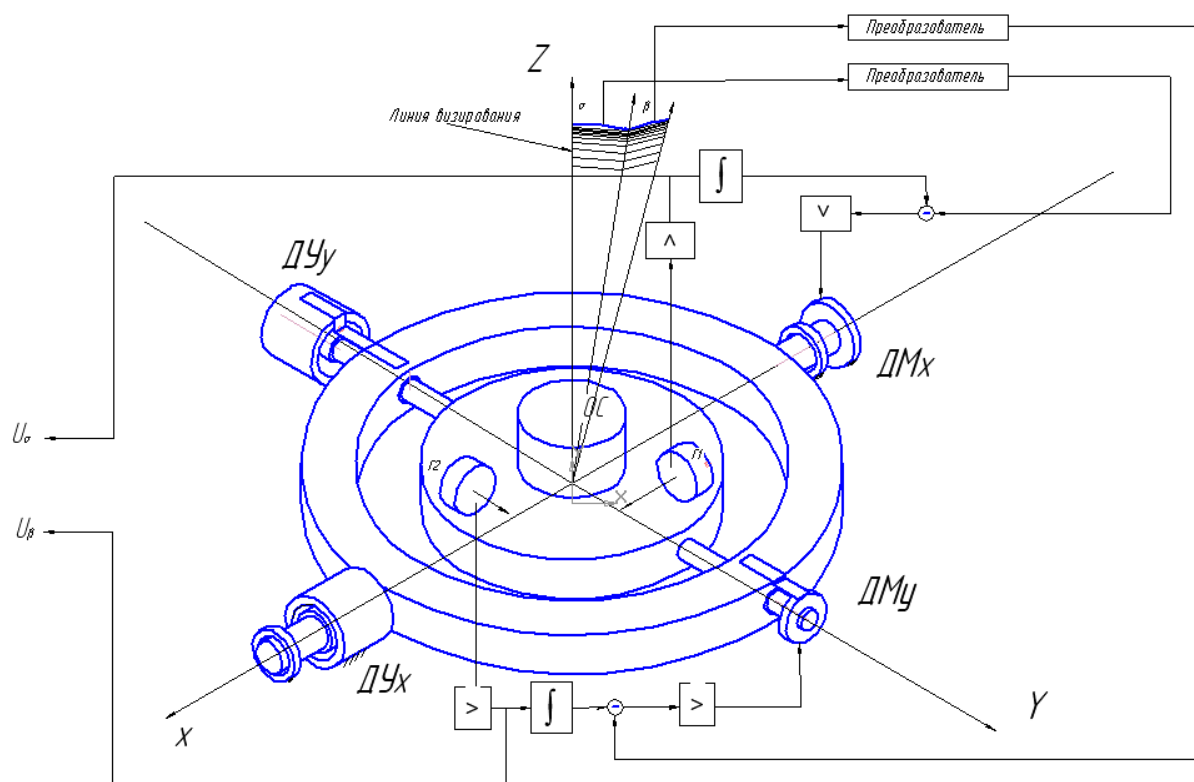
Назначение прибора

Разрабатываемый прибор предназначается для угловой стабилизации в инерциальном пространстве положения оси координатора цели (КЦ) головки самонаведения (линии визирования), управления её положением с помощью сигналов, получаемых из координатора цели, а также измерения углов отклонения и угловой скорости платформы.

При этом должны быть обеспечены следующие параметры прибора:

- установившаяся ошибка стабилизации меньше 0,5 угловых минут
- максимальная скорость управления – $10^\circ/\text{с}$
- максимальное угловое ускорение ЛВ - $4^\circ/\text{с}^2$
- максимальный пеленг цели $\pm 35^\circ$

Принцип работы



ГС состоит из платформы, с закрепленными на ней КЦ и двумя ВОГ, которая помещена в двухосный наружный карданов подвес, а также системы стабилизации и устройств вывода информации потребителям.

Принцип действия индикаторного стабилизатора на ВОГ основан на компенсации возмущающих моментов действующих на объект стабилизации (ОС) с помощью приводов стабилизации, момент развиваемый которыми компенсирует возмущающие.

При повороте ОС на установленных на нём, ВОГах вырабатывается сигнал пропорциональный угловой скорости движения ОС. Этот сигнал после интегрирования и усиления подается на приводы стабилизации, которые вырабатывают момент направленный в противоположную сторону поворота ОС.

Управление положением ОС в инерциальном пространстве осуществляется сигналами с координатора цели, который вычитаются из сигналов с ВОГ и также подаются на привод стабилизации. Сигналы с КЦ пропорциональны отклонению линии визирования от направления на цель. С помощью такой системы осуществляется слежение ЛВ за целью.

Описание конструкции ГС, ЧЭ, узлов

Описание конструкции ГС

Конструкция двухосного индикаторного гиросtabilизатора КЦ на представляет собой закрепленный на полуосях координатор цели, выполняющей роль платформы, к которому крепятся чувствительные элементы. Полуоси закрепляются в шарикоподшипниковых опорах в рамке. Также на полуоси и рамку устанавливаются датчики момента для выработки момента стабилизации и датчики угла для выработки выходных сигналов об угловом положении ЛВ.

Аналогично рама устанавливается на полуосях в шарикоподшипниковые опоры в корпусе, на котором устанавливаются блок электроники и электрический разъем.

Описание конструкции узлов ГС

Узел ДМ

Датчики момента ДМ5, ДМ10 состоит из двух механически отдельных частей – статора и ротора. Статор представляет собой магнитопровод с установленными в нём постоянными магнитами и установленным сверху коллекторно-щеточным узлом. Статор, через отверстия в оном, крепится винтами к корпусу. Также винтами крепится к статору коллекторно-щеточный узел. Ротор ДМ представляет собой магнитопровод с обмоткой, на которую через щетки подается управляющий ток. Ротор устанавливается на полуось и поджимается гайкой.

Узел ДУ

В качестве датчиков угла выбираются синусно-косинусные трансформаторы СКТ265 безкорпусного типа, которые представляют собой две отдельные механические части – ротор и статор. Ротор поджимается гайкой к полуоси, а статор к корпусу.

Описание чувствительного элемента – ВГ949П

ВГ949П является датчиком абсолютной угловой скорости.

Принцип действия ВОГ основан на зависимости времени облета света замкнутого вращающегося контура от направления обхода (эффект Саньяка-Майкельсона).

Кольцевой интерферометр конструктивно выполнен таким образом, что излучение от одного источника делится на две волны равной интенсивности I , которые распространяются в контуре в противоположных направлениях и интерферируют после его обхода. Сигнал интерференции в этом случае есть $I(1+\cos(F))$, где F – разность фазовых набегов (сдвиг фаз) волн в контуре. При вращении создается сдвиг фаз (фаза Саньяка) между встречными волнами $F=2\pi DLW/\lambda c$ (D – диаметр катушки, L – длина волокна, W – скорость вращения вокруг нормали к плоскости контура (оси чувствительности)).

Коэффициент пропорциональности между угловой скоростью и фазой Саньяка называется оптическим масштабным коэффициентом контура (K).

Величина $K(\approx 3\text{мрад}/\text{с} / \text{с})$ определяет диапазон измеряемых угловых скоростей $\Phi S < 1\text{рад}/\text{с}$, $\Phi S = KW$.

Минимальная измеряемая угловая скорость зависит от качества оптических компонентов (модуль, ответвитель, поляризатор). Ее отношение к максимальной измеряемой скорости представляет динамический диапазон ВОГ (80дБ..90дБ).

Качество оптики проявляется в максимальном подавлении всех механизмов возникновения сдвига фаз в интерферометре, кроме как вследствие вращения. Оптическая архитектура ВГ949П обеспечивает оптимальную оптическую фильтрацию сигнала для уменьшения дрейфа и повышения помехоустойчивости. Для этого излучение проходит поляризационный фильтр и на ответвителе разделяется на два встречных луча волоконного контура. После обхода контура лучи смешиваются(интерферируют) на том же ответвителе и опять проходят поляризационный фильтр, обеспечивающий идентичность(взаимность) оптических путей встречных волн в контуре. Вторым ответвителем сигнал интерференции отводится на фотоприемное устройство, сигнал которого пропорционален мощности светового потока.

Для повышения чувствительности используется пьезокерамический фазовый модулятор(ПЭТ). При питании его переменным напряжением создается дополнительный сдвиг фаз $m(T)=M*\sin(\omega t)$ за счет периодического растяжения участка волоконного контура.

При работе модулятора выходной сигнал может быть выражен в виде:

$$\begin{aligned} I(t, \Phi, M) &\approx 1 + \cos(\Phi + M\sin(\omega t)) \approx \\ &\approx J_1(M) \sin(\Phi) \sin(\omega t) + J_2(M) \cos(\Phi) \cos(2\omega t) + 1 \\ &+ J_0(M) \cos(\Phi) + Q\cos(\omega t) \end{aligned}$$

Где представлены основные составляющие сигнала ВОГ (J_n – функция Бесселя порядка n). Это – первая гармоника частоты модуляции, вторая гармоника, постоянная составляющая и сигнал квадратурной помехи (QV). Они зависят от амплитуды модуляции (M) и угловой скорости. Квадратурный сигнал (QV) также проявляется на частоте модуляции, однако он не зависит от вращения и сдвинут по фазе на 90° относительно сигнала вращения.

При вращении датчика появляется сигнал на первой гармонике, пропорциональный скорости вращения. Его величина зависит также от тока СЛД и напряжения ПЭТ. Выходное напряжение в диапазоне измеряемых скоростей ($-W_{max}...+W_{max}$) аппроксимируется соотношением:

$$U(W, t^\circ) = SF * W * [1 + s(t^\circ)] * \left[1 - p * \left(\frac{W}{W_{max}} \right)^2 \right] + B(t^\circ) + N$$

SF – крутизна системы (коэффициент между скоростью и напряжением), $B(t^\circ)$ – начальный сдвиг (зависит от температуры); N – случайная составляющая сигнала; $s(t^\circ)$ – температурная составляющая крутизны; p – параметр нелинейности.

SF является произведением ОМК (≈ 3 мрад/ $^\circ$ /с) и коэффициента преобразования электронного блока (≈ 15 В/мрад). Нелинейность преобразования нарастает квадратично на границах диапазона измерений до примерно 10-15%. Она корректируется квадратичной аппроксимацией до уровня 0.3..1%. При малых скоростях вращения нелинейность пренебрежимо мала.

Волоконно-оптический контур изготовлен из одномодового оптического волокна, сохраняющего поляризацию излучения, и имеющего следующие технические характеристики: длина поляризационных биений 5 мм; диаметр кварцевой оболочки – 45 мм; диаметр волокна в полимерном покрытии – 150 мкм; длина волокна – 100 мм; диаметр намотки – 70 мм. Внешние по отношению к жиле слои волокна выполняются из легированного кварца для придания ему определенных оптических и механических свойств. Длина и диаметр намотки определяют ОМК датчика.

Фазовый модулятор (ПЭТ) представляет собой участок волоконного контура, намотанный на пьезокерамический (ЦТС-23) цилиндр диаметром 18 мм. Рабочая частота модуляции (резонансная) 73.,83кГц, добротность не менее 150. Статическая емкость примерно 220пФ. Характеристики модулятора

зависят от температуры. Так, активное сопротивление падает с температурой, а коэффициент преобразования (соотношение между индексом фазовой модуляции и напряжением ПЗТ) соответственно возрастает. ПЗТ является электромеханической колебательной системой. Кроме основного (радиального) типа колебаний в нем существуют и другие типы колебаний, резонансные частоты которых выше 350кГц.

Волоконный биконический ответвитель 2x2 является устройством, осуществляющим оптическую связь между волокнами. Он изготовлен таким образом, что излучение, распространяющееся в одном из волокон, равномерно и практически без потерь (менее 0.3дБ) распределяется между двумя волокнами. Ответвители изготавливаются по сварной технологии непосредственно на концах контура, после чего распаиваются на кварцевых подложках для обеспечения вибро и термоустойчивости.

Волоконно-кристаллический поляризатор выполнен в виде биконического перехода (утончения) на участке волокна, заращенного анизотропным монокристаллом. Коэффициент экстинкции поляризатора (разность потерь волн с ортогональными поляризациями) более 30 дБ и потери в основной поляризации менее 1.5дБ.

Излучательный модуль - это кристалл суперлюминесцентного светодиода (СЛД), оптически согласованный с волокном. Длина волны излучения 815...830нм, оптическая мощность в волокне более 50мкВт. СЛД обладает яркостью, сопоставимой с яркостью лазерного источника, имея при этом низкую когерентность. Это последнее свойство используется в ВОГ для уменьшения начального сдвига и шума.

Все узлы и компоненты ВОГ смонтированы в корпусе, выполненном из алюминиевого сплава. Внутренняя полость ВОГ заполняется сухим азотом. Герметизация ВОГ осуществляется кремнийорганическим герметиком и механическим поджимом крышки и корпуса. Для ориентации ВОГ на объекте используется установочная поверхность (основание).

Предварительный расчет инерционных характеристик ГС

Масса элементов внутренней оси:

$$m_{\text{вн}} = m_{\text{ос}} + 2 \cdot m_{\text{вог}} + m_{\text{ду}} + m_{\text{дм}} + m_{\text{полуоси}}$$

$$m_{\text{ос}} = 2 \text{ Кг} - \text{масса объекта стабилизации}$$

$$m_{\text{вог}} = 0,05 \text{ Кг} - \text{масса чувствительного элемента (ВГ949П)}$$

$$m_{\text{ду}} = 0,144 \text{ Кг} - \text{масса ДУ}$$

$$m_{\text{дм}} = 0,170 \text{ Кг} - \text{масса ДМ}$$

$$m_{\text{полуоси}} = 0,150 \text{ Кг} - \text{масса полуоси (получена из компьютерной модели)}$$

$$m_{\text{вн}} = 2 + 2 \cdot 0,05 + 0,144 + 0,170 + 0,150 = 2,564 \text{ Кг}$$

Масса элементов наружной оси:

$$m_{\text{нар}} = m_{\text{вн}} + m_{\text{рамы}} + m_{\text{ду}} + m_{\text{дм}} + m_{\text{полуоси}}$$

$$m_{\text{рамы}} = 0,750 \text{ Кг} - \text{масса рамы (получена из компьютерной модели)}$$

$$m_{\text{нар}} = 2,564 + 0,750 + 0,144 + 0,170 + 0,150 = 3,778 \text{ Кг}$$

Моменты инерции:

При расчетах суммарных моментов инерции будем полагать что ДУ, ДМ и ВОГи являются точечными массами. Моменты инерции рамы и полуосей получим с трехмерной модели.

