

«УТВЕРЖДАЮ»

Зав. кафедрой ТПС

\_\_\_\_\_ Бориков В.Н.

\_\_\_\_\_ 2017 г.

## **Система дистанционной передачи угла**

**Т.Г.Нестеренко**

Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторной работы для студентов,  
обучающихся по направлению 12.03.01 – «Приборостроение»

УДК 629.7.064.011.2

**Нестеренко Т.Г.**

Система дистанционной передачи угла. Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторной работы для студентов, обучающихся по направлению 12.03.01 – «Приборостроение»/ сост. Нестеренко Т.Г; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 10 с.

**УДК 629.7.064.011.2**

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры точного приборостроения ИНК

*Рецензент*

Кандидат технических наук, доцент

*Мартемьянов В.М.*

# ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ УГЛА

## 1. Цель работы

Целью лабораторной работы является изучение элементов, схемы, принципа действия следящей системы; экспериментальное определение характеристик системы дистанционной передачи угла.

## 2. Принцип действия системы дистанционной передачи угла

Система дистанционной передачи угла (рис.1) состоит из измерителя рассогласования, построенного на сельсинах (датчик Д и приемник Пр), усилителя (Ус), двигателя с редуктором (Д-Р). Сигнал рассогласования, пропорциональный разности углов поворота роторов сельсина датчика и сельсина приёмника подаётся на усилитель и затем на двигатель. Двигатель через редуктор обрабатывает угол рассогласования до согласованного положения между углами поворота  $\alpha$  и  $\beta$ , преодолевая момент нагрузки  $M_n$  на выходной оси.

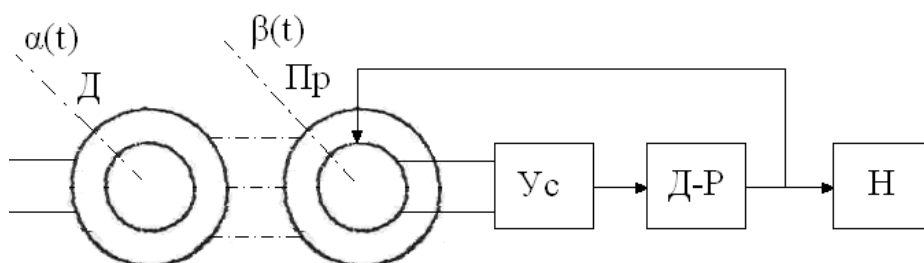


Рис.1. Схема системы дистанционной передачи угла.

### 2.1. Основные источники погрешностей следящих систем.

Суммарная погрешность  $\delta_{\max}$  динамической  $\delta_d$ , моментной  $\delta_m$  и инструментальной  $\delta_i$  погрешностей следящей системы состоит из  $\delta_{\max} = \delta_d + \delta_m + \delta_i$ .

$$\delta_{\max} = \delta_d + \delta_m + \delta_i$$

**Динамическая погрешность** следящей системы характеризует точность воспроизведения задающего воздействия и представляет собой разность между угловыми положениями входной и выходной осей при произвольном законе вращения входной оси. Динамическая погрешность зависит от закона изменения задающего воздействия и определяется как

$$\delta_d = \delta_{\text{поз}} + \delta_{\text{ск}} + \delta_{\text{уск}} \quad (2)$$

где  $\delta_{\text{поз}}$  - позиционная погрешность, представляет собой разность между угловыми положениями входной и выходной осей при повороте входной оси на заданный угол;  $\delta_{\text{ск}}$  - скоростная погрешность, зависит от скорости изменения задающего воздействия (скорости вращения входного вала),  $\delta_{\text{уск}}$  - погрешность следящей системы, зависящая от ускорения изменения задающего воздействия.

**Моментная погрешность** обусловлена возмущающими моментами и определяется как

$$\delta_m = M_n / K_m \quad (3)$$

где:  $M_n$  - момент нагрузки,  $K_m$  - коэффициент передачи системы по моменту.

**Инструментальная погрешность**  $\delta_i$  следящей системы зависит от инструментальных погрешностей её элементов (измерителя рассогласования, усилителя,

двигателя, редуктора). Иногда необходимо учитывать погрешности от изменения температуры окружающей среды, от изменения напряжения и частоты питания и некоторые другие факторы.

