

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
”Оренбургский государственный университет”

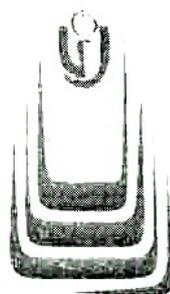
Индустриально-педагогический колледж

Отделение автоматизации информационных и технологических процессов

**А.В. ЗОБИН**

# **ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЛЬСИНОВ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«ТИПОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И УСТРОЙСТВА  
СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ»



Рекомендовано к изданию Редакционно–издательским советом  
государственного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
”Оренбургский государственный университет”

Оренбург 2008

УДК 62-52(076.5)  
ББК 32.965 я 73  
3-78

Рецензент  
кандидат технических наук, доцент кафедры ТАМ ОГУ  
Н.Ю. Глинская

3-78            **Зобин А.В.**  
                  **Исследование сельсинов: методические указания к лабора-**  
**торной работе по дисциплине “Типовые элементы и устрой-**  
**ства систем автоматического управления” / А.В. Зобин: -**  
**Оренбург: ГОУ ОГУ, 2008, - 15 с.**

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы по дисциплине “Типовые элементы и устройства систем автоматического управления” для студентов специальности 220301 - «Автоматизация технологических процессов и производств».

ББК 32.965 я 73  
© Зобин А.В., 2008  
© ГОУ ОГУ, 2008

## Содержание

Введение.....	5
1 Исследование сельсинов.....	6
1.1 Цель работы.....	6
1.2 Общие сведения.....	6
1.3 Устройство сельсинов.....	6
1.4 Режимы работы сельсинов.....	9
1.5 Описание стенда и методика эксперимента.....	12
1.6 Задание на выполнение работы.....	14
1.7 Содержание отчета.....	15
1.8 Контрольные вопросы.....	15
Список использованных источников.....	15

## Введение

Ни одна система управления не может работать без информации о состоянии объекта управления и его реакции на управляющие воздействия. Необходимую для управления информацию получают в виде значений отдельных физических величин с помощью соответствующих технических устройств, которые в автоматике называют *измерительными преобразователями* (ИП) или *датчиками*.

Автоматизация производственных процессов, научных экспериментов и исследований требует все большего объема измерений различных физических величин. Об их числе можно судить по системе единиц СИ, которая включает в себя более 120 физических единиц. В настоящее время в промышленности существует примерно следующее распределение средств измерений: температуры — 50 %, расхода (объемного и массового) — 15 %, давления — 10 %, уровня — 5 %, количества (массы, объема) — 5 %, времени — 4 %, электрических и магнитных величин — 5 %. Объем выполняемых измерений может быть очень большим.

Число типов измерительных преобразователей значительно превосходит число измеряемых величин, так как одну и ту же физическую величину можно измерять различными методами и датчиками разных конструкций.

Для большинства измерительных преобразователей (ИП) характерно измерение электрическими методами не только электрических и магнитных, но и других физических величин. При этом используется предварительное преобразование неэлектрической величины в электрическую. Такой подход обусловлен достоинствами электрических измерений: электрические сигналы просто и быстро передаются на большие расстояния; легко, быстро и точно преобразуются в цифровой код; позволяют обеспечить высокую точность и чувствительность. Необходимо отметить, что не всегда измерительный преобразователь выполняет непосредственно функции измерения. В ряде случаев ИП можно использовать в качестве преобразователя одной физической величины в другую, чаще всего из неэлектрической в электрическую.

# 1 Исследование сельсинов

## 1.1 Цель работы

Ознакомление с конструкцией, принципом действия, режимом работы и экспериментальное исследование характеристик однофазных сельсинов.

## 1.2 Общие сведения

Сельсины, датчики углового положения, - создают управляющий сигнал в зависимости от углового положения или угла рассогласования между рабочими органами.

Сельсины являются маломощными одно- или трехфазными асинхронными машинами специального исполнения в виде поворотных трансформаторов, которые при наличии электрической связи между ними обеспечивают в системах синхронной связи одновременный плавный поворот на заданный угол двух или нескольких механически не связанных, находящихся на расстоянии друг от друга осей исполнительных механизмов, несущих незначительные нагрузки.

