

ИССЛЕДОВАНИЕ АДЕКВАТНОСТИ ОБЪЕКТА-ОРИГИНАЛА И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НА ПРИМЕРЕ СЕЛЬСИННОЙ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ

1. Цель работы

Важнейшим требованием, предъявляемым к математическим моделям, является требование её адекватности (правильности соответствия) изучаемому реальному объекту относительно выделенной системы его свойств. Из теоретической части курса известно, что адекватность модели отождествляется требуемым соответствием результатов, получаемых с помощью математической модели и экспериментов с реальным объектом. Основная цель лабораторной работы исследование адекватности объекта-оригинала и его математической модели на примере сельсинной следящей системы как наиболее распространённого представителя следящих систем в авиационном оборудовании.

Лабораторная работа состоит из двух частей.

Целью первой части работы является изучение принципа действия объекта-оригинала реальной сельсинной следящей системы, получение практических навыков по определению параметров элементов следящей системы экспериментальным путем и их основных моделей во временном виде – в виде дифференциальных уравнений, полученных на основе физических законов работы отдельных элементов системы.

Целью второй части работы является изучение математической модели следящей системы, записанной в преобразования Лапласа, то есть в виде передаточных функций, и определения влияния изменения структуры следящей системы на её динамические характеристики. Здесь определяются временные динамические характеристики и их изменение при наличии или отсутствии гибкой обратной связи в следящей системе расчетным (на основе математической модели на ЭВМ) и экспериментальным путём на реальной системе. Их сравнение доказывает адекватность исследуемого объекта-оригинала и математической модели.

2. Домашнее задание

1. Изучить теоретические сведения о системе электродистанционного управления углом отклонения карданового узла гироагрегата (ГА-1).

2. По заданным уравнениям получить передаточные функции элементов системы.

3. Изучить схему лабораторной установки и методику выполнения работы.

4. Изучить систему команд в MahtCAD.

3. Лабораторная работа

Часть I

3.1. Краткие теоретические сведения

В общем случае *следящей системой* называется система автоматического управления, реализующая алгоритм функционирования вида

$$y(t) = kx(t),$$

где $y(t)$ – управляемая (выходная) величина системы;

k – коэффициент пропорциональности;

$x(t)$ – управляющая (задающая) величина системы.

Система электродистанционного управления углом отклонения карданового узла ГА является следящей системой и служит для ввода угла коррекции по крену γ в гиروزел ГА – 1.

Упрощенная функциональная схема следящей системы приведена на рис. 1.

В следящую систему входят следующие основные элементы:

1. Сельсинная система (СС) – работает в трансформаторном режиме и выполняет функции задающего элемента, элемента сравнения и преобразующего элемента.

2. Электронный усилитель (ЭУ) – усиливает напряжение сигнала ошибки.

3. Исполнительный двухфазный асинхронный двигатель (ИД) – служит для поворота гиروزла ГА на угол γ .

4. Тахогенератор переменного тока (ТГ) – вырабатывает напряжение скоростной обратной связи, амплитуда которого пропорциональна угловой скорости исполнительного двигателя.

5. Управляющим (входным) сигналом системы является угол крена $\beta(t)$, управляемым (выходным) сигналом системы – угол поворота гиروزла ГА $\alpha(t)$.

Рассмотрим работу элементов следящей системы.

Сельсинная система, работающая в трансформаторном режиме состоит из двух электрически связанных между собой и одинаковых по конструкции электрических машин переменного тока: сельсина-датчика (СД) и сельсина-приемника (СП), имеющих однофазные обмотки (обмотки синхронизации). К однофазной обмотке СД подводится напряжение питания 36В частотой 400Гц; с однофазной обмотки СП снимается напряжение, величина амплитуды и фаза которого зависит от величины и знака сигнала ошибки. Ротор СД поворачивается ручкой ввода угла крена γ . В итоге отработки системы ротор СП поворачивается вместе с карданным подвесом на угол γ исполнительным двигателем.

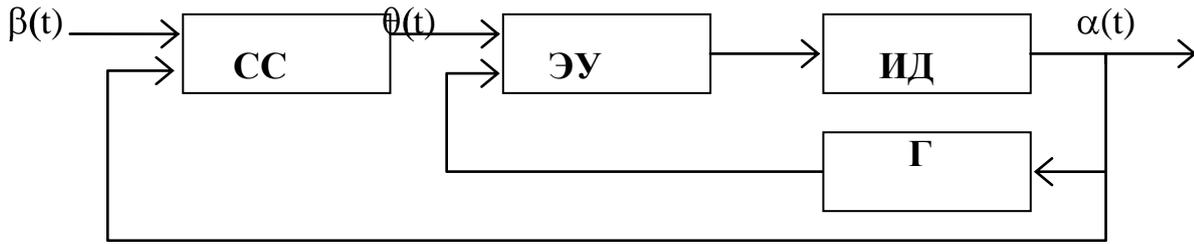


Рис. 1. Упрощенная функциональная схема следящей системы

Сельсинная система, работающая в трансформаторном режиме, имеет две входные и одну выходную переменные. Входными переменными являются угол поворота ротора СД $\beta(t)$ и угол поворота ротора СП $\alpha(t)$. Выходной переменной является амплитуда напряжения, снимаемого с однофазной обмотки СП, которое определяется выражением

$$U_{cm}(t) = k_c \sin [\beta(t) - \alpha(t)] = k_c \sin \theta(t),$$

где k_c – коэффициент передачи сельсинной системы;
 $\theta(t) = \beta(t) - \alpha(t)$ – угол рассогласования или сигнал ошибки.

Таким образом, сельсинная пара выполняет роль сумматора.

График зависимости амплитуды напряжения 400 Гц U_{cm} от величины угла рассогласования θ называется статической характеристикой сельсинной пары в трансформаторном режиме. Коэффициент k_c определяется крутизной статической характеристики в точке, соответствующей началу координат при $\alpha(t) = \beta(t)$.

Обычно следящая система работает при малых углах рассогласования $\theta(t)$. Если $\theta(t) \ll \pi/2$, то можно считать, что

$$U_{cm}(t) = k_c [\beta(t) - \alpha(t)] = k_c \theta(t). \quad (1)$$

Электронный усилитель предназначен для усиления напряжения $U_{cm}(t)$. На вход усилителя подается разность напряжений 400 Гц, снимаемых с однофазной обмотки СП и с выхода тахогенератора переменного тока. Выходной нагрузкой усилителя является обмотка управления исполнительного двигателя. Длительность переходного процесса в усилителе мала и поэтому можно считать, что амплитуда выходного напряжения усилителя U_{ym} определяется выражением

$$U_{ym}(t) = k_y [U_{cm}(t) - U_{TGM}(t)], \quad (2)$$

где k_y – коэффициент усиления усилителя (крутизна статической характеристики усилителя);

U_{mzm} – амплитуда напряжения с выхода тахогенератора.

Исполнительный двухфазный асинхронный двигатель служит для вращения гироузла ГА, ротора СП и ротора тахогенератора. Двигатель обрабатывает

до тех пор, пока не станет равной нулю (близкой к нулю) амплитуда напряжения сигнала ошибки.

Дифференциальное уравнение двигателя относительно угловой скорости имеет вид:

$$T_{\text{дв}} \frac{d\omega_{\text{дв}}(t)}{dt} + \omega_{\text{дв}}(t) = k_{\text{дв}} U_{\text{ум}}(t),$$

где $T_{\text{дв}}$ – постоянная времени двигателя, с;

$\omega_{\text{дв}}$ – угловая скорость ротора двигателя, рад/с;

$$k_{\text{дв}} \cong \left. \frac{\Delta\omega_{\text{дв}}}{\Delta U_{\text{ум}}} \right|_{\substack{M_{\text{дв}} = \text{const} \\ t \rightarrow \infty}} \quad \text{– коэффициент передачи двигателя.}$$

Учитывая, что угловая скорость $\omega_{\text{дв}}(t)$ связана с углом поворота ротора двигателя $\alpha_{\text{дв}}(t)$ уравнением

$$\omega_{\text{дв}}(t) = \frac{d\alpha_{\text{дв}}(t)}{dt},$$

получим дифференциальное уравнение двигателя относительно угла вращения:

$$T_{\text{дв}} \frac{d^2\alpha_{\text{дв}}(t)}{dt^2} + \frac{d\alpha_{\text{дв}}(t)}{dt} = k_{\text{дв}} U_{\text{ум}}(t). \quad (3)$$

Для улучшения качества переходного процесса в следящей системе применяется скоростная отрицательная обратная связь, которой охватывается электронный усилитель и исполнительный двигатель. Напряжение скоростной обратной связи вырабатывается тахогенератором переменного тока, ротор которого вращается исполнительным двигателем. С выходной обмотки тахогенератора снимается переменное напряжение 400 Гц, амплитуда которого пропорциональна угловой скорости ротора тахогенератора, а фаза направлению вращения.