**Динамическая погрешность** зависит от закона изменения задающего воздействия. Исследуемая в работе следящая система является астатической, следовательно, позиционная погрешность её равна нулю. Скоростная погрешность в установившемся режиме при вращении входной оси с постоянной скоростью  $\Omega_{вх}$  зависит от коэффициента усиления следящей системы, численно равного добротности системы по скорости  $\Omega_{вх}$

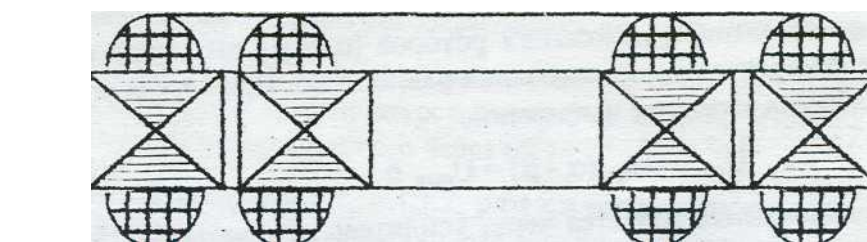
$$\delta_{ск} = \Omega_{вх} / K_{\Omega} \quad (4)$$

## 2.2. Измерители рассогласования следящих систем

В зависимости от диапазона рабочих углов, требуемой точности, параметров питающего напряжения в измерителях рассогласования применяются различные типы чувствительных элементов: индукционные, индуктивные, емкостные, потенциометрические.

В системах с неограниченным углом поворота в качестве чувствительных элементов измерителей рассогласования используют вращающиеся трансформаторы, круговые потенциометры и сельсины.

Сельсин представляет собой электрическую машину с однофазной обмоткой возбуждения и трехфазной вторичной обмоткой (рис.2). В зависимости от конструкции однофазная обмотка может располагаться либо на роторе, либо на статоре.



**Рис.2 Конструкция сельсина.**

Чаще однофазная обмотка располагается на роторе, трехфазная обмотка - на статоре.

Измеритель рассогласования состоит из датчика и приёмника. Сельсин-датчик установлен на входной оси, сельсин-приёмник на выходной оси. При работе сельсинов в трансформаторном режиме однофазная обмотка ротора сельсина-датчика запитывается переменным током от источника (в нашем случае напряжением 36В, 400Гц). В трехфазной обмотке статора сельсина-датчика наводятся ЭДС  $E_1, E_2, E_3$ , величины которых зависят от углового положения ротора относительно статора

$$E_1 = E_0 \cos \alpha, E_2 = E_0 \cos(\alpha - 120^\circ), E_3 = E_0 \cos(\alpha - 240^\circ), \quad (5)$$

где  $E_0$  - максимальное значение ЭДС в однофазной обмотке сельсина-датчика.

Трёхфазные статорные обмотки сельсина-датчика и сельсина-приёмника соединены между собой, поэтому по ним протекают токи  $i_1, i_2, i_3$ , пропорциональные наведённому ЭДС. Эти токи создают магнитные потоки в сельсине-приёмнике, которые наводят ЭДС в его роторной обмотке. Эта ЭДС является выходным сигналом измерителя рассогласования и равна

$$U_{вых} = U_{max} \cos(\alpha - \beta).$$

Если роторы датчика и приёмника рассогласованы на угол  $90^\circ$ , то выходное напряжение измерителя рассогласования

$$U_{вых} = U_{max} \cos(90 + \alpha - \beta) = U_{max} \sin(\alpha - \beta).$$

Такая зависимость является более целесообразной, так как в ней при согласованном положении роторов ( $\alpha = \beta$ ), выходное напряжение измерителя рассогласования равно нулю. При малом угле рассогласования выходное напряжение

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{max}} \cos(\alpha - \beta) = U_{\text{max}} \delta. \quad (6)$$

Это напряжение подается через усилитель на обмотку управления исполнительного двигателя. Двигатель через редуктор вращает выходной вал системы, а вместе с ним и ротор сельсина-приемника в сторону уменьшения сигнала рассогласования.

### 2.3. Исполнительный двигатель

Для отработки сигнала рассогласования в следящих системах применяются двухфазные двигатели переменного тока, двигатели постоянного тока, шаговые двигатели. В следящих системах малой мощности до (10-25)Вт наибольшее распространение получили двухфазные асинхронные двигатели переменного тока, обладающие простотой управления, малой постоянной времени, возможностью регулирования скорости в широких пределах.

Принцип действия двухфазных асинхронных двигателей основан на взаимодействии вращающегося магнитного поля, создаваемого обмотками статора, с вихревыми токами, наводимыми этим полем в роторе.