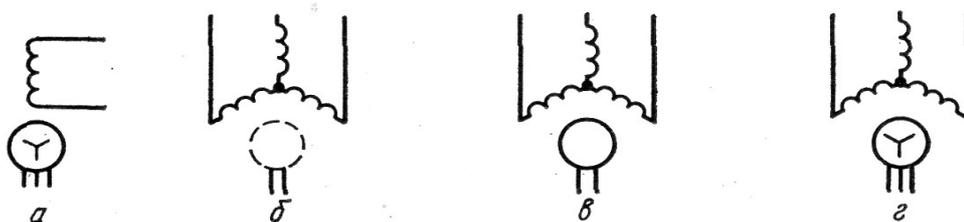
В систему синхронной связи для дистанционной передачи угловых перемещений, применяемой для дистанционного управления, регулирования или контроля, входят два или несколько сельсинов. Один из них — сельсин-датчик — укрепляют на ведущей оси, а остальные — сельсины-приемники — располагают на ведомых осях и соединяют с ним линиями электрической связи. Номинальная мощность сельсина-датчика должна соответствовать сумме номинальных мощностей сельсинов-приемников. Сельсин-датчик преобразует неэлектрическую величину — угловое перемещение оси — в электрическую величину — выходное напряжение, которое, поступая на обмотки сельсинов-приемников, вынуждает эти устройства выполнить обратное преобразование — поворот осей исполнительных механизмов на тот же угол или выдать сигналы — выходные напряжения, величина которых зависит от угла поворота ротора сельсина-датчика.

## 1.3 Устройство сельсинов

По конструкции сельсины делятся на контактные и бесконтактные.

**Контактные сельсины** имеют две, чаще всего двухполюсные обмотки (смотри рисунок 1). Одна из них — однофазная — является обмоткой возбуждения, находится на выступающих полюсах магнитопровода статора, имеет зажимы, обозначенные С1, С2, присоединяется к сети переменного тока и служит для возбуждения неподвижного переменного магнитного поля. Вторая обмотка — трехфазная — выполнена распределенной симметричной, расположена в скошенных пазах магнитопровода ротора, фазы ее соединены звездой, а свободные концы присоединены к контактным кольцам со щетками и проводниками, выведенными к зажимам с маркировкой Р1, Р2, Р3. Эта обмотка

выполняет функции обмотки синхронизации положения роторов сельсинов, входящих в систему синхронной связи. Кольца и щетки выполняют большей частью из сплава серебра для уменьшения сопротивления и повышения надежности работы. Допустимо и иное расположение обмоток сельсинов, при котором однофазная обмотка возбуждения укладывается на явно выраженных полюсах ротора и присоединяется к двум контактным кольцам со щетками, а распределенная трехфазная обмотка, предназначенная для синхронизации положения роторов, размещается в пазах магнитопровода статора. Такие сельсины называются однофазными в отличие от трехфазных сельсинов, у которых обе обмотки — возбуждения и синхронизации — выполнены распределенными симметричными с тремя фазами, соединенными звездой.



- a* — однофазного с обмоткой возбуждения на статоре и обмоткой синхронизации на роторе, соединенной звездой;
- б* — однофазного с обмоткой возбуждения на явнополюсном роторе и обмоткой синхронизации на статоре, соединенной звездой;
- в* — однофазного с распределенной обмоткой возбуждения на роторе и обмоткой синхронизации на статоре, соединенной звездой;
- г* — трехфазного с обмотками статора и ротора, соединенных звездой.

Рисунок 1 - Условные обозначения контактных сельсинов

Конструктивно контактные сельсины подобны синхронным или асинхронным машинам. Контактные сельсины выполняются в двух вариантах. В одном варианте обмотка возбуждения *1* располагается на роторе, а трехфазная обмотка *2*, называемая обмоткой синхронизации, — в пазах статора (смотри рисунок 2 а).