Уравнение тахогенератора имеет вид

$$U_{\text{тр м}}(t) = k_{\text{тр}} \omega_{\text{тр}}(t) = k_{\text{тр}} \frac{d\alpha_{\text{тр}}(t)}{dt}, \quad (4)$$

где $k_{\text{тр}} \cong \frac{dU_{\text{тр м}}}{d\omega_{\text{тр}}}$ – коэффициент передачи тахогенератора;

$\alpha_{\text{тр}}$ – угол поворота ротора тахогенератора.

Рассмотренная следящая система обеспечивает передачу угла поворота с точностью, которая зависит от класса точности используемых в системе сельсинов. Как правило, применяются сельсины 2 класса точности, которые обеспечивают передачу угла поворота с ошибкой $\pm 1,5^\circ$. Такая большая погрешность в значительной степени ограничивает возможность применения рассмотренной выше системы.

Для получения необходимой точности обработки угла отклонения карданового γ применяется двухканальная система, схема которой приведена на рис. 2.

В двухканальную систему входят две сельсинные системы: грубая и точная. Особенностью двухканальной сельсинной системы является то, что при больших углах рассогласования для управления исполнительным двигателем следящей системы используется выходное напряжение СП грубой системы, а при малых рассогласованиях – выходное напряжение СП точной системы. Переключение выходов СП осуществляется с помощью коммутатора, на вход цепи управления которого подается выходное напряжение СП грубой системы.

В данной лабораторной работе исследуется только грубый канал следящей системы. Входным сигналом системы является угол поворота ротора СД грубой системы β , выходным сигналом системы является угол поворота ротора СП грубой системы α .

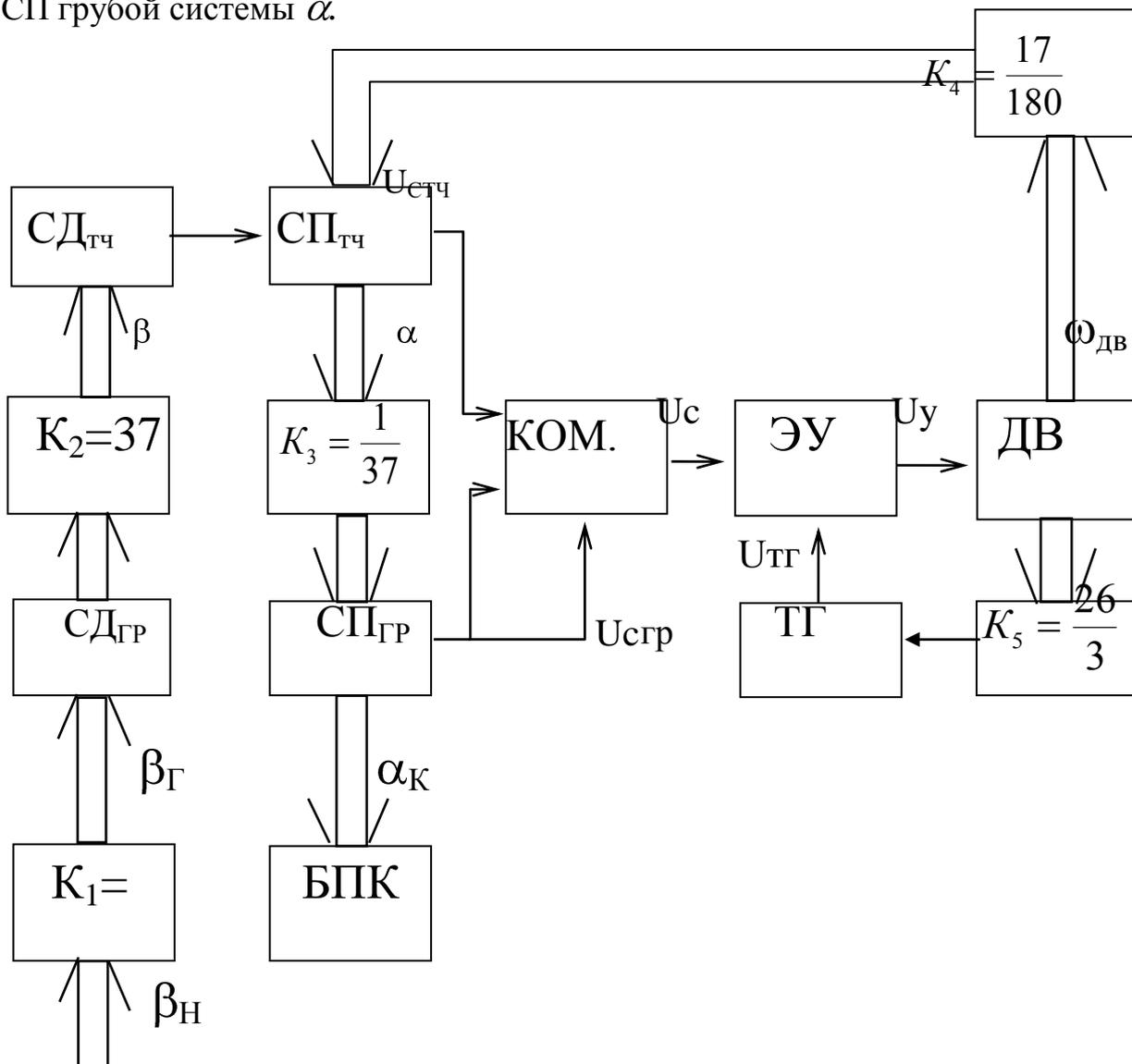


Рис. 2. Функциональная схема двухканальной следящей системы для дистанционного управления углом отклонения карданового узла ГА

Рассмотрим более подробно работу сельсинной пары.

Как было сказано выше, выходной переменной сельсинной пары является амплитуда напряжения, снимаемого с однофазной обмотки СП. Реальные сельсины из-за конструктивных и технологических погрешностей имеют при $\theta \approx 0$ ненулевое (остаточное) напряжение, т.е. напряжение $U_{\text{вых}} \neq 0$. Последнее составляет 0.2 – 0.3 % от максимального амплитудного значения $U_{\text{вых}}$. Формально нелинейным параметром такой симметричной нечётной характеристики является зона неопределённости $\Delta\theta$ устойчивого нуля, которая определяет статическую ошибку системы (рис. 3).