Моменты инерции объекта стабилизации:

$$I_x^{\text{ос}} = I_y^{\text{ос}} = 170 \text{ сН} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^2$$

$$I_z^{\text{ос}} = 190 \text{ сН} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^2$$

Моменты инерции ВОГ:

$$I_x^{\text{вог}} = m_{\text{вог}} \cdot (Z_{\text{цм1}}^2 + Y_{\text{цм1}}^2) + m_{\text{вог}} \cdot (Z_{\text{цм2}}^2 + Y_{\text{цм2}}^2)$$

$$I_y^{\text{вог}} = m_{\text{вог}} \cdot (X_{\text{цм1}}^2 + Z_{\text{цм1}}^2) + m_{\text{вог}} \cdot (X_{\text{цм2}}^2 + Z_{\text{цм2}}^2)$$

Здесь $X_{\text{цм1}}, Y_{\text{цм1}}, Z_{\text{цм1}}, X_{\text{цм2}}, Y_{\text{цм2}}, Z_{\text{цм2}}$ - координаты центра масс ВОГов относительно центра подвеса.

$$X_{\text{цм1}} = 0 ; Y_{\text{цм1}} = 57 ; Z_{\text{цм1}} = -47$$

$$X_{\text{цм2}} = 53 ; Y_{\text{цм2}} = 0 ; Z_{\text{цм2}} = 0$$

таким образом

$$I_x^{\text{ВОГ}} = 0,05 \cdot (47^2 + 57^2) + 0,05 \cdot (0 + 0) = 2,73 \text{ сН} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^2$$

$$I_y^{\text{ВОГ}} = 0,05 \cdot (0 + 57^2) + 0,05 \cdot (53^2 + 0) = 2,5 \text{ сН} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^2$$

Моменты инерции ДУ и ДМ

$$I_x^{\text{ДУ ДМ}} = m_{\text{ДУ}} \cdot (Z_{\text{цм_ДУ}}^2 + Y_{\text{цм_ДУ}}^2) + m_{\text{ДМ}} \cdot (Z_{\text{цм_ДУ}}^2 + Y_{\text{цм_ДУ}}^2)$$

$$Z_{\text{цм_ДУ}} = 0 ; Y_{\text{цм_ДУ}} = 83$$

$$Z_{\text{цм_ДМ}} = 0 ; Y_{\text{цм_ДМ}} = 88$$

$$I_x^{\text{ДУ ДМ}} = 0,144 \cdot (0 + 83^2) + 0,170 \cdot (0 + 88^2) = 23,085 \text{ сН} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^2$$

Моменты инерции полуосей:

$$I_x^{\text{полуосей}} = 7,651 \text{ сН} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^2$$

$$I_y^{\text{полуосей}} = 0,25 \text{ сН} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^2$$

Моменты инерции рамы:

$$I_x^{\text{рамы}} = 21,13 \text{ сН} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^2$$

$$I_y^{\text{рамы}} = 42,08 \text{ сН} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^2$$

Суммарные моменты инерции:

$$I_x^{\text{нар}} = I_x^{\text{ОС}} + I_x^{\text{ВОГ}} + I_x^{\text{полуосей}} + I_x^{\text{рамы}} + I_x^{\text{ДУ ДМ}} = 224,591 \text{ сН} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^2$$

$$I_y^{\text{вн}} = I_y^{\text{ОС}} + I_y^{\text{ВОГ}} + I_y^{\text{полуосей}} = 172,759 \text{ сН} \cdot \text{см} \cdot \text{с}^2$$

Расчет вредных моментов, действующих вокруг осей стабилизации

Расчет моментов трения

Моменты трения, действующие вокруг осей карданова подвеса (КП), определяются трением в токоподводах и датчиках угла контактного типа (если таковые используются), трением в опорах КП и моментами трения в двигателях разгрузки, приведенными к осям КП. Моменты трения контактных датчиков и токоподводах, применяемых сравнительно редко, представляют даже при большом количестве токоподводов относительно малые величины из-за небольших контактных давлений. Моменты трения, возникающие в двигателях разгрузки, имеют величины, сравнимые с моментами трения в опорах для приводов разгрузки с пневматическими ДМ, в которых применяют специальные уплотнения для повышения эффективности работы датчиков, и для приводов разгрузки с коллекторными двигателями постоянного тока, где контактные давления щеток являются достаточно большими. Последние моменты указываются в технических условиях (ТУ) на двигатели непосредственно или в виде напряжения трогания двигателя, приводимого к моменту с учетом крутизны моментной характеристики. Моменты трения в контактных датчиках и токоподводах, и моменты трения в двигателях разгрузки на практике мало зависят от условий полета ЛА.

Для большинства конструкций гиросtabilизаторов, как показывает практика разработок, эти моменты, приведенные к осям КП, даже при достаточно больших передаточных числах в редукторах разгрузки, имеют меньшие значения, по сравнению с моментами трения в опорах КП.

Как правило, в качестве опор осей КП 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 сопротивлением движению 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. Вычисляется момент трения по формуле:

$$M^{mp} = M_0 + 500 \cdot (k_1 + k_2) + k_2 \cdot R + k_3 \cdot A$$

M^{mp} – момент трения

M_0 – момент трения ненагруженного подшипника

R - радиальная нагрузка

A – осевая нагрузка

Величины осевых и радиальных нагрузок на подшипники определяются весом рам КП и установленных на нём элементов, проекциями линейного ускорения ЛА на связанные оси и углами поворота рам КП на различных участках полета.

Предварительная оценка величин радиальной и осевой нагрузки, действующей на внутренние и наружные опоры:

$$R_{вн} = \frac{m_{вн} \cdot n \cdot g}{2} = \frac{2.564 \cdot 4 \cdot 9.8}{2} = 5031 \text{ сН}$$

$$R_{нар} = \frac{m_{нар} \cdot n \cdot g}{2} = \frac{3.778 \cdot 4 \cdot 9.8}{2} = 7412 \text{ сН}$$

$$A_{вн} = 2 \cdot m_{вн} \cdot n \cdot g = 2 \cdot 2.564 \cdot 4 \cdot 9.8 = 20120 \text{ сН}$$

$$A_{нар} = 2 \cdot m_{нар} \cdot n \cdot g = 2 \cdot 3.778 \cdot 4 \cdot 9.8 = 29625 \text{ сН}$$

$R_{вн}, A_{вн}$ – радиальная и осевая нагрузка, действующая на внутренние опоры

$R_{нар}, A_{нар}$ – радиальная и осевая нагрузка, действующая на внутренние опоры

Значения коэффициентов M_0, k_1, k_2, k_3 приведены в таблице:

Диаметр оси, мм	$M_0, \text{г} \cdot \text{см}$		$k_1, \text{см}$		$k_2, \text{см}$		$k_3,$ см
	Одноряд- ные	Двухряд- ные	Одноряд- ные	Двухряд- ные	Одноряд- ные	двухрядны е	
5	–	8,9	0,0156	0,0163	0,0016	0,0075	0,005
6	–	7,8	0,0099	0,0110	0,0013	0,0022	0,005
7	5,6	7,0	0,0094	0,0104	0,0018	0,0026	0,006
8	–	7,0	0,0091	0,0095	0,0023	0,0035	0,006
10	7,2	9,2	0,0069	0,0088	0,0035	0,0052	0,008
12	10,8	14,1	0,0124	0,0160	0,0050	0,0092	0,0010

В качестве опор выберем подшипники 1000901 ГОСТ 8338-75 с внутренним диаметром 12 мм.

$$M_0 = 10,8 \text{ сН} \cdot \text{см}$$

$$k_1 = 0,0124 \text{ см}$$

$$k_2 = 0,005 \text{ см}$$

$$k_3 = 0,01 \text{ см}$$

Тогда момент трения по внутренней оси:

$$M_{\text{вн}}^{\text{тр}} = 2 \cdot [M_0 + 500 \cdot (k_1 + k_2) + k_2 \cdot R_{\text{вн}}] + k_3 \cdot A_{\text{вн}}$$

$$M_{\text{вн}}^{\text{тр}} = 2 \cdot [10,8 + 500 \cdot (0,0124 + 0,005) + 0,005 \cdot 5031] + 0,01 \cdot 20120$$

$$M_{\text{вн}}^{\text{тр}} = 290,73 \text{ сН} \cdot \text{см};$$

по наружной оси:

$$M_{\text{нар}}^{\text{тр}} = 2 \cdot [M_0 + 500 \cdot (k_1 + k_2) + k_2 \cdot R_{\text{нар}}] + k_3 \cdot A_{\text{нар}}$$

$$M_{\text{нар}}^{\text{тр}} = 2 \cdot [10,8 + 500 \cdot (0,0124 + 0,005) + 0,005 \cdot 7412] + 0,01 \cdot 29625$$

$$M_{\text{нар}}^{\text{тр}} = 401 \text{ сН} \cdot \text{см};$$

Расчет моментов тяжения токоподводов

Современные гиросtabilизаторы являются сложными электромеханическими устройствами, следовательно для обеспечения функционирования как самих стабилизаторов, так и стабилизируемых приборов, устанавливаемых на платформе, требуется передача большого количества электрических сигналов. Используются токоподводы на каждой оси стабилизации. Количество необходимых токоподводов достигает нескольких десятков, причем передаваемые по ним токи лежат в пределах от долей миллиампера, до десятков ампер (в цепи питания гиromотора). Конструкцией токоподводов должна быть обеспечена высокая надежность передачи сигналов через них в условиях жестких эксплуатационных воздействий (линейные ускорения и вибрации) и при больших углах поворота КП.

При выборе типа токоподвода для гиросtabilизаторов величины моментов, создаваемых ими не играют определяющей роли, в отличие от других гироскопических приборов, так как используются системы разгрузки. Применяются два типа токоподводов: многоконтактные коллекторные и различные типы гибких проводников. Коллекторные токоподводы применяют тогда, когда необходимо получать в стабилизаторе большие углы поворота (например, больше 120°). Работа скользящих контактов сопровождается рядом сложных физических процессов: износ и трение, нагрев зоны контактирования, образование и разрушение пленок на контактирующих поверхностях, электротермическая эрозия контактов и т.д. Токоподводы с гибкими проводниками обеспечивают высокую надежность работы. Габариты токоподводящего узла при большом количестве проводников малы. Момент, создаваемый такими токоподводами, пропорционален углам поворота рам КП и при правильном выборе типа проводников и конструкции является относительно небольшим. Уменьшение момента, а также обеспечение работы стабилизатора при неограниченном угле поворота платформы вокруг осей КП можно получить с помощью следящей системы, разворачивающей часть токоподводов, расположенную на корпусе, вслед за поворотом части, закрепленной на подвижной системе. Применяются три конструктивных типа гибких токоподводов:

- 1) жгуты проводников, расположенных вдоль оси вращения (для каждой из осей КП – свой жгут). Для получения малых упругих моментов, проводники имеют запас по длине, обеспечивающий их свободное скручивание;

2) свободный жгут проводников, который может изгибаться во всех направлениях при поворотах платформы КП и имеет соответствующий запас по длине;

3) барабан со спирально уложенными рядами проводников, которые при поворотах скручиваются или раскручиваются. Для уменьшения габаритов и упрощения конструкции применяют специальные многожильные ленточные провода. Так же, как и в первой конструкции, обеспечивается поворот только вокруг одной оси.

При изгибе и скручивании проводников возникают как упругие моменты, так и моменты трения из-за взаимного перемещения проводников в жгуте.

При соответствующем выборе материалов изоляции проводов моменты трения удастся уменьшить до величины, пренебрежимо малой по сравнению с моментами трения в опорах КП. Для уменьшения упругих моментов применяют провода малого сечения.

В случае несимметричных углов отклонения рам КП (или при работе гиросtabilизатора в течение большей части полета с ненулевыми углами поворота КП) применяют предварительный разворот части токоподвода, установленной на корпусе, что позволяет получить малые моменты в основной рабочей зоне углов.

Так как величина моментов сопротивления всех приведенных типов гибких токоподводов существенно зависит от конструкции и технологии изготовления, то моменты сопротивления обычно определяют по данным испытаний макетов узлов токоподводов или по экспериментальным данным для приборов-аналогов.

Поскольку максимальный угол поворота наружной рамы и платформы от нулевого положения (угол прокачки) составляет значение $\varphi = 35^\circ$, что меньше 180° , то мы будем использовать жгут из гибких проводников.

Момент тяжения жгута определяется по формуле:

$$M_{\text{ТП}} = \frac{k_{\text{ТП}} \cdot N}{l_{\text{ТП}}} \cdot \alpha$$

$$k_{\text{ТП}} = 5 - 8 \left[\frac{\text{сН} \cdot \text{см}^2}{\text{рад}} \right] - \text{эмпирический коэффициент}$$

N – количество токоподводов

$l_{\text{ТП}}$ [см] – длина токоподвода между местами заделки проводов

α [рад] – угол поворота

Максимального значения момент тяжения достигает при угле поворота равном углу прокатки, то есть

$$\alpha = 35^\circ = 0,61 \text{ рад}$$

примем $k_{\text{ТП}} = 8$

количество проводов идущих по внутренней и наружной оси:

$$N_{\text{вн}} = 23$$

$$N_{\text{нар}} = 29$$

длину токоподводов между местами их заделок проводов по внутренней и наружной оси:

$$l_{\text{вн}} = 3.6 \text{ см}$$

$$l_{\text{нар}} = 3.6 \text{ см}$$

Тогда моменты тяжения токоподводов по внутренней оси:

$$M_{\text{вн}}^{\text{ТП}} = \frac{8 \cdot 23}{3.6} \cdot 0,61 = 29.8 \text{ сН} \cdot \text{см}$$

$$M_{\text{нар}}^{\text{ТП}} = \frac{8 \cdot 29}{3.6} \cdot 0,61 = 36.6 \text{ сН} \cdot \text{см}$$

Расчет моментов остаточной несбалансированности

Балансировку вращающихся частей гиросtabilизатора (платформы, рамы карданова подвеса) производят при сборке прибора либо на собственных подшипниках при уменьшении моментов сопротивления и трения вокруг осей карданова подвеса (посредством снятия предварительного натяга подшипников, введения технологической вибрации во время балансировки и др.), либо на специальных приспособлениях. При линейных перегрузках неточность балансировки наряду с моментом трения в опорах создает значительную часть возмущающих моментов, уравниваемых системой стабилизации. При расчетах возмущающих моментов определяют максимальную величину моментов от остаточной несбалансированности.

Считаем, что балансировка проводится в собственных опорах при снятом осевом натяге.

Величины максимальных моментов относительно внутренней и наружной осей:

$$M_{\text{вн}}^{\text{НБ}} = \Delta_{\text{вн}} \cdot n$$

$$M_{\text{нар}}^{\text{НБ}} = \Delta_{\text{нар}} \cdot n$$

где $\Delta_{\text{вн}}$ и $\Delta_{\text{нар}}$ - остаточные моменты несбалансированности во внутренних и наружных осях, компенсируемые при балансировке силами трения, n – перегрузка.