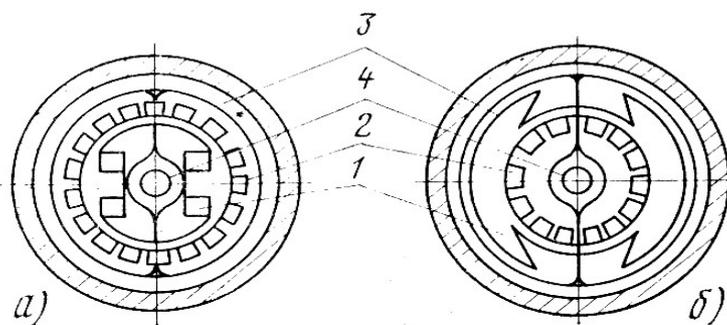


Рисунок 2 - Конструкция контактного сельсина

В другом варианте обмотка возбуждения расположена на статоре, а трехфазная обмотка — в пазах ротора (рисунок 2 б). Начала фаз этой обмотки выведены к трем контактными кольцам, по которым скользят три щетки. Пакеты статора 3 и ротора 4 набраны из листов электротехнической стали.

В отличие от синхронной машины обмотка возбуждения сельсина включается на переменное однофазное напряжение. Щеточно-контактный узел является наиболее ненадежным местом контактных сельсин. Вследствие окисления или подгорания щеточного контакта, слабого нажатия щеток на кольца бывают случаи нарушения контакта между щетками и кольцами. Сильное нажатие щеток увеличивает момент трения на валу ротора и приводит к снижению точности синхронной передачи. Эти недостатки устранены в бесконтактном сельсине.

### Бесконтактные сельсины

Обмотки возбуждения 1 и синхронизации 2 в бесконтактном сельсине неподвижны (смотри рисунок 3).

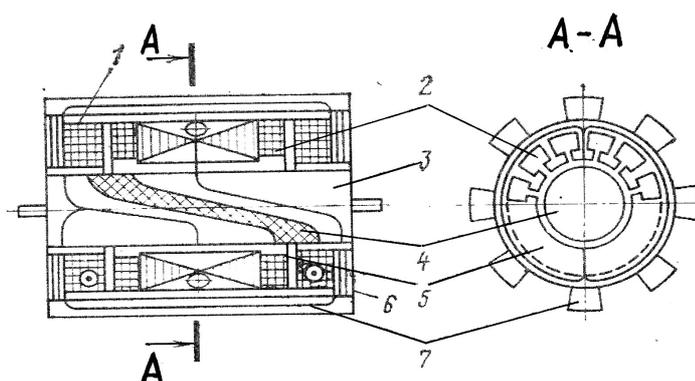


Рисунок 3 - Конструкция бесконтактного сельсина

Трехфазная обмотка синхронизации расположена в пазах статора. Обмотка возбуждения состоит из двух кольцевых катушек, оси которых совпадают с осью ротора.

Для связи потока возбуждения с обмоткой синхронизации применен специальной формы ротор 3, полюса которого разделены немагнитной прокладкой 4. Вследствие такой конструкции ротора поток возбуждения изменяет свое направление и через небольшой зазор из одного полюса ротора проходит в пакет статора 5, а далее по ярму статора до диаметрально противоположной точки, затем снова через зазор входит во второй полюс ротора. Далее поток опять через два зазора, тороиды 6 и магнитопровод 7 попадает в первую часть ротора. При повороте ротора положение оси потока возбуждения относительно обмотки синхронизации изменяется так же, как и в контактных сельсинах.

В бесконтактном сельсине поток возбуждения проходит более длинный путь, в том числе четыре воздушных зазора вместо двух в обычных машинах. Поэтому намагничивающий ток здесь больше, а  $\cos\phi$  меньше, чем у контактных сельсинов. Отсутствие скользящих контактов позволяет значительно увеличить надежность работы, хотя габариты и масса бесконтактных сельсинов больше, чем в соответствующих им контактных устройствах, а коэффициент мощности их ниже. Несмотря на более сложную конструкцию и высокую стоимость бесконтактные сельсины находят применение, главным образом, в ответственных установках автоматики.

Сельсины-приемники отличаются от сельсинов-датчиков наличием электрических или механических успокоителей, обеспечивающих динамическую устойчивость работы системы синхронной связи. Сельсин-датчик не нуждается в успокоителе, так как он соединен с исполнительным механизмом, обладающим значительным моментом инерции.

#### 1.4 Режимы работы сельсинов

В системах автоматического управления, обеспечивающих дистанционную передачу углового перемещения, в зависимости от величины момента сопротивления исполнительных механизмов используют индикаторную и трансформаторную синхронные связи.