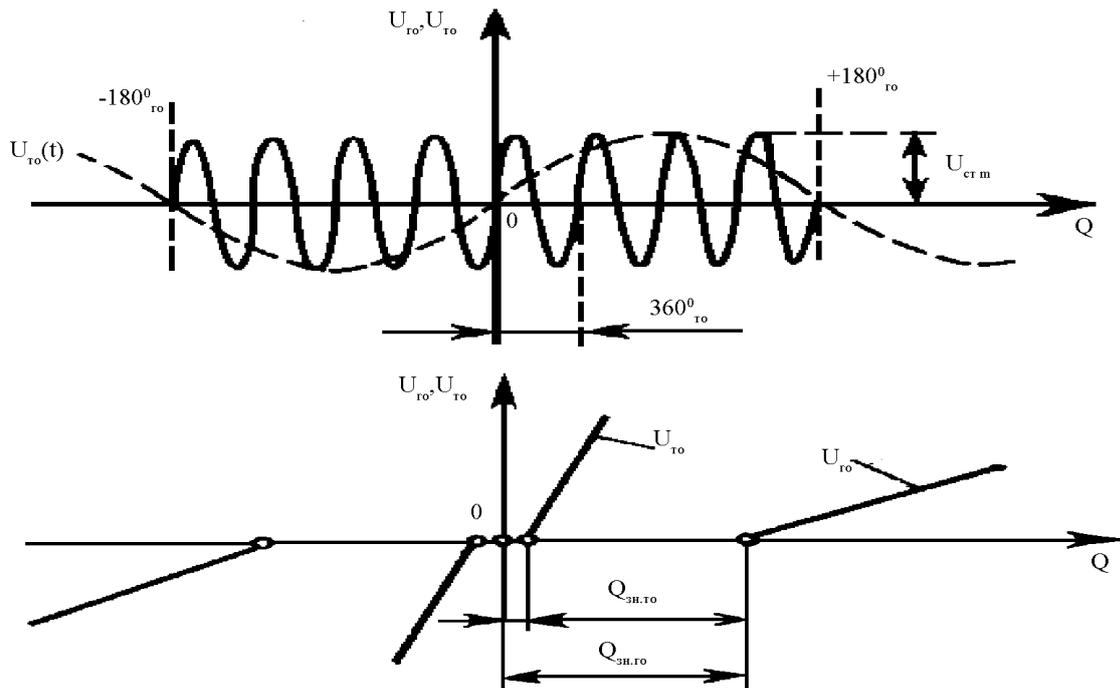


Рис. 3. Статические характеристики сельсинов

Как уже было сказано, следящая система обеспечивает передачу угла поворота с точностью, которая зависит от класса точности используемых в системе сельсинов. Как правило, применяются сельсины 2-го класса точности, которые обеспечивают передачу угла поворота с точностью $\pm 1.5^\circ$.

Для получения необходимой, более высокой точности отработки угла применяется двухканальная сельсинная система, изображённая на рис. 4.

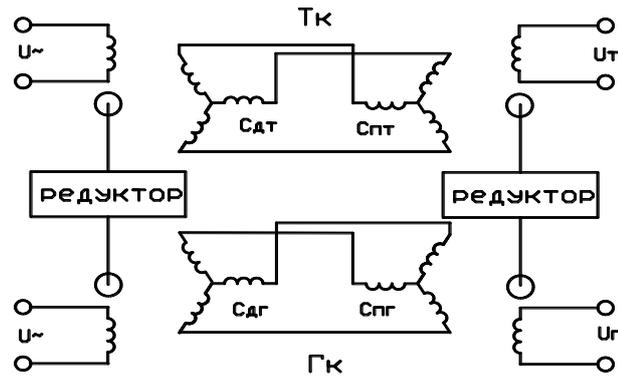


Рис. 4. Функциональная схема двухканальной сельсинной системы

Точность дистанционной передачи сельсинов в трансформаторном режиме угловых перемещений зависит от максимально допустимой ошибки сельсинной пары. Для уменьшения величины этой ошибки применяют повышающие механические передачи между точным и грубым каналами сельсинных пар. В этом случае максимально допустимая погрешность будет определяться зависимостью [3]:

$$\Delta\theta_{\text{двух}} = \frac{\Delta\theta}{i},$$

где $i_{ред}$ – передаточное отношение сельсинного редуктора.

Соответственно, применение двухконтурной сельсинной схемы с редуктором рис. 5, передаточное отношение которого $i_{ред}=37$, позволяет уменьшить максимально допустимую погрешность, а значит повысить точность дистанционной передачи угла отклонения примерно в 37 раз.

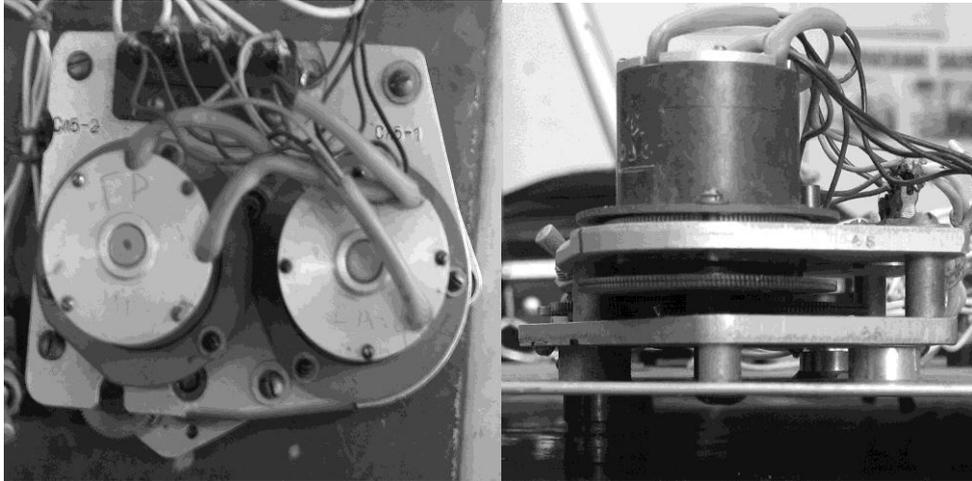


Рис. 5. Сельсины-датчики грубого и точного каналов с механизмом редукторов

Для улучшения переходного процесса в следящей системе применяется скоростная обратная связь, которой охватывается электронный усилитель и исполнительный двигатель. Напряжение скоростной обратной связи вырабатывается тахогенератором (рис. 6) переменного тока, ротор которого вращается ис-

полнительным двигателем. С выходной обмотки тахогенератора снимается переменное напряжение частотой 400 Гц, амплитуда которого пропорциональна угловой скорости ротора тахогенератора, а фаза направлению вращения.

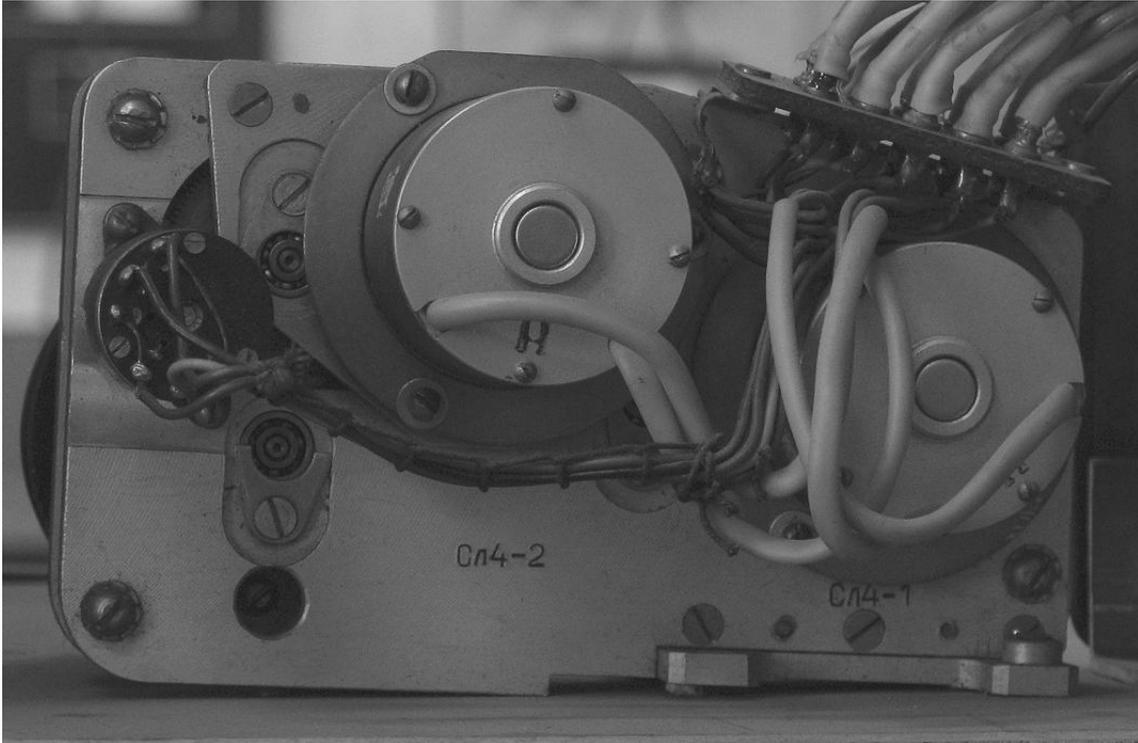


Рис. 6. Тахогенератор, объединённый в один механический блок с исполнительным двигателем, сельсинами-приёмниками грубого и точного канала и редукторами

3.2. Описание лабораторной установки

В лабораторную установку, схема которой приведена на рис.7, входят:

- исследуемая следящая система;
- вспомогательная сельсинная система со своим сельсин-датчиком СД_{ВС} и сельсином-приемником СП_{ВС};
- лабораторная панель со схемой, выключателями и гнездами.