Остаточные моменты несбалансированности рассчитаем по формуле:

$$\Delta_{\text{вн}} = 2 \cdot [M_0 + 500 \cdot (k_1 + k_2) + k_2 \cdot R_{\text{вн}}^0]$$

$$\Delta_{\text{нар}} = 2 \cdot [M_0 + 500 \cdot (k_1 + k_2) + k_2 \cdot R_{\text{нар}}^0]$$

$R_{\text{вн}}^0$ и $R_{\text{нар}}^0$ - радиальные нагрузки, вызванные силой тяжести, действующие на внутренние и наружные опоры.

$$R_{\text{вн}}^0 = \frac{1}{2} \cdot m_{\text{вн}} \cdot g = 0.5 \cdot 2.562 \cdot 9.8 = 1258 \text{ cH}$$

$$R_{\text{нар}}^0 = \frac{1}{2} \cdot m_{\text{нар}} \cdot g = 0.5 \cdot 3.768 \cdot 9.8 = 1853 \text{ cH}$$

тогда

$$\Delta_{\text{вн}} = 2 \cdot [10,8 + 500 \cdot (0,0124 + 0,005) + 0,005 \cdot 1258] = 51.58 \text{ cH} \cdot \text{см}$$

$$\Delta_{\text{нар}} = 2 \cdot [10,8 + 500 \cdot (0,0124 + 0,005) + 0,005 \cdot 1853] = 57.53 \text{ cH} \cdot \text{см}$$

Тогда моменты остаточной несбалансированности по внутренней и наружной оси:

$$M_{\text{вн}}^{\text{НБ}} = 51.58 \cdot 4 = 206.306 \text{ cH} \cdot \text{см}$$

$$M_{\text{нар}}^{\text{НБ}} = 57.53 \cdot 4 = 230.124 \text{ cH} \cdot \text{см}$$

Расчет моментов неравножесткости

Карданов подвес стабилизатора состоит из упругих элементов (рам, осей, цапф, подшипников), при деформации которых появляются силы внутреннего трения. Под влиянием сил инерции, возникающих при движении основания (ЛА) с ускорением, происходят упругие деформации элементов КП и относительные перемещения его рам. Направления перемещений из-за различной жесткости элементов в разных направлениях обычно не совпадают с линией действия сил инерции, вследствие чего возникают моменты вокруг осей КП гиросtabilизатора. При вибрации основания, на котором установлен прибор, на величину отклонения элементов его конструкции, т.е. на амплитуду вынужденных колебаний, влияют силы внутреннего трения в элементах, демпфирующие их колебания. Если при разработке гиросtabilизаторов применяются специальные меры по обеспечению требуемой жесткости рам КП, то величина упругости КП определяется в значительной мере упругостью подшипников подвеса. Поэтому при расчете гиросtabilизаторов принимают упрощенную кинематическую схему КП, в которой предполагают, что элементами, определяющими упругие деформации, являются цапфы и подшипники, т.е. вместо схем с распределенными упругостями рассматривают схемы с упругостью, сосредоточенной в опорах КП. Заметим, что жесткостные характеристики подшипников трудно поддаются расчету и обычно являются экспериментальными данными.

При расчете будем считать что ускорение по осям равно и максимально, а радиальная и продольная жесткость шарикоподшипников соответственно равна: $C_r = 3.7 \cdot 10^7 \frac{\text{H}}{\text{м}}$, $C_a = 2,3 \cdot 10^7 \frac{\text{H}}{\text{м}}$.

$$M_{\text{вн}}^{\text{НЖ}} = m_{\text{вн}}^2 \cdot n_z \cdot n_x \cdot g^2 \cdot \left(\frac{1}{C_a^2} - \frac{1}{C_r^2} \right)$$

$$M_{\text{нар}}^{\text{НЖ}} = m_{\text{нар}}^2 \cdot n_z \cdot n_y \cdot g^2 \cdot \left(\frac{1}{C_a^2} - \frac{1}{C_r^2} \right)$$

$$M_{\text{вн}}^{\text{НЖ}} = 2,564^2 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 9.8^2 \cdot \left(\frac{1}{(2,3 \cdot 10^7)^2} - \frac{1}{(3.7 \cdot 10^7)^2} \right)$$

$$M_{\text{нар}}^{\text{НЖ}} = 3,778^2 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 9.8^2 \cdot \left(\frac{1}{(2,3 \cdot 10^7)^2} - \frac{1}{(3.7 \cdot 10^7)^2} \right)$$

$$M_{\text{вн}}^{\text{НЖ}} = 1,665 \text{ сН} \cdot \text{см}$$

$$M_{\text{нар}}^{\text{НЖ}} = 3,616 \text{ сН} \cdot \text{см}$$

Расчет инерционных моментов рам корданова подвеса

Двухосный гиросtabilизатор стабилизирует в пространстве ось Oz_{II} , связанную с платформой. При угловых движениях основания в двухосном гиросtabilизаторе вследствие особенности кинематики КП наружная и внутренняя рамы поворачиваются вокруг стабилизированной оси с переменной угловой скоростью даже при постоянной угловой скорости поворота основания. Движение с переменной угловой скоростью есть движение с некоторым ускорением, которое вызывает инерционный момент, действующий вокруг оси наружной рамы КП.

Если в силовых гиросtabilизаторах моменты внешних сил, изменяющихся с высокой частотой, уравниваются как системой разгрузки, так и гироскопическим и инерционным моментами, то в индикаторных стабилизаторах компенсация знакопеременных моментов внешних сил, также как и постоянных, полностью должна быть обеспечена системой разгрузки. Поэтому, знание этих моментов при проектировании индикаторных стабилизаторов весьма существенно.

$$M^{IH} = (I_x^{нар} + I_y^{вн}) \left(\gamma \frac{\pi}{180} \right) (2\pi f)^2 \tan \beta_0 \sin(2\pi f t)$$

Максимальное значение

$$M^{IH} = 1687 \text{ сН} \cdot \text{см}$$

Подсчёт суммарных возмущающих моментов и выбор двигателей разгрузки

По внутренней оси:

$$M_{\Sigma}^{вн} = M_{вн}^{HЖ} + M_{вн}^{HB} + M_{вн}^{тп} + M_{вн}^{тр} = 1,665 + 206.306 + 29.8 + 290.73 \\ = 528 \text{ сН} \cdot \text{см}$$

По наружной оси:

$$M_{\Sigma}^{нар} = M^{IH} + M_{нар}^{HЖ} + M_{нар}^{HB} + M_{нар}^{тп} + M_{нар}^{тр} \\ = 1687 + 3,616 + 230.124 + 36.6 + 401 = 2267 \text{ сН} \cdot \text{см}$$

Выбор привода стабилизации

По ТЗ заданы следующие типы приводов стабилизации:

по внутренней оси – безредукторный привод

по наружной оси – редукторный безлюфтовый

Привод будем выбирать по пусковому или максимальному моменту. По внутренней оси подходит датчик момента ДМ5:

Двигатель	Крутизна, сН*см/А	I _{max} , А	I _{ном} , А	Вес, г	M _{max} , сН*см
ДМ-5	1100±200	1,3	0,6	170	1430

По наружной оси выбираем датчик момента ДМ10:

Двигатель	Крутизна, сН*см/А	I _{max} , А	I _{ном} , А	Вес, г	M _{max} , сН*см
ДМ-10	2600±200	1,5	0,6	350	4000

Определим запасы по моменту:

$$\text{по внутренней оси: } n_{\text{вн}} = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\Sigma}^{\text{вн}}} = \frac{1430}{528} = 2,7$$

$$\text{по наружной оси: } n_{\text{нар}} = \frac{M_{\text{п}}}{M_{\Sigma}^{\text{нар}}} = \frac{4000}{2267} = 1,8$$

Математическая модель каналов ГС

В данном разделе учитывается собственное движение ГС, характеризующееся колебаниями вокруг осей стабилизации при действии возмущающего момента. Исследование устойчивости гиросtabilизатора проведем для каждого канала, полагая при этом, что взаимосвязь между каналами отсутствует. Необходимо уточнить, что сигналы с ВОГ являются данными об угловой скорости, а не угловом положении. Интегрирование производится с помощью апериодического звена с большой постоянной времени, что делает его влияние на ЛАХ системы в области исследуемых частот незначительными.

Математические уравнения такой системы по наружной и внутренней оси в форме Лапласа имеют следующий вид:

$$I_x^{\text{нар}} \cdot S^2 \cdot \beta + D_{\text{нар}}^{\text{пр}} \cdot S \cdot \beta + K_{\text{нар}}^c \cdot \beta = M_x^{\text{вр}}$$

$$I_y^{\text{вн}} \cdot S^2 \cdot \alpha + D_{\text{вн}} \cdot S \cdot \alpha + K_{\text{вн}}^c \cdot \alpha = M_y^{\text{вр}}$$

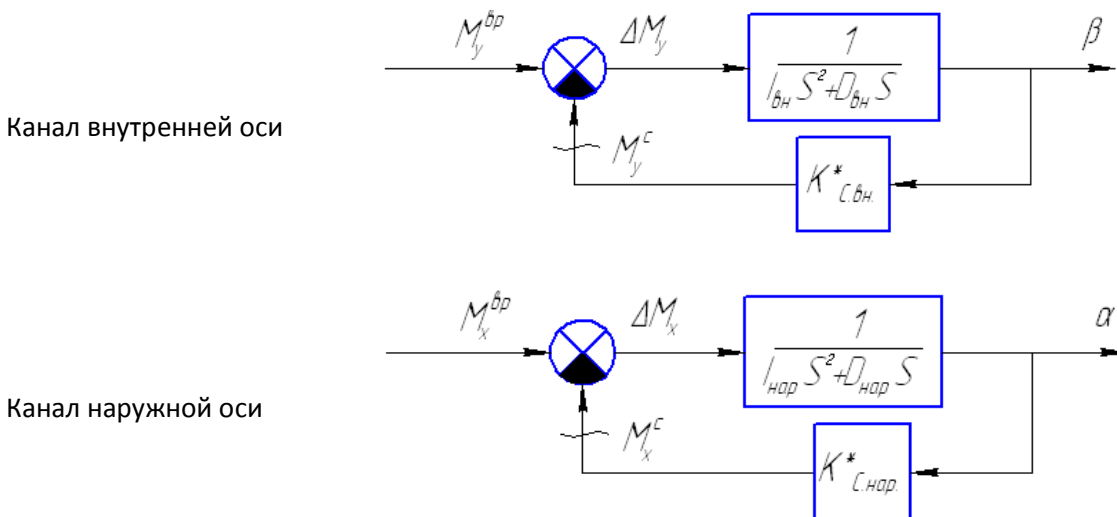
где $I_x^{\text{нар}}, I_y^{\text{вн}}$ - суммарные приведенные моменты инерции по наружной и внутренней осям;

$D_{\text{нар}}^{\text{пр}}, D_{\text{вн}}$ - приведенные моменты инерции по наружной и внутренней осям;

$K_{\text{нар}}^c, K_{\text{вн}}^c$ - коэффициенты усиления обратной связи каналов стабилизации по наружной и внутренней осям;

$M_x^{\text{вр}}, M_y^{\text{вр}}$ - суммарные возмущающие моменты.

Структурные схемы каналов стабилизации для такой системы имеют вид:



Рассчитаем параметры входящие в структурную схему.

Исходные данные для расчета : угловая погрешность стабилизации

$$\Delta\beta = \Delta\alpha < 0.5' = 1.454 \cdot 10^{-4} \text{ рад}$$

Коэффициенты усиления обратной связи:

$$K_{\text{вн}}^c = \frac{M_{\Sigma}^{\text{вн}}}{\Delta\beta} = \frac{528}{1.454 \cdot 10^{-4}} = 3,634 \cdot 10^6 \frac{\text{сН} \cdot \text{см}}{\text{рад}}$$

$$K_{\text{нар}}^c = \frac{M_{\Sigma}^{\text{нар}}}{\Delta\alpha} = \frac{2267}{1.454 \cdot 10^{-4}} = 1,704 \cdot 10^7 \frac{\text{сН} \cdot \text{см}}{\text{рад}}$$

Возьмем запас по коэффициенту усиления $n_{\varepsilon} = 1.2$

$$K_{\text{с вн}}^* = K_{\text{вн}}^c \cdot n_{\varepsilon} = 4,608 \cdot 10^6 \cdot 1.2 = 4,36 \cdot 10^6 \frac{\text{сН} \cdot \text{см}}{\text{рад}}$$

$$K_{\text{с нар}}^* = K_{\text{нар}}^c \cdot n_{\varepsilon} = 4,608 \cdot 10^6 \cdot 1.2 = 2,045 \cdot 10^7 \frac{\text{сН} \cdot \text{см}}{\text{рад}}$$

Постоянные времени:

$$T_{\text{п вн}} = \frac{I_y^{\text{вн}}}{D_{\text{вн}}} = \frac{172,76}{3,15} = 54,82 \text{ с}$$

$$T_{\text{п нар}} = \frac{I_x^{\text{нар}}}{D_{\text{нар}}^{\text{пр}}} = \frac{225,1}{30,55} = 7,37 \text{ с}$$

Добротности по скорости:

$$K_{\text{вн}}^v = \frac{K_{\text{с вн}}^*}{D_{\text{вн}}} = \frac{5,53 \cdot 10^6}{3,15} = 1,755 \cdot 10^6 \frac{1}{\text{с}}$$

$$K_{\text{нар}}^v = \frac{K_{\text{с нар}}^*}{D_{\text{нар}}^{\text{пр}}} = \frac{2,113 \cdot 10^6}{30,55} = 6,916 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{с}}$$

Исследование устойчивости ГС

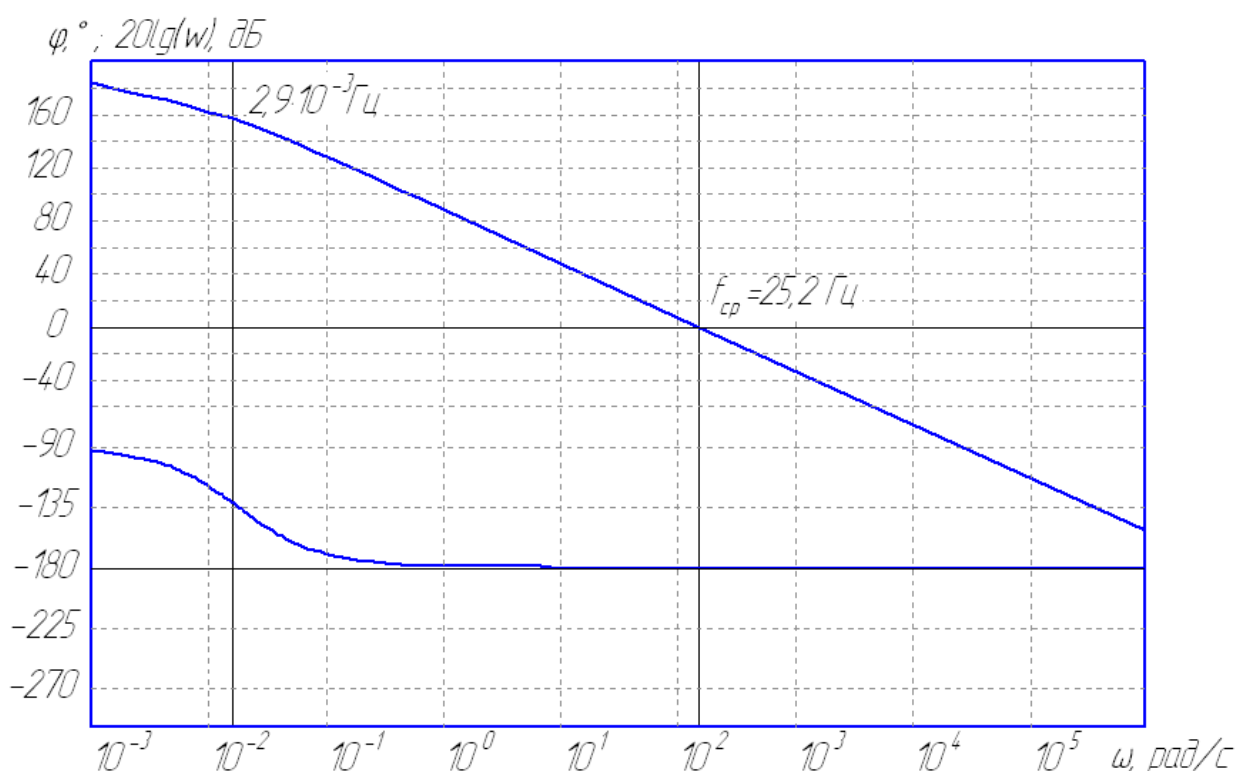
Исследование устойчивости произведем по критерию Найквиста с использованием логарифмических амплитудночастотных и фазочастотных характеристик (ЛАФЧХ) разомкнутой системы.

