

ОДНОФАЗНЫЕ КОНТАКТНЫЕ И БЕСКОНТАКТНЫЕ СЕЛЬСИНЫ

**(История развития, конструкции, основы теории,
характеристики и экспериментальные исследования)**

Учебное пособие

Самара
Самарский государственный технический университет
2012

Кафедра «Электромеханика и автомобильное электрооборудование»

ОДНОФАЗНЫЕ КОНТАКТНЫЕ И БЕСКОНТАКТНЫЕ СЕЛЬСИНЫ

(История развития, конструкции, основы теории,
характеристики и экспериментальные исследования)

Учебное пособие

Самара
Самарский государственный технический университет
2012

Печатается по решению редакционно-издательского совета СамГТУ

УДК 621.313

О-43

О-43 Однофазные контактные и бесконтактные сельсины (История развития, конструкции, основы теории, характеристики и экспериментальные исследования): учеб. пособие / Сост. Э.Г. Чеботков. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012. – 83 с.: ил.

Содержит основы теории, общие сведения о конструкциях, принципе действия, особенностях, типах и характеристиках однофазных контактных и бесконтактных сельсинов. Изложены методические указания по выполнению экспериментальных исследований.

Предназначено для студентов электротехнических специальностей по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника». Дисциплинам «'Электромеханические преобразователи систем автоматики», «Методы решения задач профессиональной деятельности»

УДК 621.313

О-43

Рецензент д-р техн. наук *П.Ю. Грачёв*

© Э.Г. Чеботков, составление, 2012

© Самарский государственный
технический университет, 2012

ВВЕДЕНИЕ

В арсенале средств, составляющих техническое вооружение всех отраслей промышленности, ведущее место занимают электрические машины. Электрическая машина – это электромеханическое устройство, осуществляющее преобразование механической и электрической энергий. Если в электрической машине механическая энергия преобразуется в электрическую, то она называется *электрическим генератором* (генератором), если же электрическая энергия преобразуется в механическую, то машина называется *электродвигателем* (двигателем).

Электрические машины, применяемые в автоматике, разделяют на две группы: силовые электродвигатели и электромашинные элементы автоматики. *Силовые электродвигатели* обычно не являются элементами автоматической системы и лишь осуществляют привод какого-либо рабочего органа, обычно не являющегося объектом автоматизации.

Электромашинные элементы автоматики составляют весьма разнообразную как по назначению, так и по конструктивному исполнению группу электрических машин.

Основные виды электромашинных элементов автоматики – исполнительные двигатели, электромашинные усилители, тахогенераторы, машины синхронной связи, вращающиеся трансформаторы. В отличие от силовых электродвигателей электромашинные элементы автоматики непременно включены в систему автоматики и реагируют на электрические или механические воздействия, возникающие в этой системе.

Основой для создания электрических машин и трансформаторов явился открытый М. Фарадеем закон электромагнитной индукции. Начало практического применения электрических машин было положено русским академиком Б.С. Якоби, который в 1834 г. создал конструкцию электрической машины, явившуюся прототипом современного электродвигателя.

Широкому применению электрических машин в промышленности способствовало изобретение русского инженера М.О. Доливо-Добровольского (1889) трехфазного асинхронного двигателя, отличающегося простотой конструкции и высокой надежностью. К началу XX в. были созданы почти все виды современных электрических машин и разработаны основы их теории. Начиная с этого времени быстрыми темпами происходит электрификация промышленности и транспорта.

Учебные планы технических университетов содержат курс «Электромеханические преобразователи систем автоматики и бытовой техники» для студентов различных электротехнических специальностей. Учебный план для студентов специальностей 140.601 предусматривает, кроме теоретического курса, практические и лабораторные занятия и достаточно большой объем самостоятельной работы.

Изучение курса базируется на преемственности знаний, полученных при изучении таких предшествующих дисциплин, как курсы высшей математики, физики, теоретической механики, сопротивления материалов, теоретических основ электротехники, основ электроники и др.