При исследовании следящей системы используются измерительные приборы:

- электронные милливольтметры переменного тока;
- осциллограф.

На лицевую панель выведены:

- ручка настройки исследуемой следящей системы;
- ручка настройки вспомогательной сельсинной системы, напряжение с выхода которой используется для снятия статических и динамических характеристик элементов исследуемой системы;
- выключатель **S1** для подключения питания установки напряжением 115 В 400 Гц;

- переключатель **S2** для подключения электронного усилителя либо к выходу СП исследуемой системы, либо к выходу СП вспомогательной сельсинной системы;
- выключатель **S3** для подключения скоростной обратной связи (выхода тахогенератора);
- выключатели **S4, S5** для включения напряжения питания тахогенератора и исполнительного двигателя, соответственно;
- переключатель **S6** используется для включения и выключения цепи управления коммутатором каналов следящей системы. Если цепь управления коммутатора выключена, то точная сельсинная система не включится в контур следящей системы и для управления двигателем используется выходное напряжение грубой следящей системы;
- клеммы для измерения напряжения на входе и выходе элементов системы.

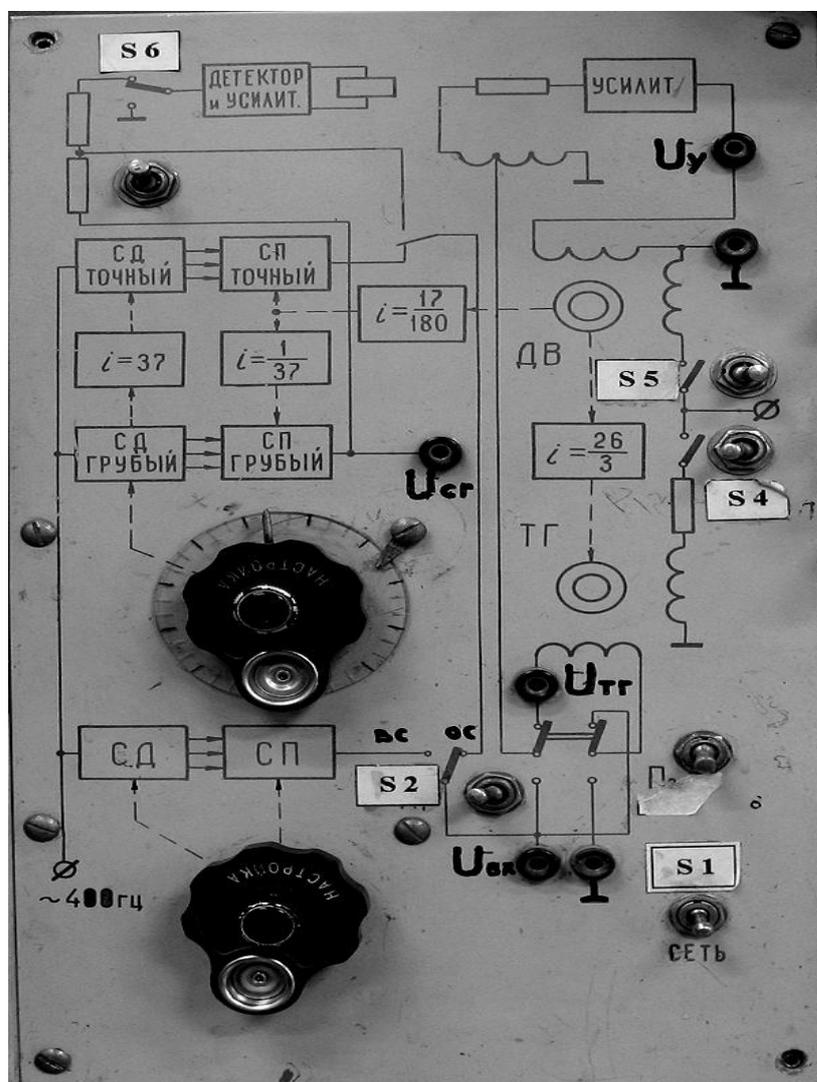


Рис. 7. Внешний вид панели лабораторной установки

3.3. Задание по первой части лабораторной работы

1. Снять и построить статическую характеристику грубой сельсинной системы. Определить по ней коэффициент передачи K_c .
2. Снять и построить статические характеристики усилителя, исполнительного двигателя и тахогенератора. Определить по ним коэффициенты передачи K_u , $K_{дв}$, $K_{тг}$.
3. Снять кривую переходного процесса исполнительного двигателя и определить по ней постоянную времени $T_{дв}$.
4. Записать передаточные функции элементов системы с учетом полученных экспериментально параметров элементов следящей системы.

3.4. Методика выполнения первой части лабораторной работы

По пункту 1 задания

Выключатели **S3**, **S4**, **S5**, **S6** выключить, а переключатель **S2** поставить в положение “ОСН”. Включить питание лабораторной установки с помощью выключателя **S1**. Вращая ручку настройки точной сельсинной системы, установить по минимуму показания милливольтметра в нулевое рассогласование в точной сельсинной системе. Установить нулевое положение шкалы. Вращая ручку грубой настройки, устанавливая угловое рассогласование, измерить амплитуду выходного напряжения точной сельсинной системы. При снятии характеристики следует задавать как положительные, так и отрицательные значения угла рассогласования (угол рассогласования составляет 13/40 угла поворота ручки грубой настройки).

Построить статическую характеристику сельсинной системы и определить по ней коэффициент передачи (крутизну статической характеристики в начале координат) как

$$K_c = \frac{\Delta U_{cm}}{\Delta \theta} \quad \frac{В}{рад}.$$

По пункту 2 задания

Для снятия статических характеристик электронного усилителя, исполнительного двигателя и тахогенератора (они снимаются одновременно) следует переключатель **S2** установить в положение “ВСП”, подать напряжение питания двигателя и тахогенератора, включив **S5** и **S4**; выключатели **S3** и **S6** отключены. Вращая ручку настройки вспомогательной сельсинной системы

(при этом двигатель и тахогенератор не вращаются), изменяя выходное напряжение вспомогательной сельсинной системы, измерить амплитуды входного и выходного напряжений электронного усилителя. Для определения угловой скорости вращения ротора СП_{ГР}, необходимо измерить период изменения амплитуды выходного напряжения этой системы T_K или удвоенный период колебания стрелки милливольтметра, подключенного к клеммам $U_{СГР}$ (для измерения T_K можно использовать осциллограф). При этом угловая скорость вращения ротора СП_{ГР}:

$$\omega_{СП} = \frac{2\pi}{T_K} \frac{\text{рад.}}{\text{с.}}$$

При построении статических характеристик двигателя и тахогенератора следует учесть, что угловые скорости роторов двигателя тахогенератора соответственно в $37 \times 180 / 17$ и $37 \times 180 \times 26 / 17 \times 3$ раз больше угловой скорости ротора СП_{ГР}.

По построенным характеристикам определить коэффициенты передачи:

усилителя	$K_y = \frac{\Delta U_{ym}}{\Delta U_{BXm}} \frac{\text{В}}{\text{В}}$
-----------	--

двигателя	$K_{ДВ} = \frac{\Delta \omega_{дв}}{\Delta U_{ym}} \frac{\text{рад.}}{\text{с} \cdot \text{В}}$
-----------	---

тахогенератора	$K_{ТГ} = \frac{\Delta U_{ТГm}}{\Delta \omega_{ТГ}} \frac{\text{В} \cdot \text{с.}}{\text{рад}}$
----------------	--

По пункту 3 задания

Исходное положение выключателей такое же, как в п.2. Подключить осциллограф, работающий в режиме ждущей развертки и внутренней синхронизации, к клеммам $U_{ТГ}$. Вращая ручку настройки вспомогательной следящей системы, установить устойчивый режим работы двигателя. Выключая, а затем включая напряжение питания двигателя, снять переходную характеристику двигателя. По переходной характеристике определить постоянную времени двигателя $T_{ДВ}$.