##### Индикаторная система синхронной связи

Работа сельсинов в индикаторном режиме используется для передачи показаний о повороте какого-либо органа или механизма из труднодоступного или удаленного от наблюдателя пункта. Индикаторный режим работы сельсинов применяют в тех случаях, когда моменты сопротивления на ведомых осях малы по величине или практически отсутствуют. В простейшем случае схема дистанционной передачи угловых перемещений состоит из двух одинаковых сельсинов, у которых одноименные зажимы обмоток синхронизации соединены проводами линии связи, а на обмотки возбуждения подается напряжение сети (смотри рисунок 4).

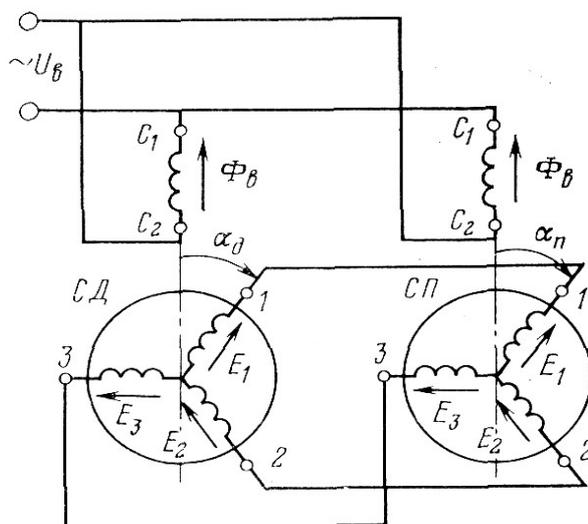


Рисунок 4 - Схема индикаторного режима работы системы синхронной связи (ССС)

Один из сельсинов называют сельсином-датчиком *СД*, а другой — сельсином-приемником *СП*. Если оси одноименных обмоток синхронизации сельсинов 1—3 расположены одинаково относительно осей обмоток возбуждения, то в фазах обмоток синхронизации приемника и датчика индуцируются одинаковые ЭДС, уравнивающие друг друга. Тока в обмотках и в линиях связи нет. Такое положение сельсинов называется *согласованным*.

При рассогласовании роторов сельсинов, например, вследствие поворота ротора *СД* равновесие ЭДС обмоток синхронизации нарушится, между одноименными зажимами обмоток будут действовать ЭДС, равные разностям ЭДС соответствующих фаз *СД* и *СП*:

$$E_1 = E_{д1} - E_{п1} ; E_2 = E_{д2} - E_{п2} ; E_3 = E_{д3} - E_{п3} , \quad (1)$$

где индекс «д» относится к сельсину-датчику, а индекс «п» — к сельсину-приемнику.

Величина синхронизирующего момента на валу сельсинов зависит от угла рассогласования

$$\theta = \alpha_{д} - \alpha_{п} , \quad (1)$$

где  $\alpha_{д}$  — угол поворота ротора.

В результате взаимодействия проводников с током обмотки синхронизации с полем обмотки возбуждения в каждом сельсине возникает вращающий (синхронизирующий) момент, который стремится привести систему в согласованное положение, при котором токи фаз равны нулю. Так как задаваемое положение ротора *СД* фиксировано, то синхронизирующий момент в *СП*, преодолевая сопротивление трения на валу, поворачивает его ротор до согласования с ротором *СД*. Так осуществляется дистанционная передача угла в индикаторном режиме.

Незначительное расхождение параметров и наличие небольшого трения в подшипниках и на кольцах приводят к установлению равновесия системы при очень малом угле рассогласования, величина которого характеризует точность действия индикаторного режима работы дистанционной передачи угловых перемещений. Качество работы сельсинов в индикаторном режиме определяется принадлежностью их к одному из трех классов точности, характеризуемой для двухполюсных сельсинов-датчиков максимально допустимым углом рассогласования от  $\pm 0,25$  до  $\pm 1^\circ$ , а для аналогичных сельсинов-приемников от  $\pm 0,75$  до  $\pm 2,5^\circ$ , который является статической ошибкой системы. Погрешность в передаче углового перемещения можно значительно уменьшить, если осью сельсина-датчика управлять через редукторный механизм и аналогичным устройством связать ось сельсина-приемника с осью исполнительного механизма.