Знания, полученные студентами при изучении курса «Электромеханические преобразователи систем автоматики и бытовой техники», необходимы для освоения материала по курсам: электромеханика и электрические машины, основы автоматизированного электропривода, электрические аппараты, электрические микромашины и др.

Данная работа предназначена для освоения отдельного раздела дисциплины – изучения сельсинов – и практического применения полученных знаний для эксплуатации, расчетов и конструирования.

Учебное пособие разработано для высших учебных заведений на базе программы курса «Электромеханические преобразователи систем автоматики и бытовой техники» по специальности 140.601 «Электромеханика», утвержденной 27.03.2000 г. в соответствии с ГОС.ОПД.Ф.08.

Цель работы – изучение основ теории, общих сведений о конструкциях, принципе действия, особенностях, типах и характери-

ках однофазных контактных и бесконтактных сельсинов; проведение испытаний контактных и бесконтактных сельсинов в различных режимах работы, анализ характеристик.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ, ОСНОВЫ ТЕОРИИ, КОНСТРУКЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ

В системах автоматического контроля и регулирования иногда необходимо передавать на расстояние заданный угол поворота вала контролируемого или регулируемого объекта или получать информацию об угловом положении вала этого объекта. Для этой цели применяют системы дистанционной передачи угла на электрических машинах синхронной связи, называемых сельсинами. Сельсины относятся к информационным электрическим машинам, так как они преобразуют угол поворота в электрический сигнал и, наоборот, электрический сигнал в угловое перемещение.

На рис. 1 показаны структурные схемы систем дистанционной передачи угла поворота вала с помощью сельсина-датчика СД и сельсина-приемника СП, соединенных линией связи ЛС. При повороте вала В на угол α (рис. 1, а) сельсином-датчиком вырабатывается соответствующий этому углу сигнал, который передается по линии связи на сельсин-приемник СП, где он преобразуется в угловое перемещение ротора СП на угол α . Рассмотренная система называется индикаторной, так как вал сельсина-приемника поворачивает стрелку индикатора И, отмечающую на шкале угол поворота вала В. Индикаторная система только передает информацию об угловом положении контролируемого вала.

Если требуется воспроизвести угол поворота α вала В на каком-либо рабочем механизме, то система дополняется усилителем мощности У и исполнительным двигателем ИМ (рис. 1, б), который через редуктор Р создает на валу рабочего механизма РМ вращающий мо-

мент, достаточный для поворота вала на угол α . Одновременно поворачивается ротор сельсина-приемника СП на угол α . Такая система дистанционной передачи называется трансформаторной.

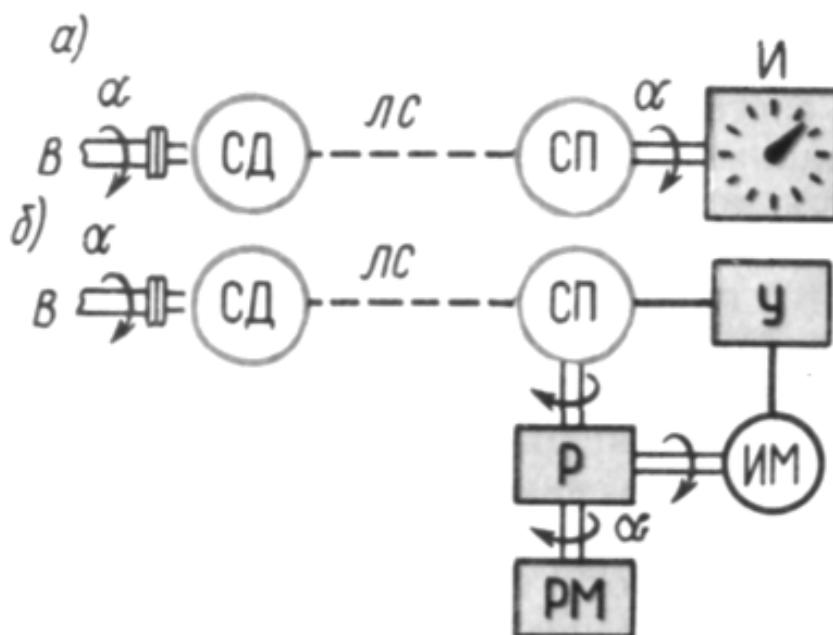


Рис. 1. Структурные схемы дистанционных систем передачи угла поворота на сельсинах:
 а – индикаторная, б – трансформаторная

Сельсины применяют также в системах электрического вала, осуществляющих синхронное вращение валов нескольких механизмов, находящихся на расстоянии друг от друга.