3.5. Указания к составлению отчета

Изобразить функциональную схему исследуемой следящей системы.

Написать уравнения и передаточные функции элементов системы.

Представить результаты измерений, сведенные в таблицы.

Построить графики статических характеристик и определить значения коэффициентов передачи элементов системы.

Построить переходную характеристику двигателя и определить значение постоянной времени двигателя.

Написать передаточные функции элементов системы с числовыми данными.

Сделать краткие выводы по работе.

3.6. Контрольные вопросы

1. Какие переменные являются входными и выходными величинами элементов системы?

2. Какие переменные являются управляющими и управляемыми в системе электродистанционной настройки приемника?

3. Как по уравнениям элементов системы получить уравнение статических характеристик?

4. Как определяются коэффициенты передачи элементов системы?

5. Как определяются передаточные функции элементов системы?

6. Как определяется постоянная времени двигателя?

7. Каким образом в лабораторной установке определяются скорости вращения роторов двигателя и тахогенератора?

8. Укажите, какими типовыми звеньями описываются элементы следящей системы.

9. Нарисуйте структурные схемы элементов следящей системы.

10. Каким способом возможно определить коэффициенты передачи и постоянные времени элементов системы автоматического управления?

5. Лабораторная работа Часть II

4.1. Краткие теоретические сведения

4.1.1. Исследование динамических характеристик системы

Основной динамической характеристикой системы является переходная функция системы или переходной процесс. Исследуемая следящая система, как будет показано ниже, описывается передаточной функцией устойчивого колебательного звена:

$$W_c(s) = \frac{1}{T^2 S^2 + 2T\xi S + 1}, \quad \xi < 1, \quad (5)$$

где T – постоянная времени системы;
 ξ – коэффициент демпфирования;
 S – оператор Лапласа (комплексная переменная).

Переходная функция устойчивого колебательного звена имеет вид [2]:

$$h(t) = \left[1 - \frac{e^{-\frac{\xi}{T}t}}{\sqrt{1-\xi^2}} \cdot \sin \left(\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T} \cdot t + \arctg \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi} \right) \right] \cdot 1. \quad (6)$$

В общем виде определяем передаточную функцию исследуемой следящей системы. Передаточная функция последовательного соединения звеньев прямой цепи схемы, представлена на рис. 7;

$$W_{ny}(s) = \prod_{i=1}^n W_i(s). \quad (7)$$

При охвате прямой цепи жёсткой обратной связью передаточная функция в общем виде, согласно [2]

$$W_{\circ} = \frac{W_{ny}}{1 \pm W_{ny}}. \quad (8)$$

При отрицательной обратной связи в формуле (8) ставится знак «+», а при положительной – ставится «-».

4.1.2. Определение переходного процесса грубого канала сельсинной следящей системы без скоростной обратной связи

Структурно-динамическая схема грубого канала следящей системы без скоростной обратной связи представлена на рис. 8.

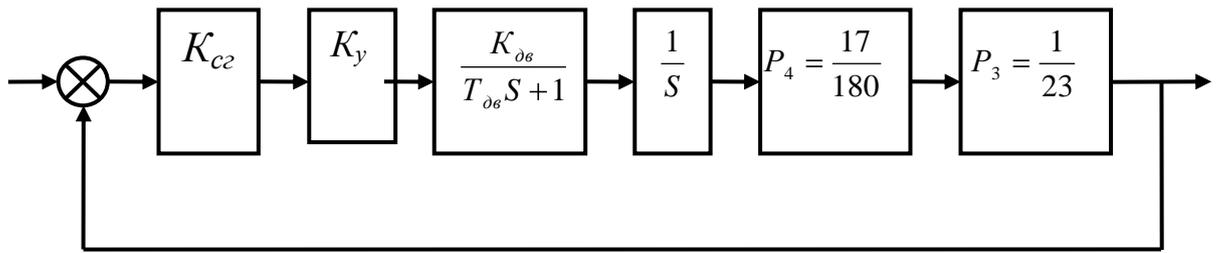


Рис. 8. Структурно-динамическая схема грубого канала следящей системы без скоростной обратной связи

В схеме приняты следующие обозначения:

$K_c, K_y, \frac{K_{\delta\epsilon}}{T_{\delta\epsilon}S + 1}$ – передаточные функции сельсина, усилителя и двигателя соответственно;

для соответственно;

$P_3=1/23, P_4=17/180$ – передаточные числа редукторов.

В соответствии со схемой рис. 8 передаточная функция точной следящей сельсинной системы с отрицательной обратной связью будет:

$$W_{cz} \overset{\sim}{=} \frac{K_{cz} \cdot K_y \cdot \frac{K_{\delta\epsilon}}{T_{\delta\epsilon}S + 1} \cdot \frac{1}{S} \cdot P_3 \cdot P_4}{1 + K_{cz} \cdot K_y \cdot \frac{K_{\delta\epsilon}}{T_{\delta\epsilon}S + 1} \cdot \frac{1}{S} \cdot P_3 \cdot P_4} \quad (9)$$

Преобразуя (9), получим:

$$W_{cz} \overset{\sim}{=} \frac{1}{\left(\frac{T_{\delta\epsilon}}{K_{cz} \cdot K_y \cdot K_{\delta\epsilon} \cdot P_3 \cdot P_4} \right) S^2 + \left(\frac{1}{K_{cz} \cdot K_y \cdot K_{\delta\epsilon} \cdot P_3 \cdot P_4} \right) S + 1} \quad (10)$$

Если принять:

$$T = \sqrt{\frac{T_{\delta\epsilon}}{K_{cz} \cdot K_y \cdot K_{\delta\epsilon} \cdot P_3 \cdot P_4}}; \quad (11)$$

$$\xi = \frac{2T}{K_{cz} \cdot K_y \cdot K_{\delta\epsilon} \cdot P_3 \cdot P_4} \quad (12)$$

то, подставив (11) и (12) в (10), получим передаточную функцию устойчивого колебательного звена:

$$W_{cm} \overset{\sim}{=} \frac{1}{T^2 S^2 + 2T\xi S + 1}.$$

Далее, необходимо построить переходный процесс грубого канала сельсинной следящей системы без скоростной обратной связи на основании (6), (11), (12) с учётом определённых в первой части лабораторной работы переда-

точных коэффициентов элементов системы. Строить переходный процесс следует в операционной среде MathCAD 11. Из полученного графика определяем: $t_p(c)$ – время переходного процесса до вхождения в 5%-ю трубку (линии A_1 и A_2); $\delta\%$ – величину перерегулирования; – количество пиков колебаний амплитуды составляет до вхождения в 5%-ю трубку.

4.1.3. Определение переходного процесса грубого канала сельсинной следящей системы при наличии скоростной обратной связи

Структурно-динамическая схема грубой следящей системы при наличии скоростной обратной связи представлена на рис. 9.