По каналу внутренней оси

Передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

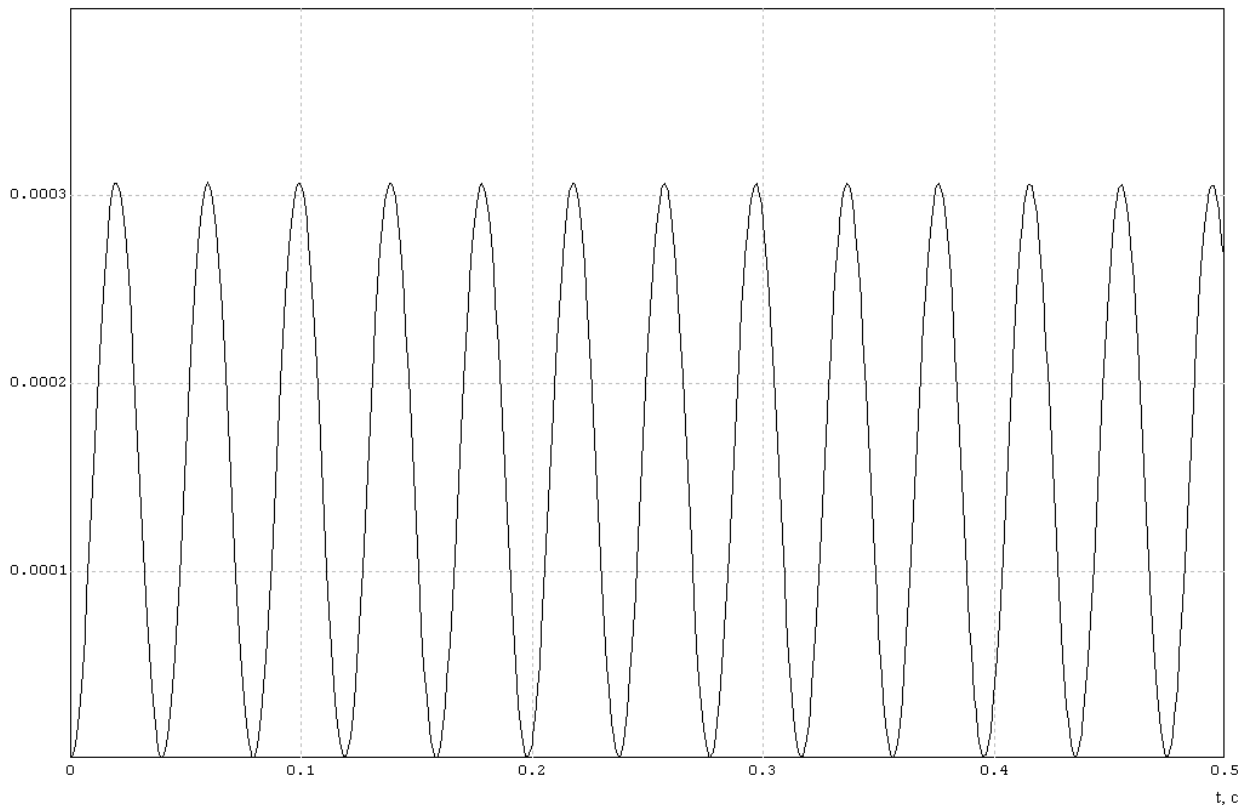
$$W(S) = \frac{K_{с\text{вн}}^*}{D_{\text{вн}} \cdot S} \cdot \frac{1}{T_{п\text{вн}} \cdot S + 1} = \frac{1,755 \cdot 10^6}{S} \cdot \frac{1}{54,82 \cdot S + 1}$$

ЛАФЧХ такой системы имеет вид:



ЛФЧХ не пересекает уровень -180° , а лишь стремится к нему. Запас по фазе в данном случае стремится к нулю ($\Delta\varphi \rightarrow 0$), а запас по амплитуде, напротив, стремится к бесконечности ($\Delta L \rightarrow \infty$). В целом это говорит о том, что система находится на границе устойчивости и требует коррекции. Это можно подтвердить экспериментально построив график переходного процесса средствами компьютерного моделирования.

Переходной процесс нескорректированной системы:



Чтобы увеличить запас по фазе, необходимо ввести корректирующее дифференцирующее звено $W_{\text{диф}}(S) = T_{1\text{диф}} \cdot S + 1$. Если правильно выбрать постоянные времени $T_{1\text{вн}}$ и $T_{2\text{вн}}$, мы обеспечим необходимый запас устойчивости и, тогда на частоте среза ЛАЧХ будет пересекать ось 0 дБ под

$$W_{\text{анеп}}(S) = \frac{1}{T_2 \cdot S + 1}$$

наклоном -20 дБ/дек. Введением апериодического звена на несколько большей частоте вернем систему в исходное состояние. Также для подавления возникающих в контуре обратной связи высокочастотных

помех введем ещё одно апериодическое звено $W_{\text{диф}}(S) = \frac{1}{T_{3\text{диф}} \cdot S + 1} \cdot T_{3\text{вн}}$

выберем меньше $T_{2\text{вн}}$.

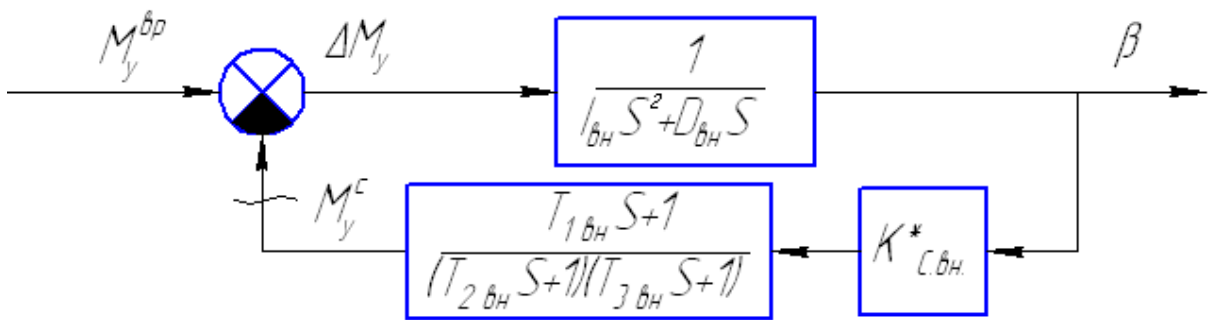
Постоянные времени корректирующего звена:

$$T_{1\text{вн}} = 0,008 \text{ с}; \quad T_{2\text{вн}} = 0.0002 \text{ с}; \quad T_{3\text{вн}} = 0.00002 \text{ с}.$$

Передаточная функция такого корректирующего звена будет иметь вид:

$$W_{\text{кор.вн.}} = \frac{T_{1\text{вн}}s + 1}{T_{2\text{вн}}s + 1} \cdot \frac{1}{T_{3\text{вн}}s + 1} = \frac{0.008s + 1}{0.0002s + 1} \cdot \frac{1}{0.00002s + 1}$$

Структурная схема канала с введенной коррекцией:

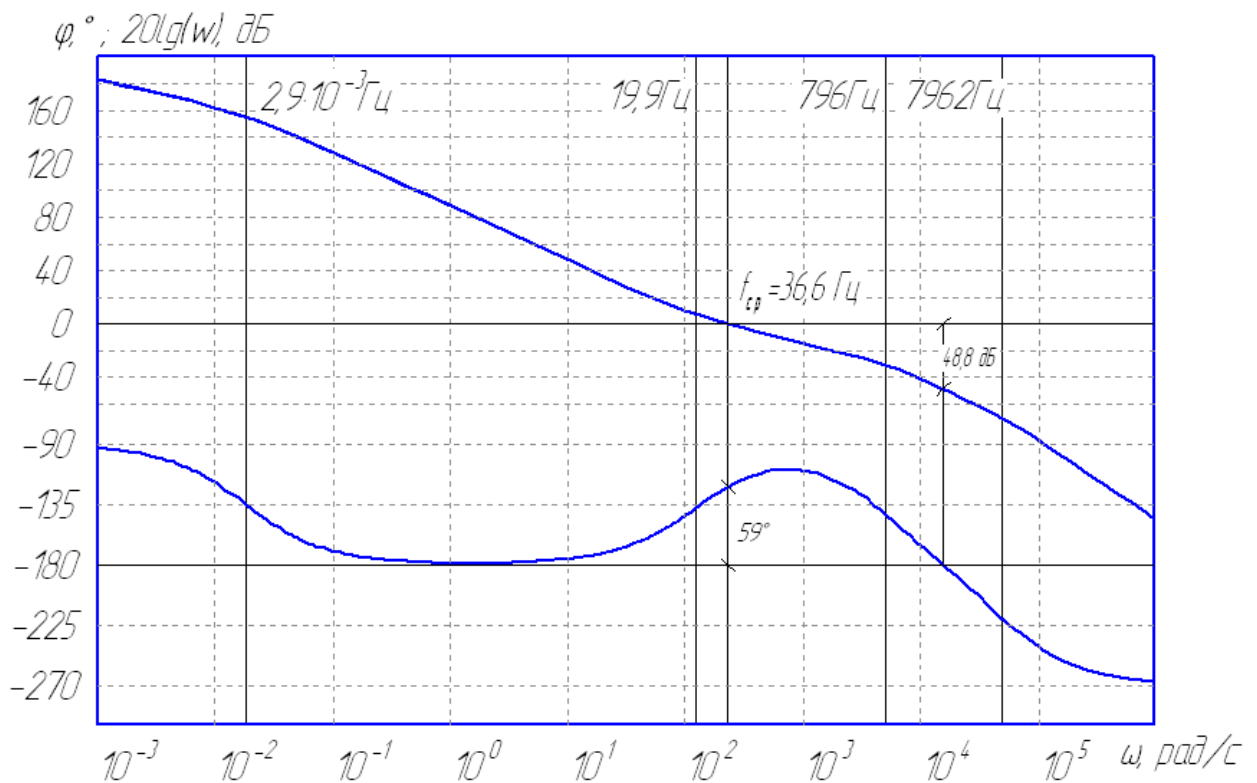


Передаточная функция разомкнутой скорректированной системы:

$$W_{\text{скор}}(S) = \frac{K_{\text{с.вн}}^*}{D_{\text{вн}} \cdot S} \cdot \frac{1}{T_{\text{п.вн}} \cdot S + 1} \cdot \frac{T_{1 \text{ вн}} S + 1}{T_{2 \text{ вн}} S + 1} \cdot \frac{1}{T_{3 \text{ вн}} S + 1}$$

$$W_{\text{скор}}(S) = \frac{1.755 \cdot 10^6}{S} \cdot \frac{1}{54,82 \cdot S + 1} \cdot \frac{0,008s + 1}{0,0002s + 1} \cdot \frac{1}{0,00002s + 1}$$

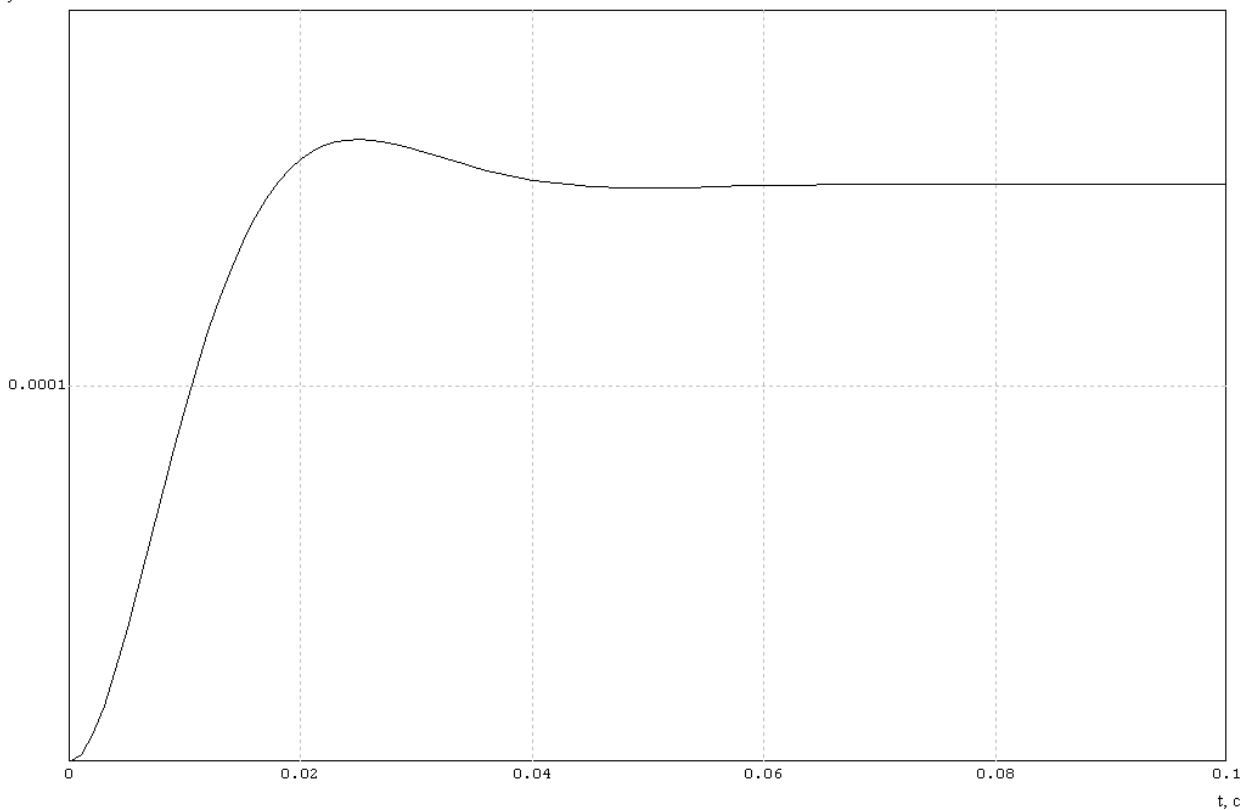
ЛАФЧХ скорректированной системы имеет вид:



В результате корректировки получены следующие запасы:

- по фазе $\Delta\varphi = 59^\circ$
- по амплитуде $\Delta L = 48,8 \text{ дБ}$

Переходный процесс скорректированной системы:



Переходной процесс устойчив. Время регулирования $t_{п.вн} = 0,05$ с.