Если ротор сельсина-датчика вращать непрерывно, то ротор датчика-приемника будет вращаться с ним синхронно с одинаковым мгновенным угловым положением, если не считаться с небольшим углом рассогласования, являющимся динамической ошибкой системы. При этом режиме синхронизирующий момент, уравновешивающий момент сопротивления вращению, уменьшается, точность работы сельсинов снижается, а сам режим работы их называется динамическим. Для каждой системы синхронной передачи существует некоторая предельная скорость роторов, выше которой нарушается работа системы.

### Трансформаторная система синхронной связи

При значительной величине тормозных моментов на ведомых осях исполнительных механизмов используют трансформаторный режим работы сельсинов. При этом однофазные обмотки сельсинов-приемников становятся выходными, или сигнальными, а трехфазные — обмотками возбуждения. При трансформаторном режиме, в отличие от индикаторного режима, переменные э.д.с. фаз обмотки ротора ничем не компенсированы, в результате чего в линии электрической связи всегда существуют токи, что ограничивает число сельсинов-приемников, вызывающих дополнительный перегрев сельсина-датчика, поскольку в этом случае его синхронизирующий момент определяется суммой синхронизирующих моментов всех сельсинов-приемников.

Схема соединений двух одинаковых сельсинов-датчиков и сельсинов-приемников, работающих в трансформаторном режиме, представлена на рисунке 5.

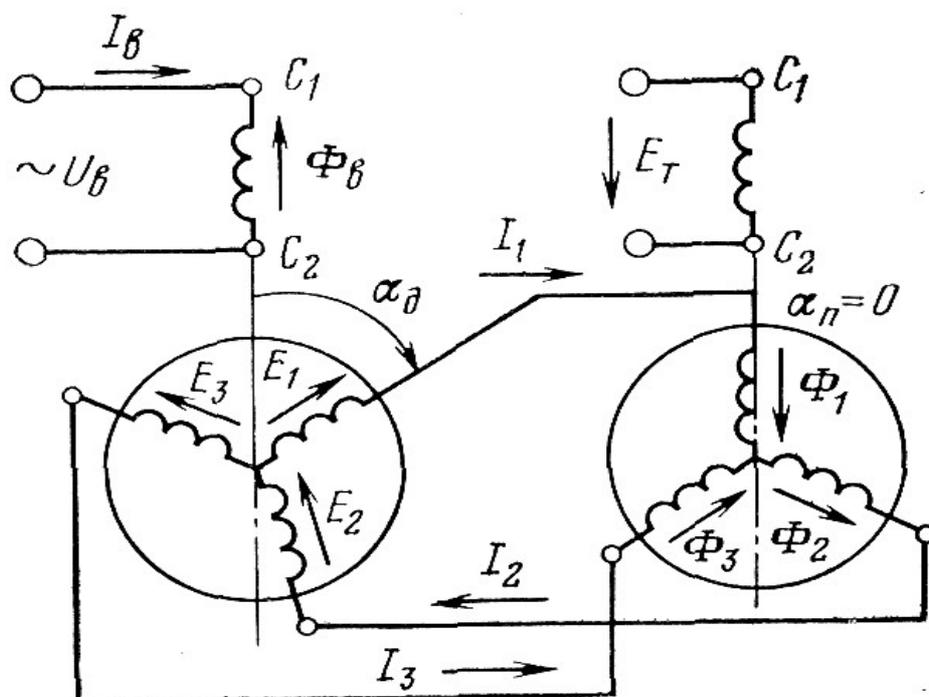


Рисунок 5 - Схема трансформаторного режима ССС

Одноименные зажимы обмоток синхронизации *СД* и *СП* соединены проводами линии связи. Обмотка возбуждения *СД* подключена к источнику питания, а обмотка возбуждения *СП* является выходной и подключается к усилителю. При включении питания на обмотку возбуждения *СД* в обмотках синхронизации появятся токи, определяемые действием ЭДС.

Каждый из этих токов создает в трехфазной обмотке сельсина-приемника МДС фаз, которые, суммируясь, создают пульсирующий магнитный поток сельсина-приемника, направленный в общем случае под углом  $\theta$  к оси выходной обмотки. Значение наводимой этим потоком ЭДС  $E_r$  в выходной обмотке зависит от угла  $\theta$ . Таким образом, сельсин-приемник выполняет в этой схеме роль трансформатора, напряжение на однофазной обмотке которого изменяется пропорционально косинусу угла  $\theta$ .