Наибольшее применение в системах дистанционной передачи угла получили однофазные сельсины. Такой сельсин состоит из неподвижного статора и вращающегося ротора. На статоре однофазного сельсина (рис. 2) расположена однофазная обмотка возбуждения ОВ, а на роторе – трехфазная обмотка синхронизации ОС, соединенная звездой. Для электрической связи обмотки ротора с внешней цепью используются контактные кольца и щетки. Кольца закреплены на валу сельсина и изолированы друг от друга. Между кольцами и щетками осуществляется скользящий контакт, так как кольца вращаются вместе с ротором, а щетки неподвижны. Помимо рассмотренного сельсина, называемого контактным, существуют бесконтактные сель-

сины, у которых все обмотки расположены на статоре, следовательно, у них нет контактных колец и щеток.

Сельсин – индукционная электрическая машина, так как ее принцип действия основан на трансформаторной связи между обмотками на статоре и роторе: напряжение, поданное на одну из обмоток, передается на другую обмотку за счет индуктивной связи между ними.

Сельсинами называют электрические микромашины, обладающие способностью самосинхронизации и применяемые в индукционных системах синхронной связи в качестве датчиков и приемников. Слово «сельсин» происходит от английских слов self-synchronizing, что означает самосинхронизирующийся.

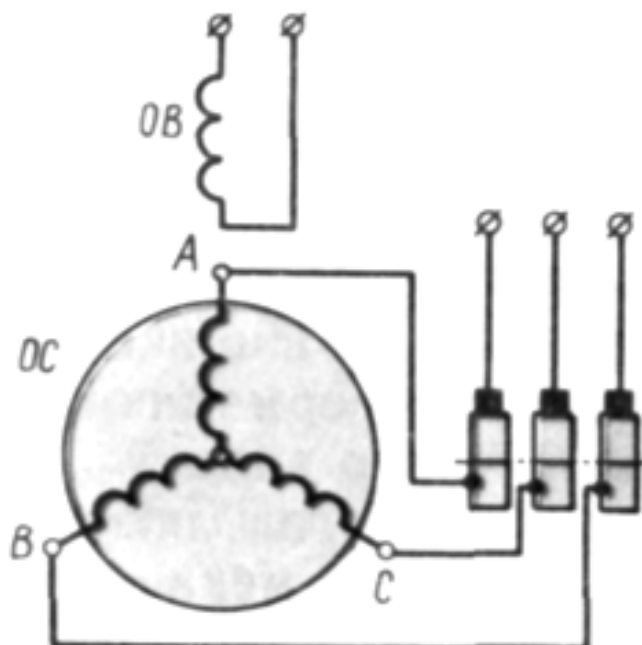


Рис. 2. Схема однофазного сельсина

Индукционные устройства синхронной связи служат для передачи на расстояние углового перемещения или линейного, преобразованного в угловое. При этом между устройством, задающим угол (датчиком) и устройством, принимающим передаваемую величину (приемником), существует только электрическая связь. Эту электрическую связь между датчиком и приемником называют линией связи. Передача угловой величины в такой системе происходит синхронно, синфазно и плавно.

Используемые в индукционных системах синхронной связи сельсины и сами системы можно подразделить на две группы: трехфазные силовые и однофазные.

Трехфазные сельсины применяют в схемах электрического вала, где необходимо строго синхронное и синфазное вращение двух двигателей, удаленных друг от друга. В таких схемах сельсин работает и как датчик, и как приемник.