Величина перерегулирования $\sigma = 9\%$

По результатам эксперимента можно сделать вывод, что корректировка достигла своей цели.

Поскольку при построении переходного процесса на вход системы подавалось ступенчатое воздействие по величине равное суммарному возмущающему моменту, установившееся значение будет равно ошибке стабилизации.

Таким образом, полученная ошибка стабилизации по внутренней оси:

$$\beta_{уст} = 0,00012 \text{ рад} = 0.41' < \Delta\beta$$

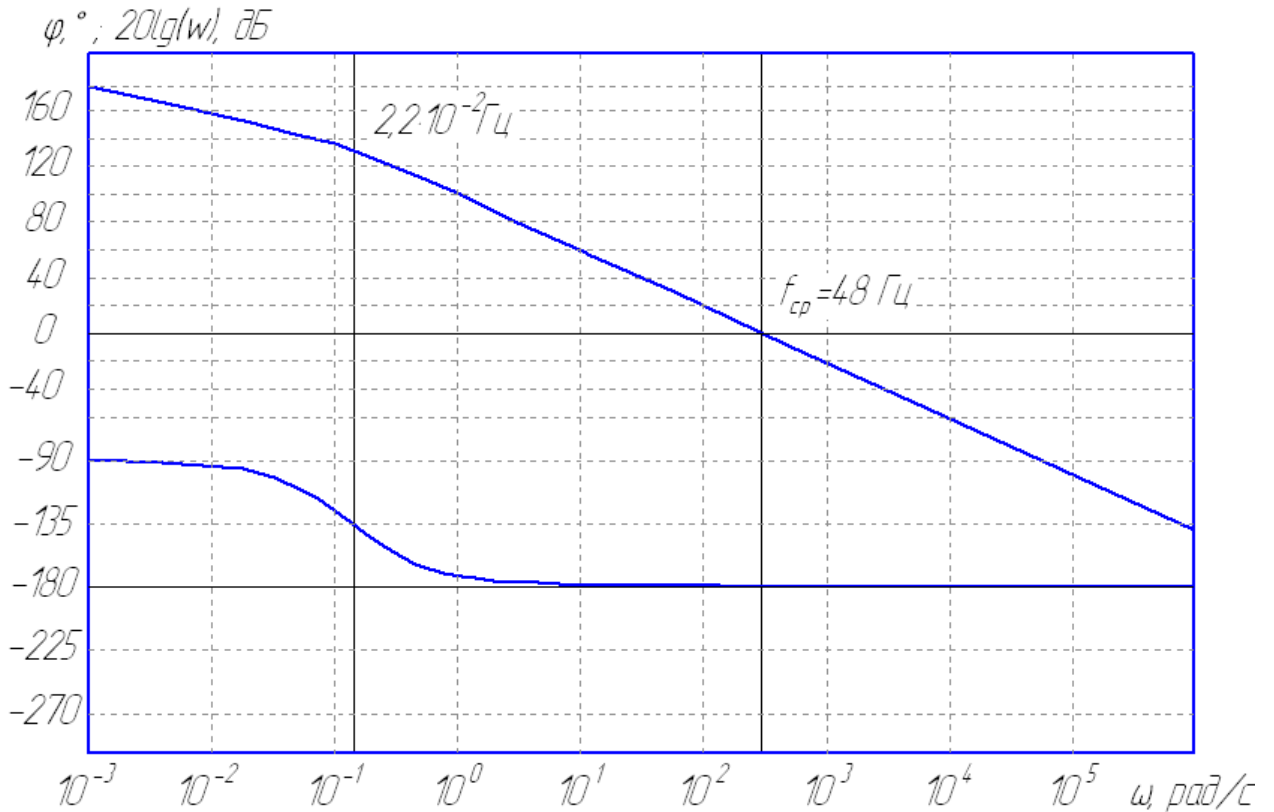
Так как установившееся значение ошибки меньше заданной по ТЗ, можно утверждать, что требования ТЗ по точности выполнены.

По каналу наружной оси

Передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

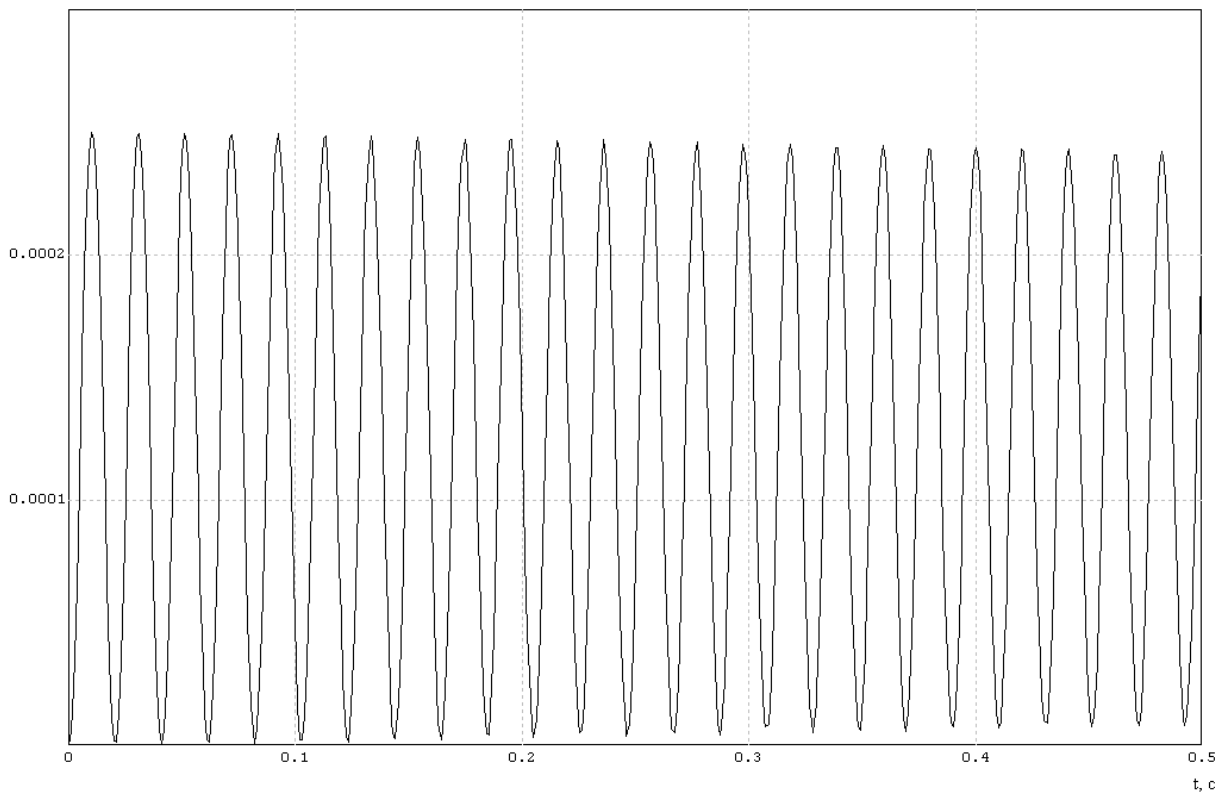
$$W(S) = \frac{K_{с\text{ нар}}^*}{D_{нар} \cdot S} \cdot \frac{1}{T_{п\text{ нар}} \cdot S + 1} = \frac{6,916 \cdot 10^5}{S} \cdot \frac{1}{7,368 \cdot S + 1}$$

ЛАФЧХ такой системы имеет вид:



ЛФЧХ не пересекает уровень -180° , а лишь стремится к нему. Запас по фазе в данном случае стремится к нулю ($\Delta\varphi \rightarrow 0$), а запас по амплитуде, напротив, стремится к бесконечности ($\Delta L \rightarrow \infty$). Также как и в канале внутренней оси система находится на границе устойчивости и требует коррекции. Это можно подтвердить экспериментально построив график переходного процесса средствами компьютерного моделирования.

Переходной процесс нескорректированной системы:



Чтобы увеличить запас по фазе, необходимо ввести корректирующее дифференцирующее звено $W_{\hat{a}\hat{\delta}\delta}(S) = T_{1\hat{a}\hat{\delta}} \cdot S + 1$. Если правильно выбрать постоянные времени $T_{1\text{нар}}$ и $T_{2\text{нар}}$, мы обеспечим необходимый запас устойчивости и, тогда на частоте среза ЛАЧХ будет пересекать ось 0 дБ под наклоном -20 дБ/дек. Введением апериодического звена

$$W_{\hat{a}\hat{a}\hat{\delta}}(S) = \frac{1}{T_{2\hat{a}\hat{\delta}} \cdot S + 1} \quad \text{на несколько большей частоте вернем систему в}$$

исходное состояние. Также для подавления возникающих в контуре обратной связи высокочастотных помех введем ещё одно апериодическое звено

$$W_{\hat{a}\hat{a}\hat{\delta}}(S) = \frac{1}{T_{3\hat{a}\hat{\delta}} \cdot S + 1} \cdot T_{3\text{вн}} \quad \text{выберем меньше } T_{2\text{нар}}.$$

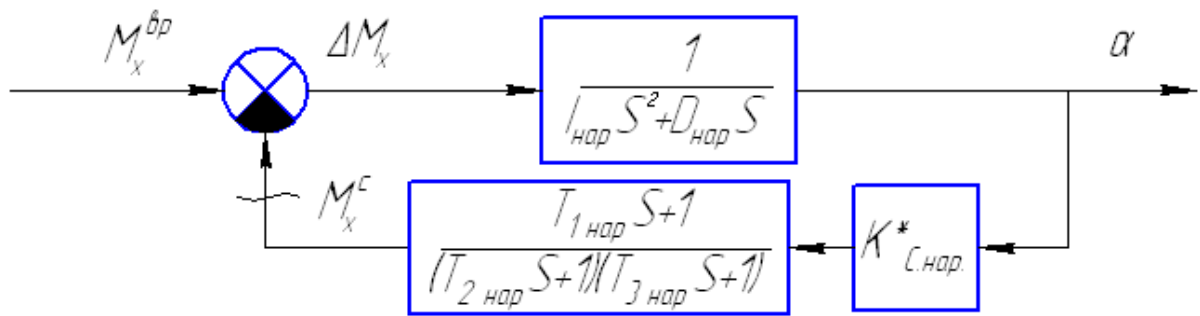
Постоянные времени корректирующего звена:

$$T_{1\text{нар}} = 0.0035 \text{ с}; \quad T_{2\text{нар}} = 0.000005 \text{ с}; \quad T_{3\text{нар}} = 0.0000005 \text{ с}.$$

Передаточная функция такого корректирующего звена будет иметь вид:

$$W_{\text{кор.нар.}} = \frac{T_{1\text{нар}}s + 1}{T_{2\text{нар}}s + 1} \cdot \frac{1}{T_{3\text{нар}}s + 1} = \frac{0.0035s + 1}{0.000005s + 1} \cdot \frac{1}{0.0000005s + 1}$$

Структурная схема канала с введенной коррекцией:

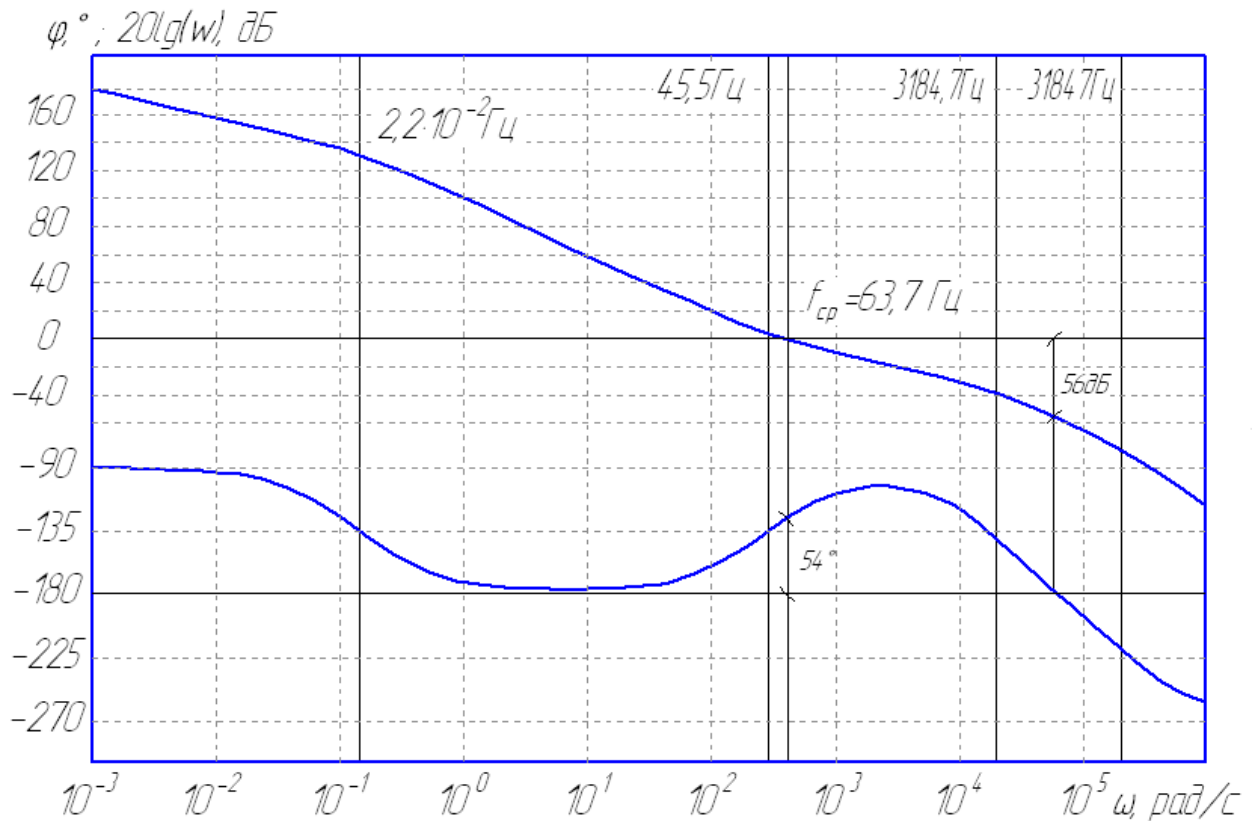


Передаточная функция разомкнутой скорректированной системы:

$$W_{\text{скор}}(S) = \frac{K_{\text{с.нар}}^*}{D_{\text{нар}} \cdot S} \cdot \frac{1}{T_{\text{п.нар}} \cdot S + 1} \cdot \frac{T_{1\text{нар}} S + 1}{T_{2\text{нар}} S + 1} \cdot \frac{1}{T_{3\text{нар}} S + 1}$$

$$W_{\text{скор}}(S) = \frac{6,916 \cdot 10^5}{S} \cdot \frac{1}{7,368 \cdot S + 1} \cdot \frac{0,0035s + 1}{0,000005s + 1} \cdot \frac{1}{0,0000005s + 1}$$