С помощью сельсинов, работающих в трансформаторном режиме, осуществляется дистанционное непрерывное управление электроприводом. Для этого выходное напряжение однофазной обмотки *СП* усиливается усилителем (электронным, электромашинным или магнитным) и подается на двигатель, поворачивающий (вращающий) управляемый объект. Ротор *СП* жестко связывают механической передачей с поворачиваемым объектом. Поворот вала двигателя объекта вслед за поворотом ротора *СД* начинается уже при незначительном угле рассогласования ( $5\text{--}10^\circ$ ). Двигатель, поворачивая объект, одновременно поворачивает и ротор *СП* в таком направлении, чтобы рассогласование сельсинов уменьшилось до нуля ( $\theta = 0$ ). При исчезновении рассогласования вся система, повернувшись на заданный угол, останавливается. На точность следования ротора *СП* (объекта) за ротором *СД* существенно влияет вид характеристики  $E = \varphi(\theta)$ .

### 1.5 Описание стенда и методика эксперимента

Стенд состоит из станины, на которой размещены сельсин-датчик (*СД*), снабженный устройством задания фиксированных углов поворота ротора относительно статора (*УЗФУ*), сельсин-приемник (*СП*), на роторе которого закреплены стрелки датчиков угла поворота (*ДУ*), и устройство формирования нагрузочных моментов на валу (*НМ*), измерительного комплекса, состоящего из двух комбинированных приборов Ц-4340 и источника питания. Питание обмоток возбуждения осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В через ЛАТР, напряжение питания  $U_0=100$  В.

Шкала устройства задания фиксированных углов поворота и датчик угла поворота отградуированы в градусах. Устройство формирования нагрузочных моментов выполнено в виде блока.

Нагрузочный момент можно определить по формуле

$$M = PR, \quad (1)$$

где  $P$  — вес груза, Н;

$R$  — радиус блока, м.

Схема для снятия характеристик сельсинов, работающих в индикаторном и трансформаторном режимах, представлена на рисунке 6.