В результате такого взаимодействия возникает электромагнитный момент, создающий вращение ротора. Этот момент при ненасыщенном магнитопроводе двигателя пропорционален произведению напряжений возбуждения  $U_v$ , управления  $U_y$  и синусу угла  $\gamma$  сдвига фаз между ними

$$M_{\text{дв}} = K U_v U_y \sin \gamma.$$

Так как напряжение возбуждения неизменно, то при угле сдвига фаз  $\gamma = 90^\circ$  пусковой момент пропорционален напряжению управления

$$M_{\text{п}} = C_m U_y, \quad (7)$$

где  $C_m$  - коэффициент пропорциональности между пусковым моментом и напряжением на обмотке управления.

При вращении двигателя в полем роторе наводится ЭДС, пропорциональная скорости вращения, вследствие чего на роторе возникает тормозной момент, снижающий момент двигателя. Вращающий момент двигателя при этом определяется выражением

$$M_{\text{вд}} = M_{\text{п}} + c_e \Omega,$$

где  $\Omega$  - скорость вращения двигателя;  $c_e$  - коэффициент электродинамического торможения (коэффициент противо-э.д.с).

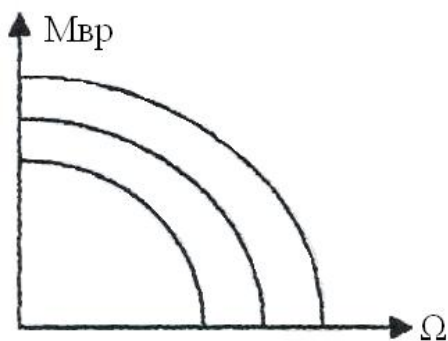


Рис.3. Механическая характеристика двигателя

Механическая характеристика двигателя имеет вид, представленный на рис.3. Эта характеристика нелинейная. Линеаризацию характеристики при расчетах делают на участке, соответствующем рабочему режиму двигателя достаточной для управления исполнительным двигателем и отработки угла рассогласования с необходимой точностью.

## 2.4. Усилители

Усилитель служит для усиления сигнала рассогласования по напряжению и мощности до величины, в маломощных следящих системах применяются в основном полупроводниковые усилители. Схема усилителя указателя курса приведена на рис. 4. Двухтактный входной каскад собран на триодах VT1, VT2 и усиливает сигнал, по напряжению.

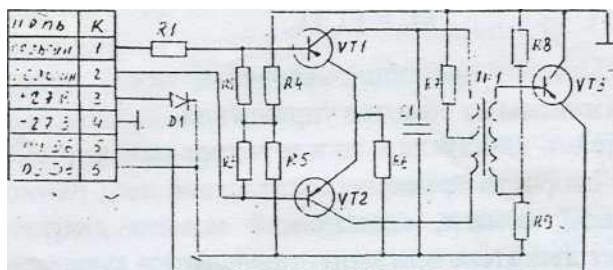


Рис.4. Схема усилителя следящей системы

Усилитель мощности собран на триоде VT3. Для температурной стабилизации рабочей точки триодов используется сопротивление R6, включенное в общую цепь эмиттера. Питание усилителя осуществляется напряжением постоянного тока 27В. Диод VD1 служит для защиты усилителя при случайном изменении полярности напряжения питания

## 2.5. Редуктор

В указателе используется пятиступенчатый редуктор, передаточное отношение которого

$$i = 50/12 \times 54/18 \times 60/12 \times 60/12 \times 90/16 = 1875.$$

Последнее звено редуктора соединено с парой безлюфтовых шестерен, закрепленных на выходной оси, что увеличивает момент трения в редукторе и, соответственно, величину зоны нечувствительности.

Однако устранение люфта в последней ступени редуктора позволяет ликвидировать автоколебания, неизбежно возникающие в системе, не имеющей люфтовывбирающего устройства или скоростной обратной связи.