Однофазные сельсины могут работать в двух основных режимах:

– индикаторном, когда датчик поворачивается принудительно, а приемник устанавливается в согласованное с датчиком положение под воздействием собственного синхронизирующего момента;

– трансформаторном, когда датчик поворачивается принудительно, а приемник вырабатывает напряжение, являющееся функцией угла рассогласования.

Для обоих режимов возможны следующие схемы:

а) парная: датчик – приемник;

б) многократная: датчик – несколько приемников;

в) дифференциальная: два датчика – приемник.

Однофазный сельсин может работать как в индикаторном, так и в трансформаторном режиме в качестве датчика и приемника. Однако ввиду специфичности предъявляемых требований выпускаемые сельсины предназначаются для конкретного режима работы.

Основные требования, предъявляемые ко всем однофазным сельсинам:

1) высокая статическая и динамическая точности. Статическая точность определяется величиной ошибки передачи угла в режиме медленного поворота, а динамическая – в режиме непрерывного вращения;

2) способность к самосинхронизации в пределах одного оборота, т.е. свойство системы на сельсинах занимать только одно устойчивое согласованное положение в пределах оборота;

3) сохранение свойства самосинхронизации при высоких скоростях вращения.

Для обеспечения этих требований индикаторные сельсины должны развивать наибольшие удельный и максимальный синхронизирующие моменты и иметь минимальное время успокоения ротора при-

емника. Трансформаторные сельсины должны обладать максимально возможным удельным выходным напряжением при заданном сопротивлении нагрузки и минимальным выходным сопротивлением приемника.

Кроме этого, в зависимости от условий применения к сельсинам предъявляются другие требования.

КОНСТРУКЦИЯ ОДНОФАЗНЫХ СЕЛЬСИНОВ

Однофазные сельсины по конструкции и наличию скользящего контакта можно подразделить на контактные и бесконтактные.

Контактные сельсины (рис. 3, а) состоят из двух частей: статора и ротора. На статоре (или на роторе) располагают однофазную обмотку возбуждения ОВ, на роторе (или на статоре) – обмотку синхронизации ОС. Конструктивно они подобны синхронным машинам с электромагнитным возбуждением.

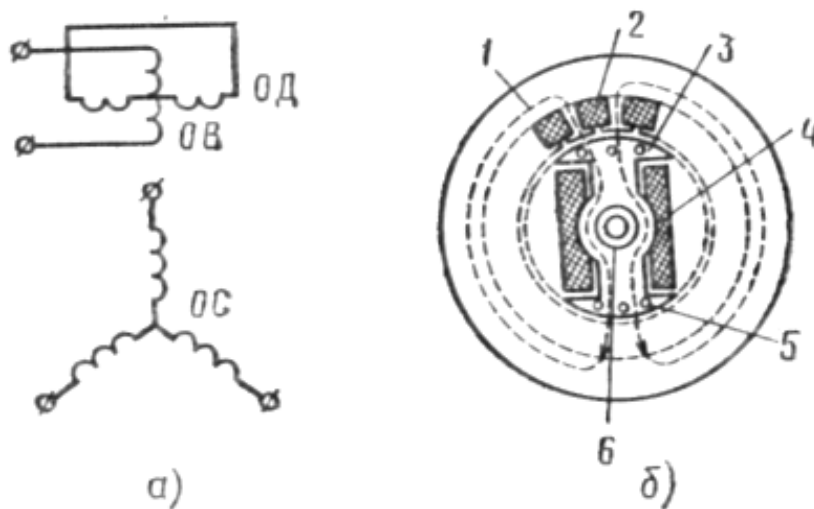


Рис. 3. Схемы контактного сельсина:

а – электрическая, б – конструктивная:

1 – статор; 2 – обмотка синхронизации; 3 – ротор; 4 – обмотка возбуждения;

5 – демпферная обмотка; 6 – контактные кольца

У однофазных сельсинов обмотку синхронизации выполняют по типу трехфазной, т.е. три отдельных обмотки смещены в пространстве на 120° и соединены в звезду, а наводимые в ней ЭДС и токи, проходящие по ее отдельным обмоткам, имеют одну и ту же времен-

ную фазу. Поэтому правильнее было бы называть обмотку синхронизации трехлучевой.