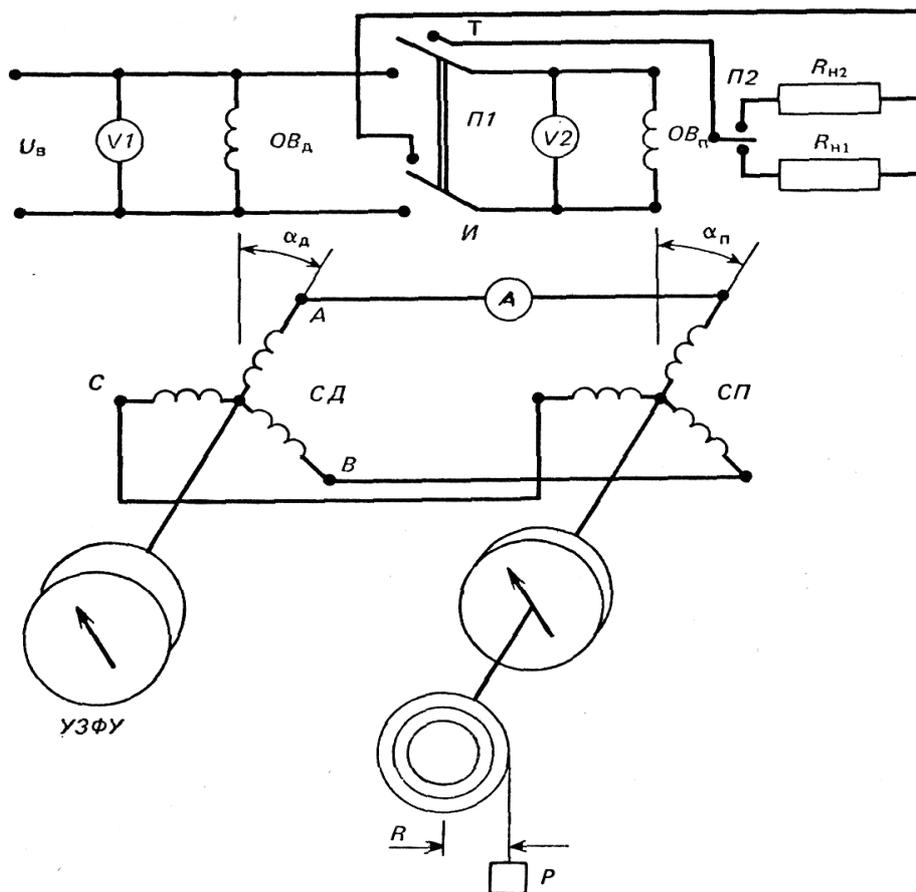


Рисунок 6 – Схема лабораторной установки

Кривая ошибок в индикаторном режиме снимается следующим образом: при  $M = 0$ , вращая ротор  $CD$  от  $0$  до  $+360^\circ$  с дискретностью  $10^\circ$ , снимаются показания датчика угла  $СП$ . То же самое проделываем при вращении ротора от  $0$  до минус  $360^\circ$ .

Удельный синхронизирующий момент определяется по формуле

$$M_{вд} = \frac{M_{н1}}{\alpha_1} \approx \frac{M_{н2}}{\alpha_2}, \quad (2)$$

где  $M_{н1}$ ,  $M_{н2}$  — нагрузочные моменты на валу  $СП$ ;

$\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  - углы поворота ротора  $СП$  относительно  $CD$  при наличии на валу  $СП$  нагрузочных моментов  $M_{н1}$  и  $M_{н2}$  соответственно.

При определении времени успокоения необходимо отвести стрелку  $СП$  на  $90^\circ$  и отпустить ее, зафиксировать по секундомеру начало движения стрелки к исходному состоянию. Время  $t_y$  находится в момент полного успокоения стрелки.

При определении критического угла рассогласования  $\alpha_{кр}$  необходимо вращать ротор  $СП$  по часовой стрелке и зафиксировать угол, при котором стрелка начнет двигаться самостоятельно в ту же сторону.

Зависимости синхронизирующего момента  $M_c$ , токов в фазах  $I_A, I_B, I_C$ , мощностей  $P_{ВД}, P_{В.П}$  и токов  $I_{В.П}, I_{В.Д}$  возбуждения приемника и датчика от угла рассогласования  $\alpha$  снимаются следующим образом: изменяя нагрузочный момент на валу  $СП$ , снимаются показания  $I_A, I_B, I_C, P_{ВД}, P_{В.П}, I_{В.П}, I_{В.Д}$ , где

$$P_{В.П} = U_{В.П} I_{В.П}, \quad (3)$$

$$P_{В.Д} = U_{В.Д} I_{В.Д} \quad (4)$$

При исследовании трансформаторного режима работы остаточное напряжение  $U_{ост}$  определяется как минимальное напряжение в обмотке возбуждения  $СП$  при повороте ротора на  $90^\circ$ . Ошибка асимметрии  $\alpha_a$  определяется по формуле

$$\alpha_a = 90^\circ - \alpha_{\min}, \quad (2)$$

где  $\alpha_{\min}$  — угол, при котором имеет место остаточное напряжение в обмотке возбуждения  $СП$ .

Кривую ошибок в трансформаторном режиме необходимо снимать следующим образом: установить  $СД$  в положение «нуль»; установить  $СП$  в положение, при котором напряжение в обмотке возбуждения минимально; повернуть ротор  $СД$  на  $10^\circ$ , повернуть ротор  $СП$  на  $10^\circ$ ; далее, поворачивая ротор  $СП$  относительно этого положения в одну или другую сторону, определить угол, при котором напряжение в обмотке возбуждения  $СП$  будет минимальным. Знак ошибки считается положительным, если относительно  $10^\circ$  приращение отрицательно. Далее опыт повторяется при изменении угла поворота ротора  $СД$  от  $0$  до  $360^\circ$ .

Зависимости выходного напряжения  $СП$ , токов в фазах, мощности и тока обмотки возбуждения  $СД$  от угла рассогласования снимаются при вращении ротора  $СП$  от  $0$  до  $360^\circ$  при различных нагрузках на обмотке возбуждения  $СП$ .

## 1.6 Задание на выполнение работы

1 Ознакомиться с конструкцией и паспортными данными исследуемых сельсинов.