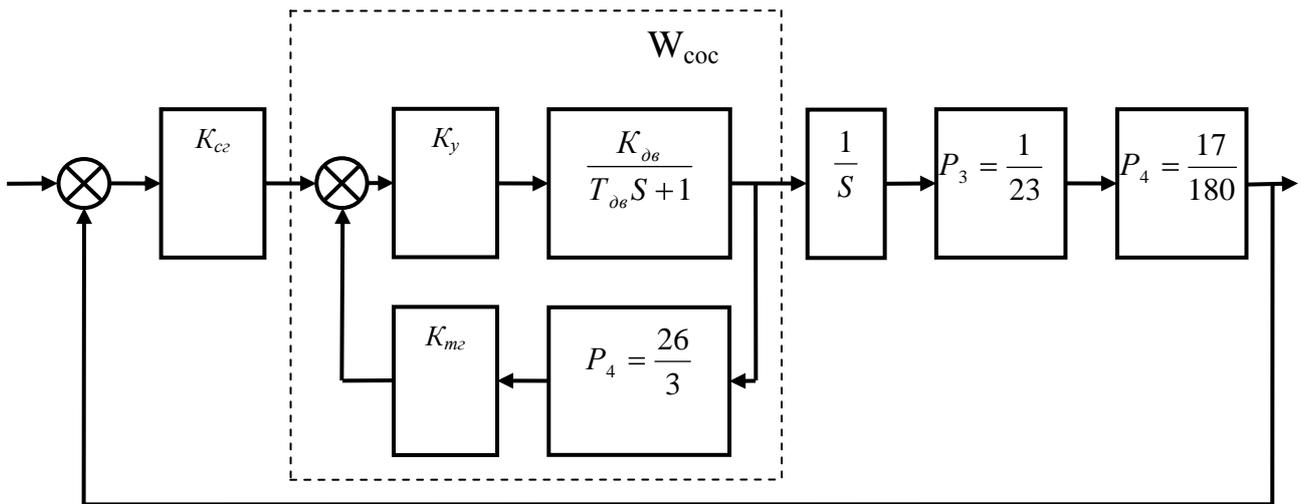


Рис. 9. Структурно-динамическая схема грубого канала следящей системы при наличии скоростной обратной связи

В схеме приняты следующие обозначения:

$K_{c2}, K_y, \frac{K_{\delta\epsilon}}{T_{\delta\epsilon}S + 1}, K_{m2}$ – передаточные функции сельсина, усилителя, двигателя и тахогенератора соответственно;

$P_3=1/23, P_4=17/180, P_5=26/3$ – передаточные функции редукторов.

Тогда, согласно (7) и (8) передаточная функция контура скоростной обратной связи:

Тогда, согласно (7) и (8) передаточная функция контура скоростной обратной связи:

$$W_{\text{сос}} \approx \frac{K_y \cdot \frac{K_{\delta\epsilon}}{T_{\delta\epsilon}S + 1}}{1 + K_y \cdot \frac{K_{\delta\epsilon}}{T_{\delta\epsilon}S + 1} \cdot K_{m2} \cdot P_5} \quad (13)$$

После преобразований получим:

$$W_{\text{сос}} \approx \frac{K_y \cdot K_{\delta\epsilon}}{\frac{K_{\delta\epsilon}}{T_{\delta\epsilon}S + 1} + K_y \cdot K_{\delta\epsilon} \cdot K_{m2} \cdot P_5} \quad (14)$$

Следовательно, мы получили схему с единичной отрицательной обратной связью, приведённую на рис. 10.

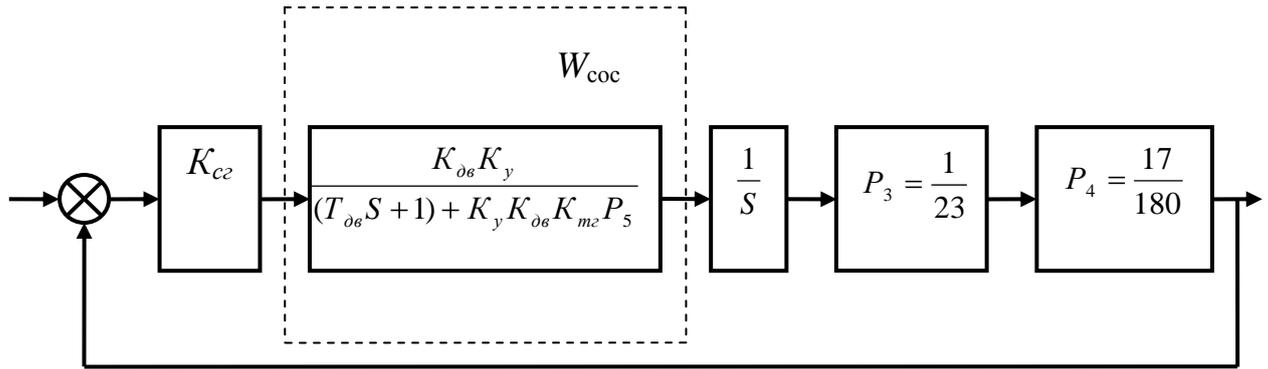


Рис. 10. Эквивалентная структурно-динамическая схема грубого канала следящей системы при наличии скоростной обратной связи

Согласно (8) и (13) определим передаточную функцию следящей системы при наличии скоростной обратной связи:

$$W_{\text{сгос}} = \frac{K_{cz} \cdot \frac{K_{\delta\theta} \cdot K_y}{(T_{\delta\theta} S + 1) + K_{\delta\theta} \cdot K_y \cdot K_{mz} \cdot P_5} \cdot \frac{1}{S} \cdot P_3 \cdot P_4}{1 + K_{cz} \cdot \frac{K_{\delta\theta} \cdot K_y}{(T_{\delta\theta} S + 1) + K_{\delta\theta} \cdot K_y \cdot K_{mz} \cdot P_5} \cdot \frac{1}{S} \cdot P_3 \cdot P_4}. \quad (15)$$

Преобразуя (15), получим:

$$W_{\text{сгос}} = \frac{1}{\left(\frac{T_{\delta\theta}}{K_{cz} \cdot K_y \cdot K_{\delta\theta} \cdot P_3 \cdot P_4} \right) \cdot S^2 + 2 \cdot \left(\frac{P_5 \cdot K_{mz}}{K_{cz} \cdot P_3 \cdot P_4} \right) \cdot S + 1}. \quad (16)$$

$$\text{Если принять } T = \sqrt{\frac{T_{\delta\theta}}{K_{cz} \cdot K_y \cdot K_{\delta\theta} \cdot P_3 \cdot P_4}}, \quad (17)$$

$$\xi = \frac{T \cdot P_5 \cdot K_{mz}}{K_{cz} \cdot P_3 \cdot P_4}, \quad (18)$$

то, подставив (17) и (18) в (16), получим передаточную функцию устойчивого колебательного звена:

$$W_{\text{сгос}} = \frac{1}{T^2 S^2 + 2T\xi S + 1}.$$

Переходный процесс грубого канала сельсинной следящей системы при наличии скоростной обратной связи на основании (6), (17), (18) построим, учитывая определённые в первой части работы передаточные коэффициенты элементов системы, в операционной среде Math CAD 11. Листинг программы для построения приведён на рис. 11.

$$T_{дв} := 0.55 \text{ [с]} \quad K_c := 7.545 \text{ [В/рад]} \quad K_{дв} := 7.86 \text{ [рад/Вс]}$$

$$P_2 := \frac{1}{23} \quad P_3 := \frac{17}{180} \quad P_4 := \frac{26}{3} \quad K_y := 17.931 \text{ [В/В]} \quad K_{тр} := 0.0005 \text{ [Вс/рад]}$$

$$T := \sqrt{\frac{T_{дв}}{K_y \cdot K_{дв} \cdot K_c \cdot P_3 \cdot P_2}} \quad T = 0.355 \text{ [с]}$$

$$\xi := \frac{K_{тр} \cdot P_4}{K_c \cdot T \cdot P_3 \cdot P_2} \quad \xi = 0.394$$

$$t := 0, 0.05..5$$

$$h(t) := \left(1 - \frac{e^{-t \frac{\xi}{T}}}{\sqrt{1 - \xi^2}} \cdot \sin \left(\frac{\sqrt{1 - \xi^2}}{T} \cdot t + \operatorname{atan} \left(\frac{\sqrt{1 - \xi^2}}{\xi} \right) \right) \right) \quad A_1 := 1.025$$