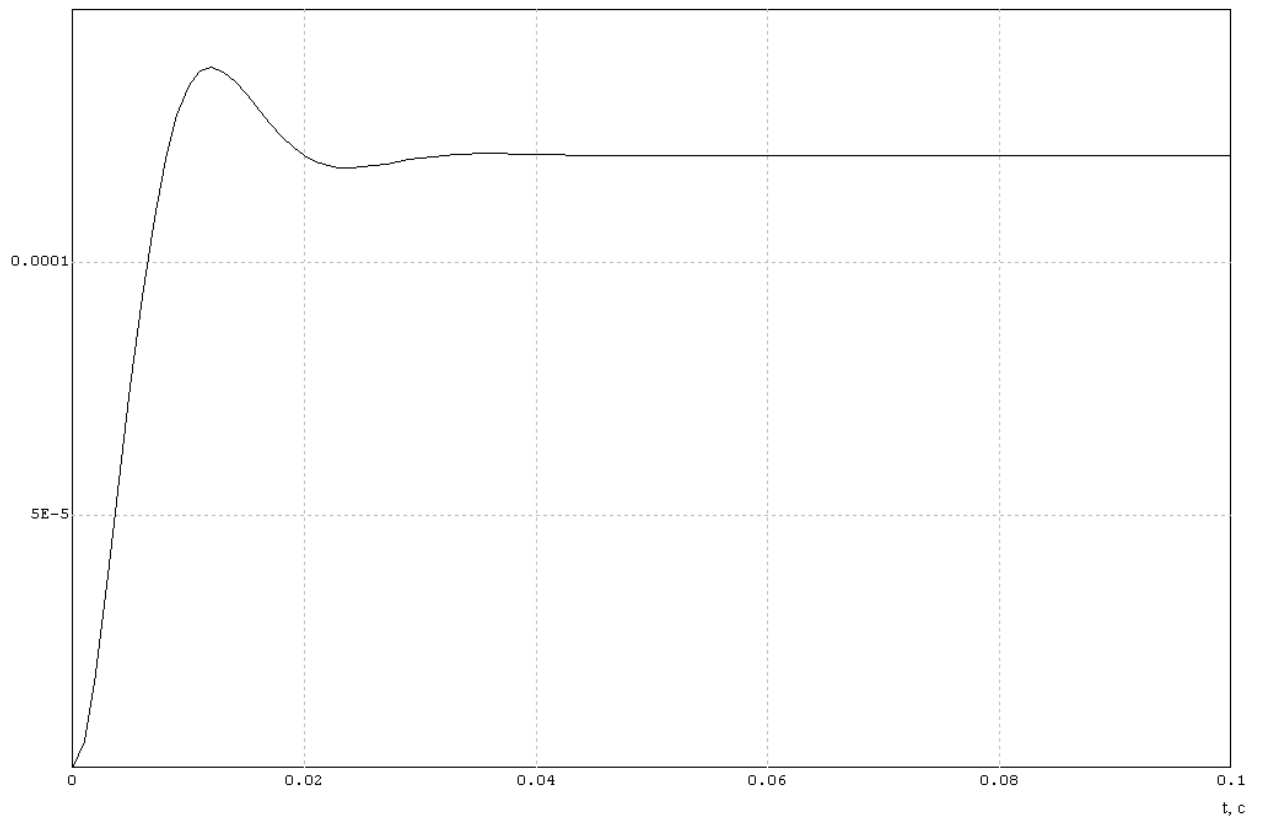
ЛАФЧХ скорректированной системы имеет вид:



В результате корректировки получены следующие запасы:

- по фазе $\Delta\varphi = 54^\circ$
- по амплитуде $\Delta L = 56 \text{ дБ}$

Переходный процесс скорректированной системы:



Переходной процесс устойчив. Время регулирования $t_{п.вн} = 0,03$ с.

Величина перерегулирования $\sigma = 15\%$

По результатам эксперимента можно сделать вывод, что корректировка достигла своей цели.

Таким образом, полученная ошибка стабилизации по внутренней оси:

$$\alpha_{уст} = 0,00012 \text{ рад} = 0.41' < \Delta\alpha$$

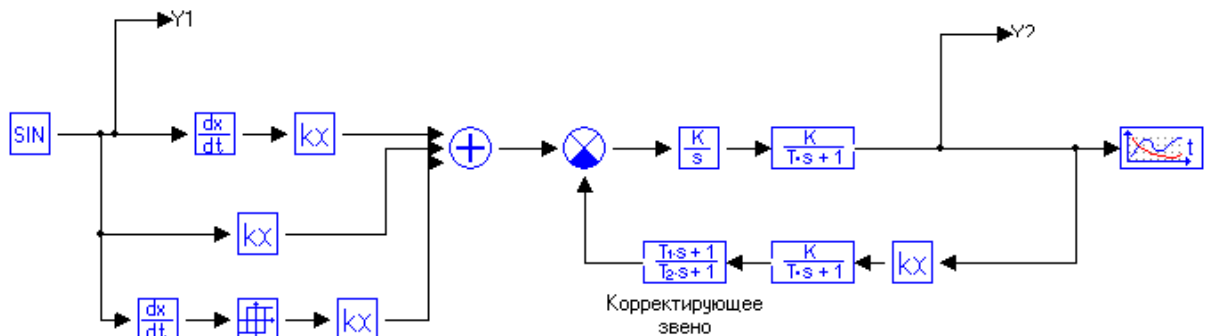
Так как установившееся значение ошибки меньше заданной по ТЗ, можно утверждать, что требования ТЗ по точности выполнены.

Вычисление коэффициента подавления колебаний

По заданию качка основания происходит на частоте $f = 2$ Гц с амплитудой $\gamma_0 = 2,2^\circ$ по закону: $\gamma = \gamma_0 \cdot \sin(\omega t)$, где $\omega = 2\pi f$.

Коэффициент подавления – это отношение амплитуды колебаний основания, к амплитуде колебаний ОС, вызванных колебаниями основания.

Для вычисления коэффициента подавления необходимо построить ЛАЧХ замкнутой системы, на входе которой будет угол поворота основания, а на выходе угол поворота объекта стабилизации.



В данной схеме

$\frac{dx}{dt} \rightarrow kX$ - звено моделирующее демпфирующий момент

$\rightarrow kX$ - звено моделирующее момент тяжения токоподводов

$\frac{dx}{dt} \rightarrow \text{grid} \rightarrow kX$ - звено моделирующее момент трения

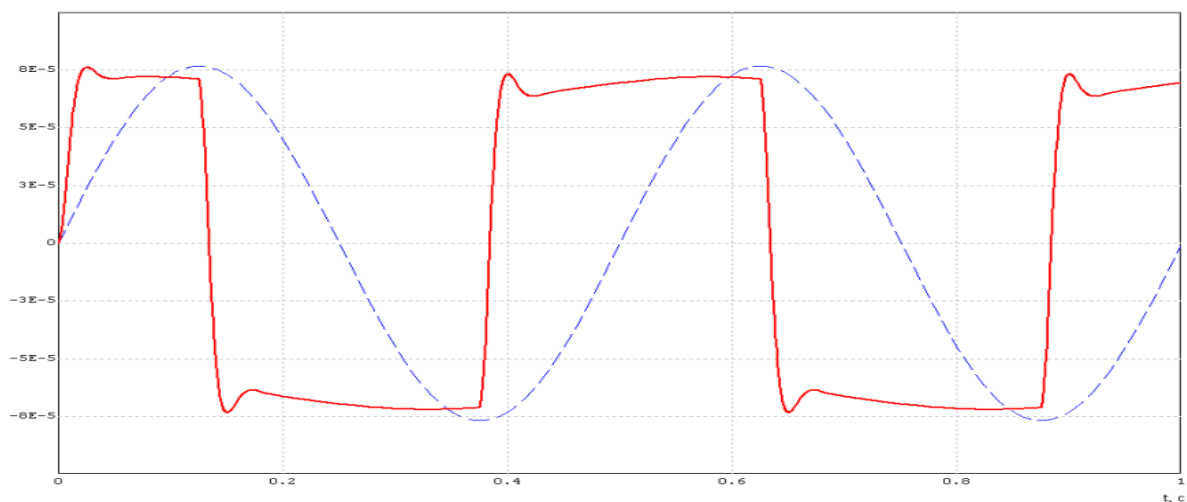
С помощью этих звеньев моделируются моменты передающие движение основание на объект стабилизации.

Передаточная функция замкнутой системы:

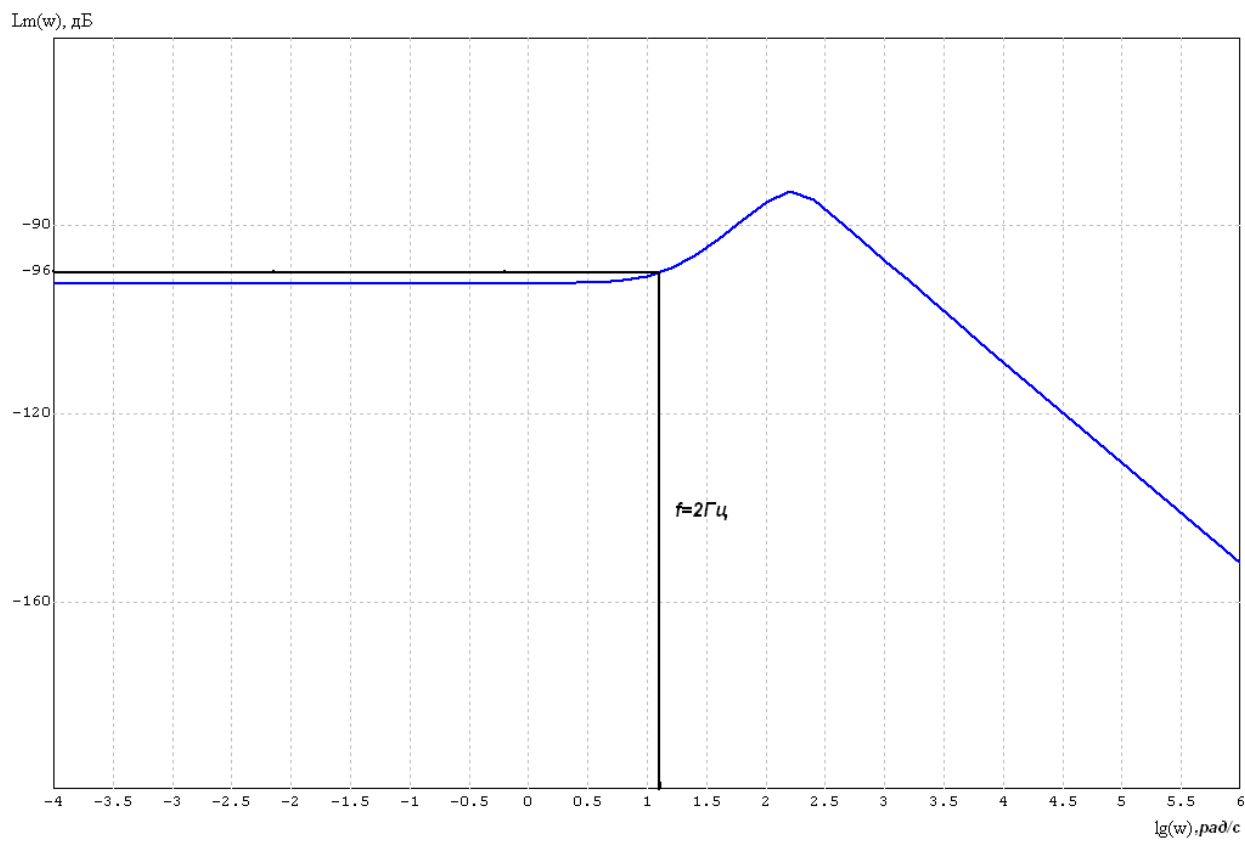
$$\Phi(S) = \frac{\frac{1}{D \cdot S} \cdot \frac{1}{T_n \cdot S + 1}}{\frac{1}{D \cdot S} \cdot \frac{1}{T_n \cdot S + 1} + \frac{T_1 s + 1}{T_2 s + 1} \cdot \frac{K_c^*}{T_3 s + 1}}$$

внутренняя ось

временная диаграмма колебаний основания (пунктирная линия) и объекта стабилизации (сплошная линия):