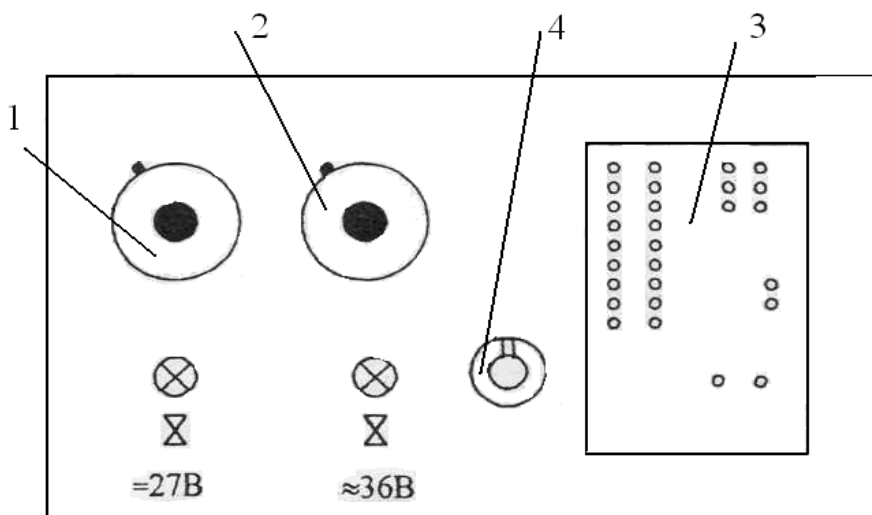
## 3. Описание лабораторной установки

Установка для исследования системы дистанционной передачи угла (рис. 5) представляет собой пульт, на передней панели которого закреплены два указателя курса УПК 1, 2, наборное поле 3 для составления электрической схемы системы, тумблеры включения напряжения и рукоятка 4 потенциометра. На наборном поле находятся входы всех электромеханических элементов системы (датчиков угла, двигателей). Указатель 1 реализует входной вал, указатель 2 - выходной вал.

Питание в схему подается через тумблеры "≈27В" и "≈36В".

Потенциометр 4 используется для разворота ротора сельсина указателя 1, который в

данной установке выполняет функцию сельсина-датчика.



**Рис.5. Лабораторная установка.**

#### 4. Методика исследования системы дистанционной передачи угла

##### 4.1. Составление электрической схемы

Перед началом работы необходимо тумблеры питания установить в положение "**Выключено**", после чего можно составлять электрическую схему.

От клемм питания подать напряжение 36В, 400Гц на роторную обмотку сельсина-датчика (указатель 1).

К статорным обмоткам этого сельсина подключить параллельно статорные обмотки сельсина-приемника (указатель.2). Запитать обмотки возбуждения двигателей и потенциометр 4. С потенциометра подать напряжение на обмотку управления двигателя, разворачивающего сельсин-датчик.

О величине угла рассогласования следящей системы можно судить по сигналу с сельсина-приёмника, для чего с выхода сельсина-приёмника необходимо подать сигнал на осциллограф.

Затем подать в установку напряжения "=27 В", "≈36В, 400Гц" и наблюдать за работой следящей системы, разворачивая сельсин-датчик. После остановки системы на шкалах указателей выставить одинаковые значения углов

##### 4.2. Определение нулевого сигнала

Нулевой сигнал характеризует инструментальную ошибку следящей системы.

Для его измерения необходимо отключить питание усилителя "=27В" и, разворачивая ротор сельсина датчика в одну и другую сторону, определить минимальный сигнал рассогласования  $\Delta U_{и}$ , и соответствующую этому сигналу ошибку измерительных элементов, учитывая, что в качестве датчика и приемника используются одинаковые сельсины:

$$\delta_{и} = \Delta U_{и} / k_{ду},$$

где  $k_{ду}$  - коэффициент передачи сельсинов.

##### 4.3. Определение моментной погрешности

Величина этой погрешности в рассматриваемой системе зависит от момента трения на оси шкалы и момента трения редуктора в указателе 2. Чтобы исключить влияние

случайных факторов на величину моментной погрешности (загрязнение трущихся поверхностей, заедание отдельных зубьев шестеренок редуктора ) необходимо провести измерение её в нескольких точках после поворота входного вала в разные стороны в следующей последовательности:

**4.3.1.** Задать вращение сельсина - Датчика по часовой стрелке после поворота примерно на угол  $60^\circ$  остановить его и, наблюдая по экрану осциллографа за сигналом с сельсина приемника, дождаться окончания переходного процесса. Значение напряжения рассогласования  $\Delta U_{M1}$  занести в таблицу1.

**4.3.2.** Аналогично п. 4.3.1. измерить напряжение рассогласования после остановки вращающегося по часовой стрелке сельсина еще в 3...5 точках (поворачивая его через  $60^\circ$ )

**4.3.3.** Повторить п.4.3.1, п.4.3.2, разворачивая сельсин-датчик против часовой стрелки, останавливая его примерно в тех же точках, что и при вращении по часовой стрелке. Измерить сигнал рассогласования  $\Delta U_{M2}$

### Моментная погрешность

Таблица 1.