$$A_2 := 0.975$$

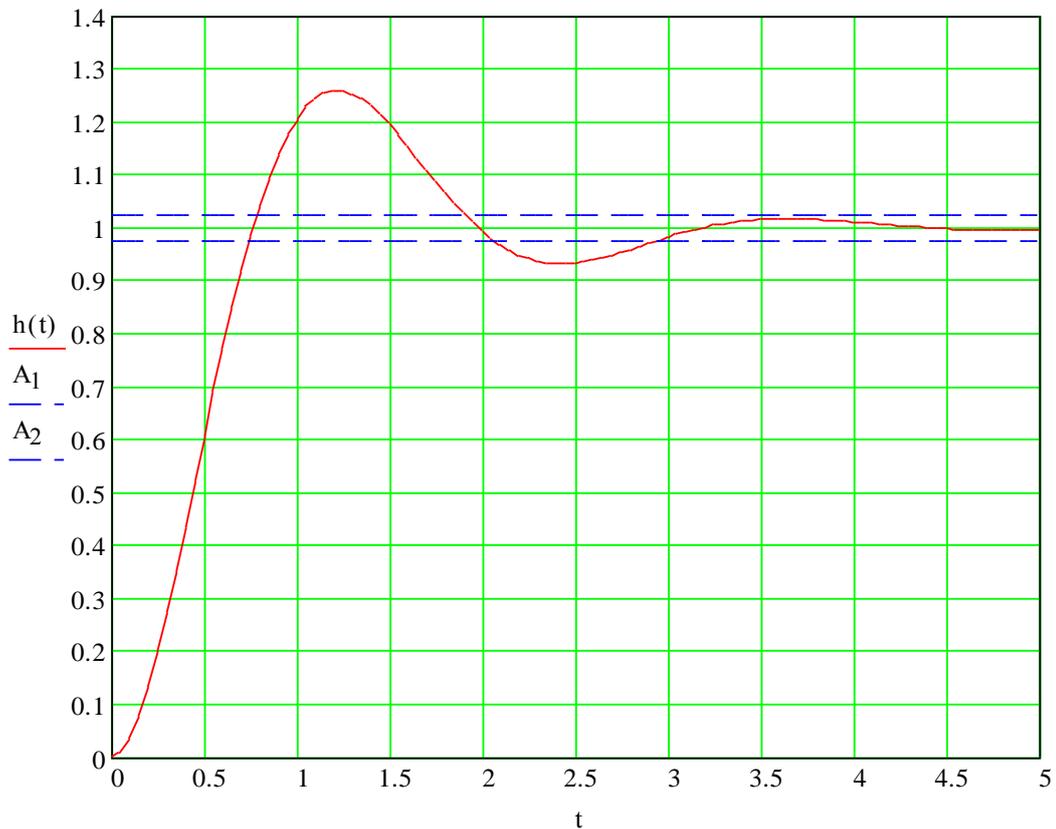


Рис.11. Листинг программы для построения переходного процесса

4.2. Задание по второй части лабораторной работы

1. Построить переходный процесс грубого канала сельсинной следящей системы без скоростной обратной связи на основании (6), (11), (12) с учётом

определённых в первой части лабораторной работы передаточных коэффициентов элементов системы. Строить переходный процесс следует в операционной среде Math CAD 11.

Из полученного графика необходимо определить параметры качества исследуемой САУ:

- $t_p(c)$ – время переходного процесса до вхождения в 5%-ю трубку (линии A_1 и A_2);

- δ % – величину перерегулирования;

- количество пиков колебаний амплитуды до вхождения в 5%-ю трубку.

2. Построить переходный процесс грубого канала сельсинной следящей системы при наличии скоростной обратной связи на основании (6), (11), (12) учитывая определённые в первой части работы передаточные коэффициенты элементов системы. Строить переходный процесс в операционной среде Math CAD 11. Из полученного графика необходимо определить параметры качества исследуемой САУ

3. Построить переходный процесс грубого канала сельсинной следящей системы при отсутствии и при наличии скоростной обратной связи экспериментальным путём с помощью цифрового осциллографа GDS-820C и определить параметры качества исследуемой САУ.

Сравнить параметры качества САУ, полученные аналитическими расчётами и экспериментальным путём.

4.3. Методика выполнения второй части лабораторной работы

По пункту 1 и 2 задания

Построить переходный процесс системы в операционной среде Math CAD 11, используя ЭВМ. Листинг примера расчёта переходного процесса представлен на рис. 11.

По пункту 3 задания

Необходимо получить переходный процесс экспериментально, подключив осциллограф или к клеммам на выходе тахогенератора $U_{тг}$, или на выходе усилителя U_y , или на выходе сельсина – приёмника точного канала $U_{свс}$. Причём при различных сигналах до начала системой отработки согласования сигнала переходный процесс во всех точках подключения осциллографа будет индентифицироваться на экране осциллографа совершенно одинаково. Причем, это будет переходной процесс по ошибке, так как его измерения происходят внутри замкнутого контура САУ.

Для получения переходного процесса без скоростной обратной связи переключатель **S2** устанавливается в положение “ОСН” для включения цепи основного сельсина, отключается скоростная обратная связь выключателем **S3**, включается питание цепи управления коммутатором переключателем **S6**, вы-

ключается питание исполнительного двигателя выключателем **S4**, питание тахогенератора включается выключателем **S5**. Включается питание лабораторной установки выключателем **S1**, ручкой основного сельсина устанавливается рассогласование сельсина-датчика и сельсина-приёмника таким образом, чтобы коммутатор переключился на пропускание сигнала с сельсина-приёмника грубого канала, включаем питание исполнительного двигателя выключателем **S4** и на экране осциллографа наблюдается изменение амплитуды напряжения при отработке системой согласования сигнала или сигнала ошибки.

Переходный процесс грубого канала сельсинной следящей системы с отключённой скоростной обратной связью, который снимается на выходе сельсина-приёмника точного канала и индицируется на экране осциллографа при его подключении к клеммам $U_{cвс}$, приведен на рис. 12.

Из рис. 12 видно, что время переходного процесса составляет $T=1.05$ с. При включении питания исполнительного двигателя выключателем **S4** двигатель начинает вращаться и поворачивает ротор сельсина-приёмника грубого канала до тех пор, пока напряжение с его сигнальной обмотки не станет близким к нулю (при первоначальном напряжении рассогласования с выхода сигнальной обмотки сельсина-приёмника грубого канала $U_{c2}=3.2$ В двигатель перестаёт работать при уменьшении напряжения до $U_{c2}=0.6$ В). Переходный процесс происходит без видимого перерегулирования (двигатель вращается в одну сторону).

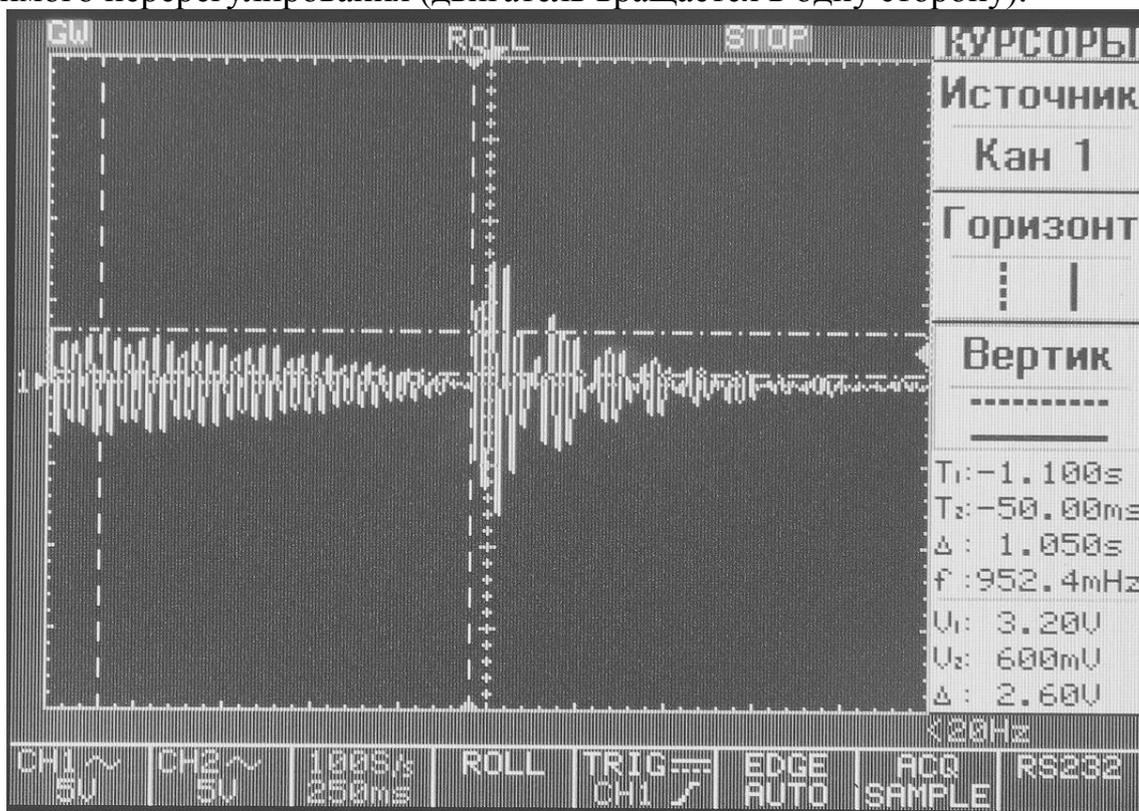


Рис. 12. Переходный процесс грубого канала сельсинной следящей системы с отключённой скоростной обратной связью, индицируемый на экране осциллографа