Обмотку синхронизации всегда выполняют распределенной. Обмотку возбуждения можно сделать и распределенной, и сосредоточенной. Так как в случае распределенной обмотки характеристика момента имеет меньшую крутизну, то в сельсинах, предназначенных для индикаторного режима, предпочтительнее применять сосредоточенную обмотку возбуждения.

Число пар полюсов в сельсине выбирают равным единице ($p - 1$), чтобы получить самосинхронизацию в пределах одного оборота.

Обмотка возбуждения сельсина создает пульсирующий магнитный поток. Этот поток, проходя по магнитопроводу сельсина, пересекает лучи обмотки синхронизации и наводит в них ЭДС, зависящие от угла поворота ротора. Так как при повороте ротора взаимоиндуктивность между обмоткой возбуждения и обмоткой синхронизации плавно изменяется по закону косинуса, то в лучах обмотки синхронизации наводятся ЭДС, пропорциональные косинусу угла поворота ротора.

У некоторых сельсинов имеется демпферная обмотка *ОД*, расположенная перпендикулярно обмотке возбуждения.

Принцип работы сельсина не зависит от места расположения каждой из обмоток: на статоре или на роторе. Однако наибольшее распространение получили сельсины с обмоткой возбуждения на роторе и обмоткой синхронизации на статоре (рис. 3, б). У них меньше контактных колец и щеток, что обеспечивает более высокую надежность, меньший момент трения и объем сельсина. В цепи передачи сигнала (линии связи обмоток синхронизации) отсутствуют скользящие контакты. При такой конструкции проще выполнить демпферную обмотку на роторе.

Наличие скользящих контактов значительно снижает надежность контактных сельсинов. Поэтому больше используются бесконтактные сельсины:

- а) с униполярным возбуждением ротора со стороны статора;
- б) с переходным кольцевым трансформатором.

В бесконтактном сельсине с униполярным возбуждением контактный подвод тока к ротору заменен бесконтактным подводом магнитного потока. На рис. 4 представлена схема конструкции такого бесконтактного сельсина.

На статоре расположен пакет основного магнитопровода 1, в пазах которого находится трехфазная обмотка синхронизации 2. Обмотка возбуждения 3, выполненная в виде двух кольцевых катушек, также размещена на статоре. По краям статора расположены два кольцевых магнитопровода 4. Они магнитно замыкаются между собой пакетами внешнего магнитопровода 5, которые запрессованы в цилиндрический корпус сельсина 6.

Основной и кольцевые магнитопроводы набраны из изолированных листов электротехнической стали, шихтованных по поперечной оси сельсина. Чтобы каждый лист не был короткозамкнутым витком на пути основного потока возбуждения, вводимого по продольной оси, в одном месте он имеет радиальный разрез. Сборка листов в пакет веерная, что обеспечивает равномерную магнитную проводимость пакетов по любой оси. Пакеты внешнего магнитопровода шихтованы по продольной оси сельсина. Ротор сельсина 7 состоит из двух пакетов, разделенных немагнитным промежутком 8. Каждый пакет собран из изолированных листов электротехнической стали, причем плоскости листов ротора параллельны продольной оси сельсина. Немагнитный промежуток – обычно пластмасса, в которую запрессованы листы обоих пакетов ротора. Иногда в качестве немагнитной прослойки применяют сплав силумин.

Принцип действия бесконтактного сельсина легко понять, проследив путь магнитного потока Φ .

Пусть в данный момент времени ток в обмотке возбуждения 3 протекает так, как показано на рис. 4. Тогда магнитный поток будет направлен слева направо. Поток, выйдя из точки А, встречает на пути немагнитный промежуток 8, меняет направление и через воздушный зазор Δ входит в пакет магнитопровода 1, проходит по нему путь 180° и через воздушный зазор δ_2 попадает в правый пакет ротора. Отсюда

поток через зазор δ_3 входит в правый кольцевой магнитопровод 4. Далее поток по пакетам внешнего магнитопровода 5 проходит в левый кольцевой магнитопровод 4 и, пройдя через воздушный зазор δ_4 , вновь поступает в левый пакет ротора, где и замыкается в точке А. Проходя по основному магнитопроводу 1, поток возбуждения сцепляется с обмоткой синхронизации и наводит в ней ЭДС.