Угол поворота сельсина-датчика		$\Delta U_{M1}, В$	$\Delta U_{M2}, В$	$\delta_{M1}, град$	$\delta_{M2}, град$	$\delta_M, град$
влево	вправо					
$60^\circ$	$60^\circ$					
$360^\circ$	$360^\circ$					

**4.3.4.** Вычислить моментную погрешность, учитывая, что в каждом измерении присутствует инструментальная ошибка сельсина, найденная в п.4.2.

$$\delta_{M1} = \Delta U_{M1} / k_{д\Delta} \quad \delta_{M2} = \Delta U_{M2} / k_{д\Delta} \quad \delta = ((\delta_{M1} + \delta_{M2}) / 2) - \delta_n$$

**4.3.5.** Определить среднее значение моментной погрешности

$$\delta_{M}^{cp} = \sum \delta_{M1} / n$$

где n - количество точек, в которых производились измерения.

### 4.4 Определение скоростной ошибки

Скоростная ошибка определяется при вращении входной оси с постоянной скоростью. Чтобы двигатель разворачивал выходную ось с такой же скоростью ( $\beta' = \alpha'$ ), на его обмотку управления должен быть подан соответствующий сигнал, который получается за счет рассогласования угловых положений датчика и приемника. Порядок определения скоростной ошибки следующий.

**4.4.1.** С потенциометра 4 на обмотку управления двигателя, задающего угол  $\alpha(t)$ , подать напряжение, равное примерно  $0,1 U_{max}$ . Определить скорость вращения входного вала, для чего измерить по секундомеру время, за которое шкала указателя 1 поворачивается на определенный угол ( $90^\circ - 180^\circ$ ).

Во время вращения системы на экране осциллографа измерить сигнал рассогласования  $\Delta U_{ск}$ .



Провести измерения для 3-х, 4-х различных значений скорости. Экспериментальные данные занести в таблицу 2.

**4.4.2.** Изменить направление вращения входного вала на противоположное и повторить п. 4.4.1.

**4.4.3.** Вычислить значение скоростной ошибки, учитывая, что измеренный сигнал рассогласования содержит одновременно инструментальную, моментную и скоростную погрешности, следовательно,  $\delta_{ск} = \delta - \delta_M - \delta_H$

$$\delta_{ск} = \Delta U_{ск} / k_{ду}$$

**4.4.5.** Построить зависимость  $\delta_{ск} = f(\Omega)$

### Скоростная ошибка

Таблица 2.

Угол поворота входного вала, град		Время разворота, сек		Скорость, град/сек		$\Delta U_{ск}$ , В		$\delta$ , град		$\delta_{ск}$ , град
влево	вправо	влево	вправо	влево	вправо	влево	вправо	влево	вправо	

## 4.5. Расчет параметров системы

**4.5.1.** Рассчитать коэффициент усиления системы по экспериментальным данным и по техническим характеристикам элементов, сравнить их.

**4.5.2.** Рассчитать момент сил сухого трения на оси указателя, если коэффициент усиления усилителя  $k_v=11$  передаточное отношение редуктора  $i = 1875$ ,  $P=0,5$  Н - вес подвижной системы указателя, коэффициент трения  $\lambda=0,15$ .  $L=4 \cdot 10^{-3}$  м

Характеристики двигателя ДИД - 0,5ТА.  $U_v = 30$  В, момент пусковой  $M_{п} = 10$  Гсм, момент номинальный 4 Гсм, скорость вращения холостого хода 14000 об/мин.

Характеристики сельсинов: напряжение питания - 36В, 400Гц; максимильное выходное напряжение - 36В.

**4.5.3.** Составить структурную схему и построить логарифмические частотные характеристики следящей системы, определить передаточные функции её элементов.

## 5. Содержание отчёта

- цель работы;
- электрокинематическая схема указателя курса;
- электрическая схема следящей системы
- результаты экспериментальных и теоретических исследований с выводами,
- ответы на контрольные вопросы.

### 6. Контрольные вопросы

1. Назначение измерителей рассогласования и их виды.
2. Чем определяется инструментальная погрешность следящей системы, способы её уменьшения.
3. Как определяется степень астатизма системы
4. Как влияет люфт в редукторе на работу следящей системы.
5. Чему равна скоростная погрешность астатической системы второго порядка.

## Учебное издание

Система дистанционной передачи угла. Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторной работы для студентов, обучающихся по направлению 12.03.01 – «Приборостроение»/ сост. Нестеренко Т.Г; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 10 с.

*Составитель*

НЕСТЕРЕНКО ТАМАРА ГЕОРГИЕВНА

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 05.11.2013. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».


Печать XEROX. Усл.печ.л Уч.-изд.л..

Заказ . Тираж 20 экз.



Национальный исследовательский Томский  
политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Томского политехнического университета  
сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по  
стандарту ISO 9001:2013



**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)