Для получения переходного процесса грубого канала следящей системы с включённой скоростной обратной связью включаем контур скоростной обратной связи переключателем **S3**, включаем питание лабораторной установки выключателем **S1**, ручкой основного сельсина устанавливаем рассогласование сельсина-датчика и сельсина-приёмника таким образом, чтобы коммутатор переключился на пропускание сигнала с сельсина-приёмника грубого канала, включаем питание исполнительного двигателя выключателем **S4** и на экране осциллографа наблюдаем изменение амплитуды напряжения при отработке системой согласования сигнала. Переходный процесс грубого канала сельсинной следящей системы, индицируемый на экране осциллографа, который подключен к клеммам $U_{свс}$, приведен на рис. 12. Из него видно, что время переходного процесса составляет $T=1.1$ с. Переходный процесс происходит без перерегулирования.

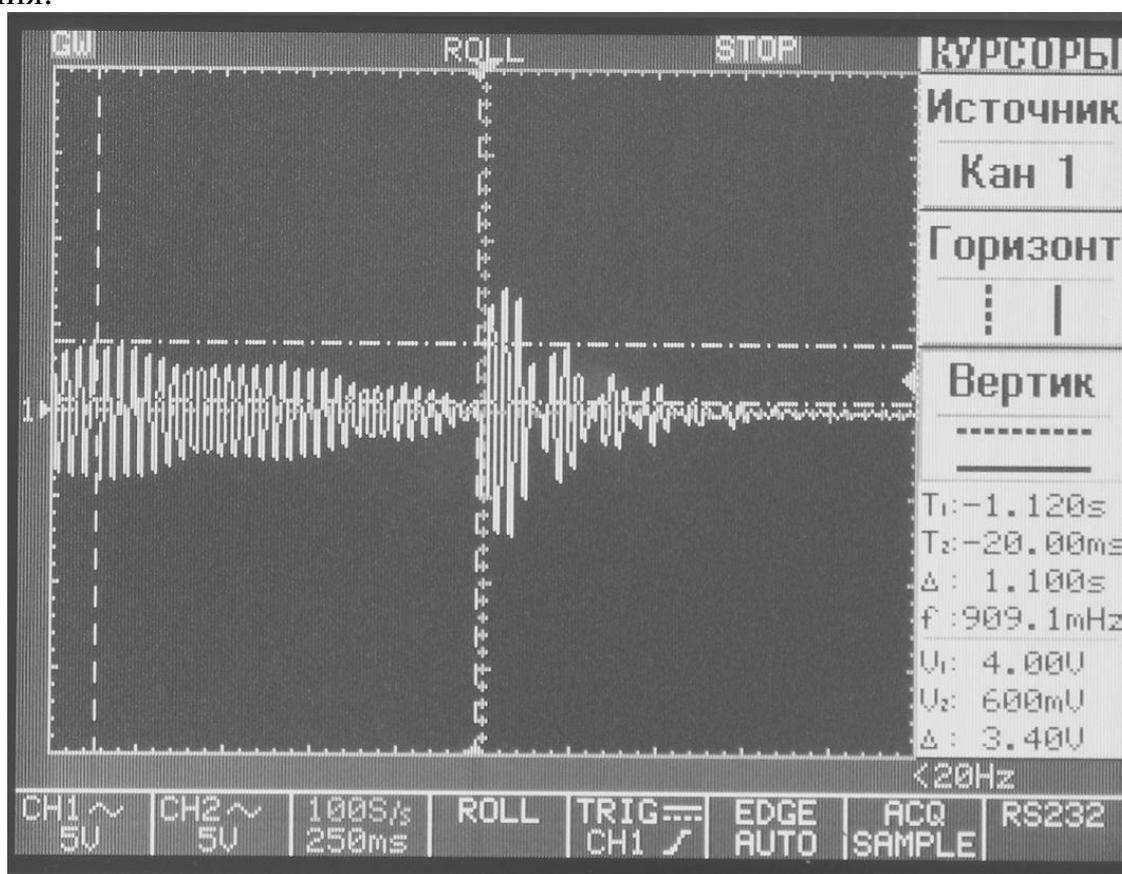


Рис. 13. Переходный процесс грубого канала сельсинной следящей системы с включённой скоростной обратной связью, индицируемый на экране осциллографа

4.4. Указания к составлению отчета

1. Изобразить структурно-динамические схемы грубого канала следящей системы без скоростной обратной связи и со скоростной обратной связью.
2. Написать уравнения и передаточные функции исследуемых систем.

3. Построить переходные характеристики грубого канала следящей системы без скоростной обратной связи и со скоростной обратной связью в операционной среде Math CAD 11.

4. Снять переходный процесс грубого канала сельсинной следящей системы с отключённой и подключенной скоростной обратной связью и проинципировать его на экране цифрового осциллографа GDS-820C.

5. Из полученных графиков определить параметры качества исследуемой САУ:

- $t_p (c)$ – время переходного процесса до вхождения в 5%-ю трубку;
 - δ % – величину перерегулирования;
 - количество пиков колебаний амплитуды до вхождения в 5%-ю трубку.
- Сделать краткие выводы по работе.

4.5. Контрольные вопросы

1. Как определяется T – постоянная времени системы и ζ – коэффициент демпфирования системы через параметры передаточных функций элементов системы?

2. Чем отличается T – постоянная времени системы от t_p – время регулирования системы?

3. Как определяется t_p – время регулирования системы по графику переходного процесса?

4. Как определяется δ % – величина перерегулирования по графику переходного процесса?

Литература

1. Солодовников В.В., Плотников В.Н., Яковлев А.В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования. – М.: Машиностроение, 1985.

2. Теория автоматического управления / под ред. акад. А.А. Воронова. – М.: Высшая школа, 1986. – Ч. 1, – Ч. 2.

3. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование // Теория и элементы систем. – М.: Машиностроение, 1978.

4. Пантелеев А.В. Теория управления в примерах и задачах: учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 2003.

4. Глухов В.В. Теория автоматического управления. – М.: МГТУ ГА, 2006. – Ч. 1.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель работы.....	3
2. Домашнее задание.....	3
3. Лабораторная работа. Часть I.....	4
3.1. Краткие теоретические сведения.....	4
3.2. Описание лабораторной установки.....	10
3.3. Задание по первой части лабораторной работы.....	12
3.4. Методика выполнения первой части лабораторной работы	12
3.5. Указания к составлению отчета.....	13
3.6. Контрольные вопросы.....	14
4. Лабораторная работа. Часть II.....	15
4.1. Краткие теоретические сведения.....	15
4.1.1. Исследование динамических характеристик системы.....	15
4.1.2. Определение переходного процесса грубого канала сельсинной следящей системы без скоростной обратной связи.....	15
4.1.3. Определение переходного процесса грубого канала сельсинной следящей системы при наличии скоростной обратной связи.....	17
4.2. Задание по второй части лабораторной работы.....	19
4.3. Методика выполнения второй части лабораторной работы.....	20
4.4. Указания к составлению отчета.....	22
4.5. Контрольные вопросы.....	23
Литература.....	23