2 Собрать схему лабораторной установки (смотри рисунок 6) для исследования индикаторного режима работы сельсинов (переключатель  $П1$  в положении  $И$ ).

3 Снять кривую ошибок  $\Delta\alpha = f(\alpha_d)$ , где  $\Delta\alpha = \alpha_d - \alpha_n$  - разность между углом поворота сельсина-датчика и приемника;  $\alpha_d$  — угол поворота сельсина-датчика.

4 Определить время успокоения  $t_y$  и удельный синхронизирующий момент  $M_{уд}$ .

5 Снять зависимости синхронизирующего момента  $M_c$ , токов в фазах  $I_A, I_B, I_C$ , мощностей  $P_{В.П}, P_{ВД}$  и токов  $I_{В.П}, I_{В.Д}$  возбуждения приемника и датчика от угла рассогласования.

6 Собрать схему лабораторной установки для исследования трансформаторного режима работы сельсинов (переключатель  $П1$  в положении  $T$ ).

7 Определить остаточное напряжение  $U_{ост}$  и ошибку асимметрии  $\alpha_a$ .

8 Снять кривую ошибок асимметрии  $\alpha_a = f(\alpha_d)$ .

9 Снять зависимости выходного напряжения сельсина-приемника  $U_{вых.п.}$ , токов в фазах  $I_A, I_B, I_C$ , мощности  $P_{вд}$  и  $I_{в.д}$  возбуждения датчика от угла рассогласования  $\alpha$  при нагрузке  $R_{н1} = \infty, R_{н2} = 500$  Ом (переключатель  $П2$  в положении  $R_{н1}$  или  $R_{н2}$ ).

10 Рассчитать удельную выходную мощность  $P_{вых.уд}$  и удельное выходное напряжение  $U_{вых.уд}$  по формулам

$$P_{вых.уд} = \frac{P_{вых}(10^\circ)}{10^\circ} \quad (3)$$

$$U_{вых.уд} = \frac{U_{вых}(10^\circ)}{10^\circ} \quad (4)$$

## 1.7 Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- 1) схемы лабораторных установок;
- 2) таблицу с результатами эксперимента;
- 3) расчетные характеристики (согласно заданию);
- 4) анализ результатов, выводы.

## 1.8 Контрольные вопросы

- 1 Описать принцип действия, конструкцию однофазных сельсинов.
- 2 Указать область применения.
- 3 Определить трансформаторный режим работы, его характеристики.
- 4 Определить индикаторный режим работы, его характеристики.
- 5 Записать передаточные функции сельсинов.

## Список использованных источников

- 1 **Харизоменов, И.В.** Электрооборудование и электроавтоматика металлорежущих станков / И.В. Харизоменов. – М.: Машиностроение, 1975. – 264 с.
- 2 **Иващенко, Н.Н.** Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем: учеб. для вузов / Н.Н. Иващенко. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1978. – 736 с.
- 3 **Головенков, С.Н.** Основы автоматики и автоматического регулирования станков с программным управлением: учеб. для машиностр. техникумов / С.Н. Головенков, С.В. Сироткин. - М.: Машиностроение, 1988. – 288 с.
- 4 **Шишмарев, В.Ю.** Типовые элементы систем автоматического управления: учеб. для сред. проф. образования / В.Ю. Шишмарев. - М.: Издательский центр «Академия», 2004. -304 с. - ISBN 5-7695-1328-4.
- 5 Робототехника и гибкие автоматизированные производства. В 9-ти кн. Кн. 9. Лабораторный практикум по робототехнике: учеб. пособие для втузов / В.З. Рахманкулов и [др.]; под ред. И. М. Макарова. — М.: Высш. шк., 1986. — 176 с.
- 6 **Алексеев, О. В.** Электротехнические устройства: учебн. для вузов / О.В. Алексеев, В.Е. Китаев, А.Я. Шихин; под общ. ред. А.Я. Шихина. — М.: Энергоиздат, 1981.— 336 с.
- 7 **Келим, Ю. М.** Типовые элементы систем автоматического управления: учебное пособие для студентов учреждений среднего профессионального образования / Ю.М. Келим. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. - 384 с. - ISBN 5-8199-0043-X (ФОРУМ), ISBN 5-16-000989-2 (ИНФРА-М).