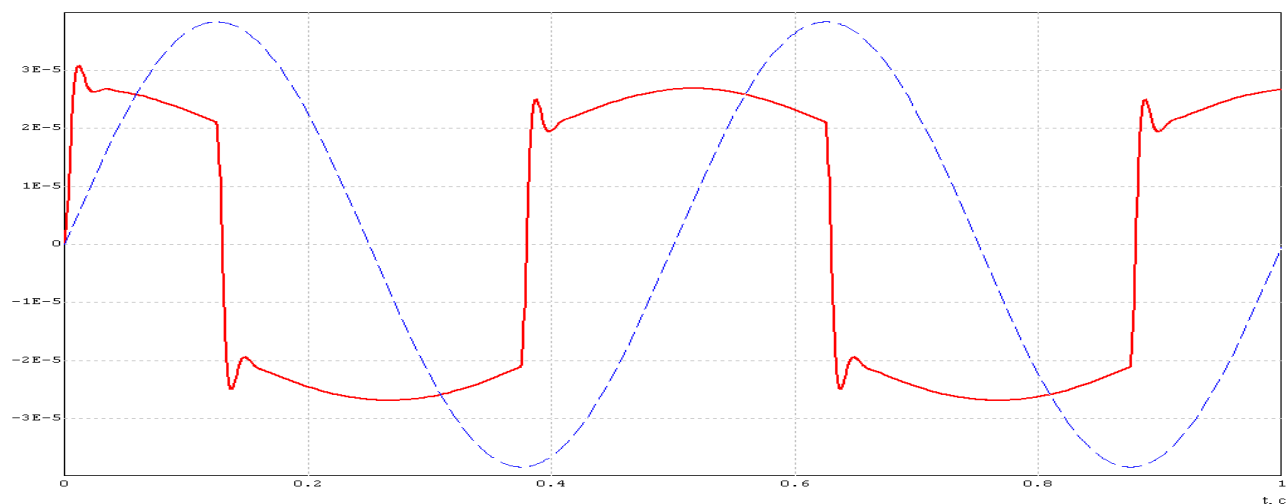
ЛАЧХ



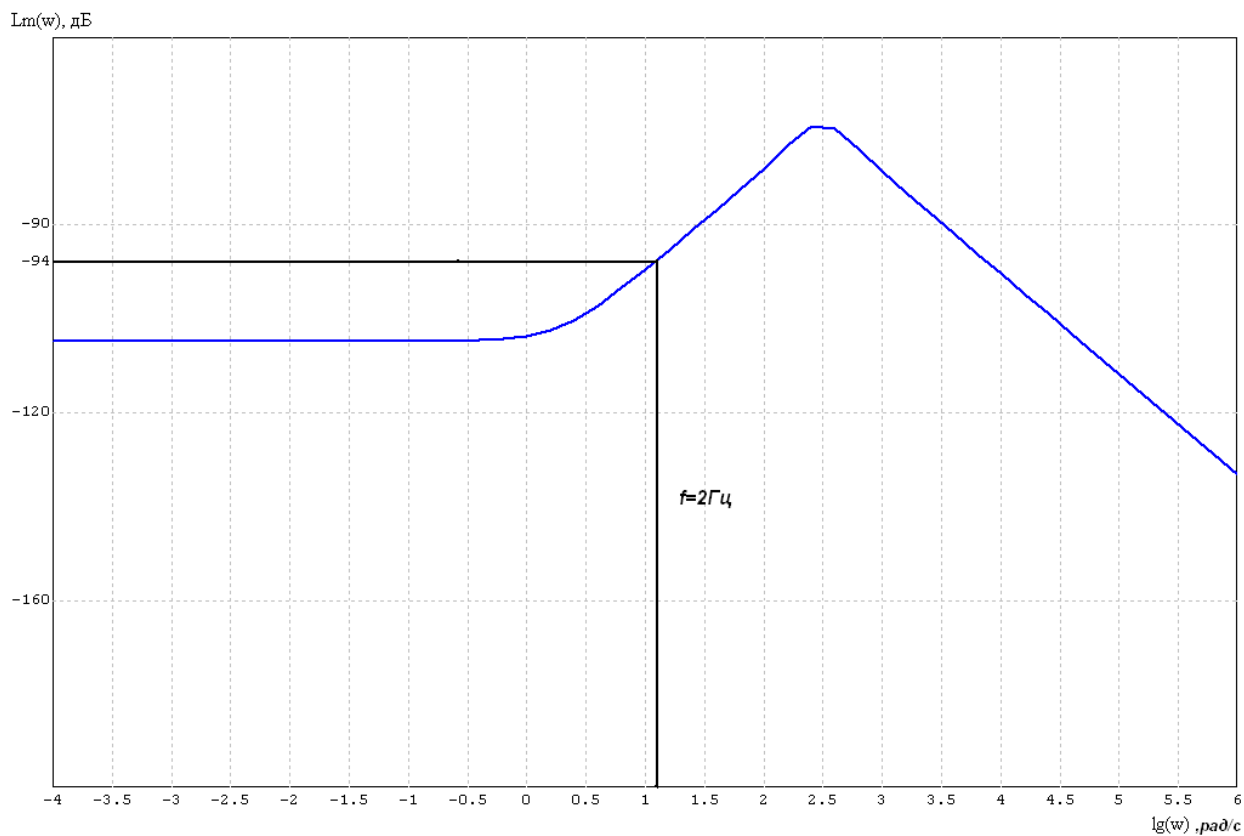
Коэффициент подавления на частоте 2Гц равен 96дБ

наружная ось

временная диаграмма колебаний основания (пунктирная линия) и объекта стабилизации (сплошная линия):



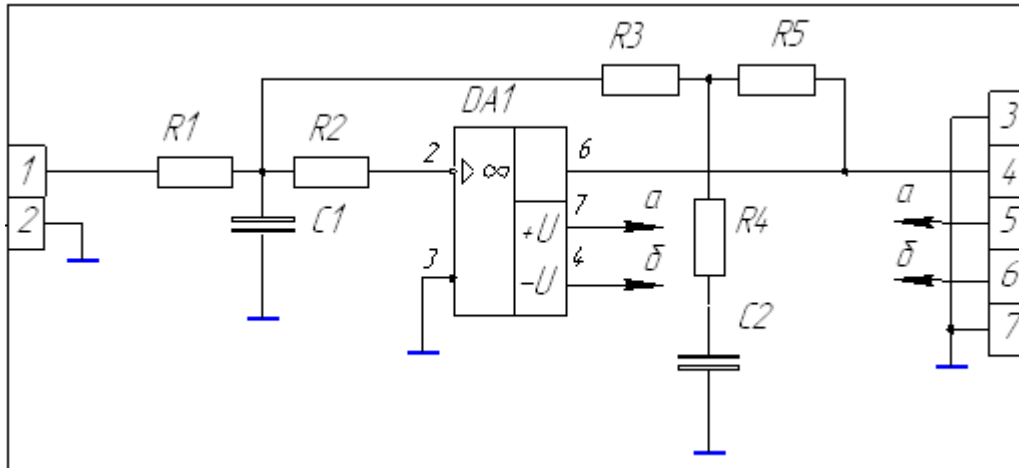
ЛАЧХ



Коэффициент подавления на частоте 2Гц равен 94дБ.

Расчет электрической цепи корректирующего звена

Реализовать необходимые для коррекции звенья можно на пассивных и на активных элементах. Схемы на пассивных элементах не удовлетворяют требованиям точности. Поэтому реализовывать корректирующие звенья будем на операционных усилителях по следующей схеме:



Данная схема представлена на принципиальной электрической схеме в блоках А12 и А13.

Рассчитаем номинальные значения элементов.

Для схемы справедливы следующие соотношения:

$$Z_{a\delta} = R_1 + R_2 + R_1 \cdot R_2 \cdot C_1 s$$

$$Z_{in} = \frac{(R_3 + R_5)(R_4 C_2 s + 1) + R_3 R_5 C_2 s}{R_4 C_2 s + 1}$$

Приведем передаточную функцию к виду:

$$W(s) = \frac{Z_{in}}{Z_{a\delta}} = K \frac{(T_1 s + 1)}{(T_2 s + 1)(T_3 s + 1)}$$

$$W(s) = \frac{(R_4 C_2 + \frac{R_3 R_5}{R_3 + R_5})s + 1}{\frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_5} (R_4 C_2 s + 1) (\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \cdot C_1 s + 1)}$$

Выразим постоянные времени и коэффициент усиления через параметры схемы:

$$T_1 = R_4 C_2 + \frac{R_3 R_5}{R_3 + R_5} C_2$$

$$T_2 = R_4 C_2$$

$$T_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \cdot C_1$$

$$K = \frac{R_3 + R_5}{R_1 + R_2}$$

Данная система допускает бесчисленное число возможных комбинаций решений, т.к. для определения семи неизвестных используются только три линейно независимых уравнения. Поэтому зададимся значением емкости C_2 , а также примем равенство сопротивлений $R_1=R_2=R_3=R_5=R$. Тогда выражения для вычисления номинальных значений элементов примут следующий вид:

$$R_4 = \frac{T_2}{C_2}$$

$$C_1 = \frac{T_3}{T_1 - T_2} \cdot C_2$$

$$R = \frac{2 \cdot T_3}{C_1}$$

Коэффициент усиления корректирующего звена при этом $K=1$.

расчет корректирующего звена канала наружной оси

Постоянные времени корректирующего звена:

$$T_{1 \text{ нар}} = 0.0035 \text{ с}; \quad T_{2 \text{ нар}} = 0.00005 \text{ с}; \quad T_{3 \text{ нар}} = 0.000005 \text{ с}.$$

Полагаем $C_2=500$ нФ тогда:

$$R_4 = \frac{T_{2 \text{ нар}}}{C_2} = \frac{0.00005}{500 \cdot 10^{-9}} = 100 \text{ Ом}$$

$$C_1 = \frac{T_{3 \text{ нар}}}{T_{1 \text{ нар}} - T_{2 \text{ нар}}} \cdot C_2 = \frac{0.000005}{0.0035 - 0.00005} \cdot 500 \cdot 10^{-9} = 725 \text{ пФ}$$

$$R = \frac{2 \cdot T_{3 \text{ нар}}}{C_1} = \frac{2 \cdot 0.000005}{725 \cdot 10^{-12}} = 13,8 \text{ кОм}$$

расчет корректирующего звена канала внутренней оси

Постоянные времени корректирующего звена:

$$T_{1 \text{ вн}} = 0.008 \text{ с}; \quad T_{2 \text{ вн}} = 0.0002 \text{ с}; \quad T_{3 \text{ вн}} = 0.00002 \text{ с.}$$

Полагаем $C_2=100$ нФ тогда:

$$R_4 = \frac{T_{2 \text{ вн}}}{C_2} = \frac{0.0002}{100 \cdot 10^{-9}} = 2 \text{ кОм}$$

$$C_1 = \frac{T_{3 \text{ вн}}}{T_{1 \text{ вн}} - T_{2 \text{ вн}}} \cdot C_2 = \frac{0.00002}{0.008 - 0.0002} \cdot 100 \cdot 10^{-9} = 256 \text{ пФ}$$

$$R = \frac{2 \cdot T_{3 \text{ вн}}}{C_1} = \frac{2 \cdot 0.00002}{256 \cdot 10^{-12}} = 156 \text{ кОм}$$

Описание электрической схемы

Блоки А1 и А2 представляют собой волоконно-оптические гироскопы типа ВГ949П, питание которых осуществляется постоянным напряжением 5В. Съём сигнала дифференцированный. Поэтому сигнальные провода скручиваются и экранируются от общего провода питания.

Сигнал с А1 и А2 поступает на предварительные дифференциальные усилители (ПУ) А5 и А6, которые усиливают сигнал и делают его не симметричным. С выхода ПУ сигнал подается на выходной разъем XS1 – выход прибора по угловой скорости, а также сигнал подается на вход интеграторов А7 и А8, в которых сигнал об угловой скорости с ВОГ преобразуется в сигнал об угле поворота. После интегрирования сигнал поступает на корректирующие усилители, для изменения частотных характеристик.

Блок А3 представляет собой координатор цели (КЦ), питание которого является двуполярное постоянное напряжение. Выходом КЦ являются несимметричные сигналы об угле рассогласования между линией визирования и направлением на цель.

Сигнал с А3 поступает для усиления и преобразования на преобразователи А3 и А4.

Сигналы с А12, А13 и А3, А4 вычитаются в устройствах вычитания А10 и А11, для обеспечения слежения за целью. Далее разностный сигнал усиливается в усилителях мощности А15 и А16.

С усилителя мощности канала внутренней оси А16 сигнал поступает на датчик момента М1.

С усилителя мощности канала наружной оси А15 сигнал поступает на сумматор А9, который предназначен для добавления к сигнальному напряжению напряжения подпора. Суммарный сигнал с выходов А9 подается на двигателя разгрузки М2 и М3.

Датчики угла В1 и В2 представляют собой синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы СКТ265, со статоров которых снимается сигнал пропорциональный синусу и косинусу относительных углов поворота осей корданова подвеса. Сигналы с СКТ подаются на разъем XS1.

Питание прибора осуществляется от источника постоянного тока $\pm 27\text{В}$. Далее это напряжение поступает в источник питания А14, который преобразует его в питающие напряжения необходимые для работы элементов прибора, а именно: питание ВОГ, питание операционных усилителей, напряжение подпора, напряжение питания СКТ (36В 400Гц), питание усилителей мощности, питание координатора цели.

Расчет технологической части проекта

Выбор организационной формы сборки.

Различают стационарную и подвижную сборки. В свою очередь, стационарная сборка может быть поточной и непоточной.

Непоточная сборка выполняется по принципу концентрации и частичной дифференциации.

В первом случае сборочный процесс выполняется одним или несколькими рабочими на одном сборочном посту. Такая форма сборки применяется в единичном и опытном производствах. Во втором случае сборочный процесс разделяют на сборку отдельных сборочных единиц и общую сборку по схеме сборочного состава изделия. Второй способ находит применение в серийном и массовом производстве.

При поточной неподвижной сборке каждый рабочий или бригада рабочих в технологической последовательности, переходя с объекта на объект, с соблюдением определенного такта сборки выполняет свою операцию. Эту форму сборки применяют для прибором больших габаритов и(или) массы.

Подвижную сборку применяют в поточном производстве; она бывает со свободным и с принудительным движением собираемого изделия. Сборка с принудительным движением собираемого изделия разделяется на подвижную сборку непрерывного движения и подвижную сборку периодического движения. При сборке с принудительным движением собираемого изделия такт выпуска t (мин) определяется по формуле:

где F – фонд рабочего времени за плановый период, мин; N - программа

$$t = \frac{F}{N}$$

выпуска за плановый период. В приборостроении, в основном, применяют подвижную поточную сборку.

При выборе организационной формы сборки необходимо руководствоваться следующими соображениями:

Стационарная сборка применяется в индивидуальном и мелкосерийном производстве и в серийном, когда затрачиваемое на сборку время значительно меньше ритма (такта).

Если время сборки узла кратно ритму, но по технологическим соображениям процесс сборки нельзя разделить на отдельные операции, то сборка выполняется на нескольких рабочих местах параллельно. В этом случае рабочие места дублируют друг друга, и сборка получается стационарной независимо от программы выпуска.

В массовом и серийном производствах во всех тех случаях, когда время сборки прибора превышает ритм со значительной кратностью, целесообразно применять поточную сборку, так как она является наиболее совершенной формой организации сборочных работ.

При соответствующем подборе различных объектов сборки, имеющих однотипные процессы, поточная сборка становится экономически целесообразной и в условиях мелкосерийного производства.

При определении организационной формы сборки, прежде всего, должен быть сделан выбор между поточной и непоточной сборкой.

В соответствии с представленными выше определениями, выбираем непоточную стационарную сборку, а именно по принципу концентрации, т.е. сборочный процесс выполняется одним или несколькими рабочими на одном сборочном посту (стенде), а также к сборочному посту подаются необходимые детали, покупные узлы и необходимые материалы. Такая форма применяется в единичном производстве.

Построение технологической схемы сборки.

Сборка изделия – дискретный во времени процесс, который состоит из отдельных переходов.

Переход – наименьшая законченная часть технологического процесса, выполняемая без перерыва во времени.

Сборочная операция – упорядоченный набор переходов.

Первым этапом разработки маршрутного технологического процесса сборки является построение технологической схемы сборки.

Процесс сборки изделия состоит из операций, выполняемых не только последовательно, но и параллельно, а иногда и с циклами. Технологическая схема сборки является графической интерпретацией такого процесса.

Наиболее ясно и полно отражают технологический процесс сборки схемы с базовой деталью. При построении технологической схемы сборки используются условные обозначения.

Правила построения технологических схем сборки:

- На условном изображении элемента в нижней половине указывается номер позиции по чертежу; в верхней половине – количество одинаковых элементов. На условном изображении материала указывается марка материала. Покупные изделия штрихуются в верхней половине.
- Технологическая схема сборки начинается с изображения базовой детали или базовой сборочной единицы, выполняющей в данной конструкции роль корпуса или основания, а заканчивается изображением собранного изделия.
- Сборочные единицы или детали, собираемые одновременно, присоединяются к линиям сборки в одной точке.
- Несколько деталей или сборочных единиц, устанавливаемых после их предварительной сборки, но без образования сборочной единицы, присоединяются к дополнительной линии сборки в последовательности их соединения; дополнительная линия сборки подводится к основной в точке операции, на которой формируется сборочная единица с другими элементами изделия.
- Сборочная единица, формируемая параллельно с основным изделием, строится на дополнительной линии сборки; а дополнительная линия сборки подводится к основной в точке сборки этой сборочной единицы с основным изделием.
- Стрелка показывает направление сборки. При частичной разборке стрелка направлена от операции к элементу.
- Знаки контрольных и регулировочных операций подводятся к линии сборки непосредственно после той, относительно которой они производятся.
- Определяющий диаметр знака - 10 мм.
- Схема сборки представляет собой графическое изображение в виде условных обозначений последовательности сборки изделия или его составной части (ГОСТ 23887-79). Схема облегчает разработку ТП благодаря наглядности и обзримости последовательности сборки. Основой для разработки процесса сборки и его схемы является схема расчленения изделия – разделение его на сборочные единицы и детали с расположением их относительно расположения. Эта схема раскрывает

структуру изделия, его расчлененность на составные части, последовательность сборки, возможности организации сборочного процесса. Наличие технологически независимых составных частей позволяет собирать их параллельно, что сокращает цикл сборки. Кроме того, составные части поступают на общую сборку после контроля качества их сборки. Это позволяет быстрее обнаружить дефекты общей сборки, которые следует в данном случае искать в соединениях составных частей, а не внутри их. Большая расчлененность изделия на сборочные единицы при достаточной величине объема выпуска позволяет организовать сборку поточным методом.

Схема с базовой деталью (базовой сборочной единицей) нагляднее отображает последовательность сборки. В качестве базовой выбирается деталь (сборочная единица), поверхности которой будут впоследствии использоваться при установке готового изделия или при креплении сборочной единицы к ранее собранным сборочным единицам. Направление движения деталей и сборочных единиц показано стрелками. На схеме сборки могут быть приведены дополнительные надписи или условные обозначения, характеризующие содержание операции. Указания могут быть даны и в виде таблицы, тогда на схеме проставляется лишь номер указания.

Для сложного изделия целесообразно составлять укрупненную схему сборки, характеризующую общую сборку изделия и схемы сборки составных частей изделия, соответствующих узловой сборке.

Построение схем сборки следует начинать с простейших сборочных единиц, затем переходить к более сложным. При расчленении изделия на составные части следует руководствоваться следующими положениями:

- схемы строятся с максимальным расчленением изделия на сборочные единицы независимо от программы выпуска изделий;
- выделение того или иного соединения в сборочную единицу должно быть целесообразно и в технологическом отношении;

Последнее означает, что сборочные единицы можно отдельно собирать, контролировать, хранить и транспортировать. Если по условию организации сборочного процесса, например, при поточной сборке неизбежно расчленение сборочных единиц с нарушением независимости их сборки, приходится вводить временные сборочные единицы. Для них предусматривают приспособления, сохраняющие правильность взаимного

расположения деталей во время сборки транспортировки с одного рабочего места на другое. Временные сборочные единицы вводятся в схему сборки и выделяются особым обозначением (по ГОСТ 23887-79).

Расчет коэффициентов технологичности конструкции прибора

Показатели технологичности конструкции приборов разработаны на основании ГОСТ 14201-73...14203-73, методики Госстандарта СССР, ОСТ и обобщения опыта по отработке и оценке технологичности конструкции изделий.

Данные показатели применены к конструкции отдельных функциональных элементов, используемых в САУ и измерительных комплексах. Они определяются на этапе рабочего проектирования и входят в комплект документации на изделие, передаваемое в серийное производство.

Технологичным является такое изделие, которое при условии выполнения всех технических требований более удобно в эксплуатации и позволяет при данной серийности производства изготовить его с минимальными затратами труда, материалов и с наименьшим производственным циклом.

Исходя из этого положения строится методика определения показателей технологичности конструкции приборов. Основная идея методики заключается в том, что технологичная конструкция изделия обеспечивает наибольшую производительность труда, снижение затрат и сокращение времени на проектирование, технологическую подготовку производства, изготовление, техническое обслуживание и ремонт изделия при обеспечении необходимого его качества.

Показатели технологичности используются для:

- а) количественной оценки технологичности конструкции прибора перед передачей его в серийное производство;
- б) указания конструкторам требований по технологичности при выдаче задания на проектирование нового прибора.

Система показателей содержит:

- а) базовые частные коэффициенты, к которым относятся коэффициенты освоенности Косв, унификации деталей Куд и унификации материалов Кум;
- б) комплексный коэффициент технологичности Ктех .

Выражения для определения значений всех частных показателей технологичности должны для «идеального» прибора стремиться к 1; фактические значения частных показателей технологичности К должны находиться в пределах $0 < K < 1$.

Значения коэффициентов определяются на основе анализа технической документации на изделие (сборочного чертежа и спецификации). Для расчета коэффициентов Куд, Косв составляется таблица:

Общее количество деталей (без крепежных)	В том числе				Количество крепежных деталей
	собственные	заимствованные	стандартные	покупные	
пΣ	псб	пзм	пст	ппок	пкр
ΝΣ	Νсб	Νзм	Νст	Νпок	Νкр

В таблице п - число наименований деталей в изделии;

Ν - общее число деталей в изделии.

Примечания:

1. К стандартным относятся детали, охваченные ГОСТом и ОСТом, отраслевой нормалью.
2. К заимствованным относятся детали, взятые из других аналогичных разработок, и детали, изготавливаемые по стандартам предприятий (СТП).
3. К собственным относятся детали, которые применяются только в данном приборе и на которые разработаны чертежи в проекте на прибор.
4. Сборочные единицы, полученные армированным литьем или прессованием из пластмасс, принимаются за одну деталь.

5. К крепежным деталям относятся гайки, винты, болты, шпильки, заклепки и т.п., а также монтажные провода, товарные знаки, изоляционные прокладки и т.п..

Заполним таблицу с помощью спецификации:

Общее количество деталей (без крепежных)	В том числе				Количество крепежных деталей
	собственные	заимствованные	стандартные	покупные	
32	24	0	4	4	19
55	40	0	8	7	92

Коэффициенты освоенности прибора и унификации его деталей определяются по формулам:

Коэффициент освоенности:

$$K_{\hat{m}\hat{a}} = (N_{\hat{n}\hat{d}} + N_{\hat{c}\hat{i}} + N_{\hat{i}\hat{t}\hat{e}}) / N_{\Sigma}$$

$$K_{\hat{m}\hat{a}} = (8 + 0 + 7) / 55 = 0,27$$

Коэффициент унификации:

$$K_{\hat{o}\hat{a}} = 1 - (n_{\Sigma} + n_{\hat{e}\hat{d}}) / (N_{\Sigma} + N_{\hat{e}\hat{d}})$$

$$K_{\hat{o}\hat{a}} = 1 - (32 + 19) / (55 + 92) = 0,65$$

Коэффициент унификации материалов $K_{\hat{y}\hat{m}}$ определяется только для собственных деталей прибора по формуле:

$$K_{\hat{y}\hat{m}} = 1 - \frac{C_{\Sigma}}{n_{\hat{c}\hat{b}}}$$

где C_{Σ} - количество сорторазмеров материалов для изготовления собственных деталей прибора;

n_{Σ} - общее число наименований собственных деталей приборов;

Сорта размер обусловлен маркой материала и определяющим размером. Для определения $K_{ум}$ составляется таблица:

Количество	Металлы			Пластмассы	Керамика	Сумма
	черные	цветные	драгоценные			
Сорта размеров материалов	3	1	-	2	-	6
Собственных деталей	13	9	-	2	-	24

Тогда коэффициент унификации материалов

$$K_{\delta i} = 1 - \frac{\tilde{N}_{\Sigma}}{n_{\tilde{n}a}} = 1 - \frac{6}{24} = 0,75$$

Комплексный коэффициент технологичности определяется как произведение базовых частных коэффициентов

$$K_{\delta a \delta i} = K_{\tilde{n}a} \cdot K_{\delta i} \cdot K_{\delta i} = 0,27 \cdot 0,65 \cdot 0,75 = 0,13$$

Расчет сборочной размерной цепи

В приборах, работающих на разных физических принципах, имеются механические сборочные единицы. К геометрическим параметрам этих единиц (например, осевой зазор в опорах чувствительных элементов, колебание зазора между магнитопроводами ротора и статора в электродвигателях и датчиках и др.) предъявляются точностные требования. Эти точностные требования совместно с размерами отдельных деталей, от которых они зависят, образуют замкнутые размерные цепи.

Размерная цепь (РЦ) в соответствии с РД 50-635-87 – совокупность взаимно связанных линейных размеров, образующих замкнутый контур.

Размерные цепи отражают объективные размерные связи в конструкции прибора в технологических процессах изготовления его деталей и сборки.

Звено РЦ – один из размеров, образующих РЦ.

Замыкающее звено – звено РЦ , являющееся исходным при постановке задачи или получающееся последним в результате ее решения.

Составляющее звено – звено РЦ , функционально связанное с замыкающим звеном.

Увеличивающее звено – составляющее звено РЦ, с увеличением которого замыкающее звено увеличивается (т.е. для которого передаточная функция $\xi_i = dF/dX_i > 0$).

Уменьшающее звено – составляющее звено РЦ, с увеличением которого замыкающее звено уменьшается (т.е. для которого $\xi_i < 0$).

Компенсирующее звено – составляющее звено РЦ , изменением которого достигается требуемая точность замыкающего звена.

Общее звено- звено, одновременно принадлежащее нескольким РЦ.

Схема РЦ – графическое изображение РЦ.

Задачи и методы расчета размерных цепей :

Прямая задача - задача, в которой заданы параметры (номинальное значение, допустимые отклонения и т. д.) замыкающего звена РЦ и требуется найти параметры ее составляющих звеньев.

Обратная задача - задача, в которой известны в один и тот же момент времени параметры (допуски, поля рассеяния, координаты их середин и т.д.) составляющих звеньев РЦ и требуется определить параметры замыкающего звена.

Решением обратной задачи проверяется правильность решения прямой задачи.

Статическая задача - задача, решаемая без учета факторов, влияющих на изменение звеньев РЦ во времени.

Динамическая задача - задача, решаемая с учетом факторов, влияющих на изменение звеньев РЦ во времени.

Метод расчета на максимум-минимум - метод расчета, учитывающий только предельные отклонения звеньев РЦ и самые неблагоприятные сочетания.

Вероятностный метод расчета - метод расчета, учитывающий рассеяние размеров и вероятность различных сочетаний отклонений составляющих звеньев РЦ.

Для различных методов достижения точности замыкающего звена необходимо применить различные методы расчета РЦ.

Размерные цепи, для которых оказывается экономически оправданным риск возможного выхода за пределы поля допуска замыкающих звеньев и части изделий, рассчитывают вероятностным методом.

В РЦ, в которых должна быть обеспечена полная взаимозаменяемость, допуски рассчитывают по методу максимума - минимума.

В ряде случаев возможны сочетания различных методов достижения точности замыкающего звена данной РЦ.

Метод расчета: Максимум/Минимум

Размерная цепь:

A1: Тип -	Номинал = 210.000	Квалитет js10	es = 0.092	ei = -0.092
A2: Тип -	Номинал = 6.000	Квалитет js8	es = 0.013	ei = -0.013
A3: Тип -	Номинал = 58.100	Квалитет js7	es = 0.015	ei = -0.015
A4: Тип -	Номинал = 81.100	Квалитет js10	es = 0.07	ei = -0.07
A5: Тип -	Номинал = 58.100	Квалитет js7	es = 0.015	ei = -0.015
A6: Тип +	Номинал = 6.000	Квалитет js8	es = 0.013	ei = -0.013

Замыкающее звено:

X: Номинал = 0.700 es = 0.218 ei = -0.218

Метод расчета: Вероятностный

Распределение: Нормальное

Коэффициент: 3.000

Размерная цепь:

A1: Тип -	Номинал = 210.000	Квалитет js10	es = 0.092	ei = -0.092
A2: Тип -	Номинал = 6.000	Квалитет js8	es = 0.013	ei = -0.013
A3: Тип -	Номинал = 58.100	Квалитет js7	es = 0.015	ei = -0.015
A4: Тип -	Номинал = 81.100	Квалитет js10	es = 0.07	ei = -0.07
A5: Тип -	Номинал = 58.100	Квалитет js7	es = 0.015	ei = -0.015
A6: Тип +	Номинал = 6.000	Квалитет js8	es = 0.013	ei = -0.013

Замыкающее звено:

X: Номинал = 0.700 es = 0.091 ei = -0.091

Заключение о соответствии техническому заданию

В результате проектирования двухосного индикаторного гиросtabilизатора на базе волоконно-оптического гироскопа (ВГ949П) в соответствии с техническим заданием на разработку конструкции были получены следующие параметры гиросtabilизатора:

- Максимальная статическая ошибка по оси наружной рамы $0.41'$
по оси платформы $0.41'$;
- Коэффициент подавления колебаний не менее 94 дБ на частоте 2 Гц;
- Максимальные углы прокачки $\pm 35^\circ$ по обоим осям
- Обеспечены запасы устойчивости по наружной оси:
 - по фазе 54° ,
 - по амплитуде 56 дБ
- по внутренней оси:
 - по фазе 59° ,
 - по амплитуде 48,8 дБ
- Чувствительный элемент – ВГ949П.
- Обеспечен съем сигналов об угловой скорости линии визирования.
- Подвес наружный карданов.
- Привод редукторный по наружной оси и редукторный безлюфтовый по внутренней

Таким образом можно сделать вывод, что полученный стабилизатор удовлетворяет условиям технического задания.

Список используемой литературы.

1. Пельпор Д. С. Гироскопические системы. Ч.1,2,3.
2. Пельпор Д. С. Гироскопические системы. Проектирование гироскопических систем. Ч.1.
3. Сломянский Г. А. Детали и узлы гироскопических приборов. Атлас конструкций.
4. Востриков А.С., Французова Г.А. Теория автоматического регулирования.
5. Соловьев Г.Н. Схемотехника.

Приложения