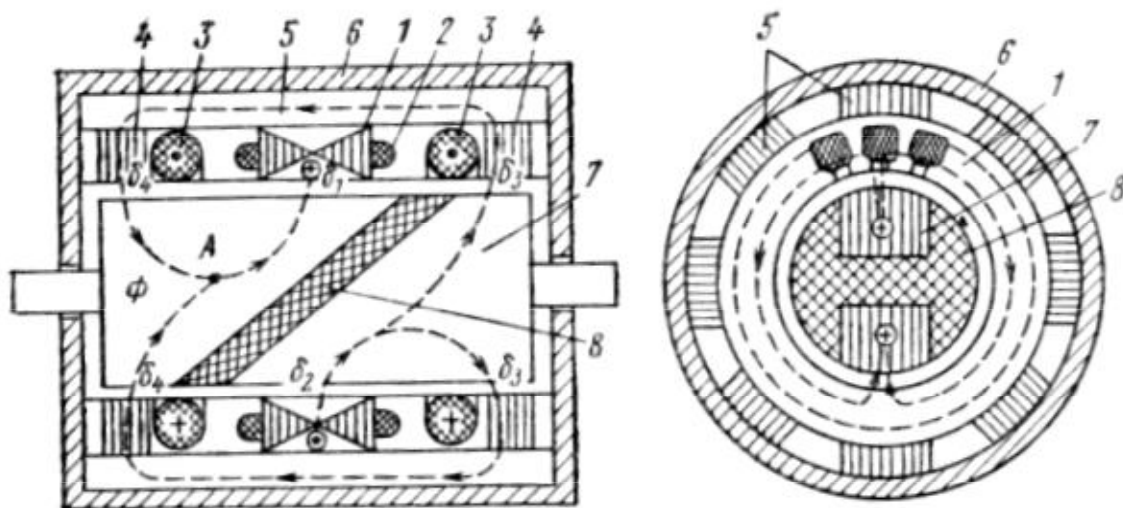


Рис. 4. Схема конструкции бесконтактного сельсина с униполярным возбуждением

При повороте ротора с ним поворачивается и магнитный поток, т.е. потокосцепление обмотки синхронизации с потоком возбуждения изменяется по тому же закону, что и у контактного сельсина. Поэтому работа этих сельсинов в системах синхронной связи не имеет принципиальных отличий от работы контактных сельсинов.

Сравнивая по рис. 3, б и 4 пути магнитных потоков в контактном и бесконтактном сельсинах, нетрудно заметить, что у бесконтактного сельсина магнитный поток преодолевает в два раза больше воздушных зазоров. Для преодоления воздушного зазора затрачивается значительная часть МДС обмотки возбуждения, поэтому у бесконтактных сельсинов обмотка возбуждения по габаритам и весу больше, чем у контактных, выполненных на тот же полезный момент. Магнитопровод в бесконтактных сельсинах также имеет большие габариты и вес, чем в контактных.

В табл. 1 для сравнения приведены некоторые данные двух типов бесконтактных серии БС и контактных серии НС сельсинов-приемников, имеющих соответственно одинаковые габаритные размеры (частота напряжения 50 Гц).

Таблица 1

Параметры	БС-404	НС-404	БС-501	НС-501
Удельный момент, Нм/град	$4 \cdot 10^{-4}$	$10 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$50 \cdot 10^{-4}$
Вес на единицу удельного момента, кг/(Нм/град)	3000	800	1140	570
Мощность на единицу удельного момента, ВА/(Нм/град)	$12,4 \cdot 10^4$	$3,1 \cdot 10^4$	$4,2 \cdot 10^4$	$1,66 \cdot 10^4$

На рис. 5 изображен бесконтактный сельсин с униполярным возбуждением типа БС-404 в разобранном виде.

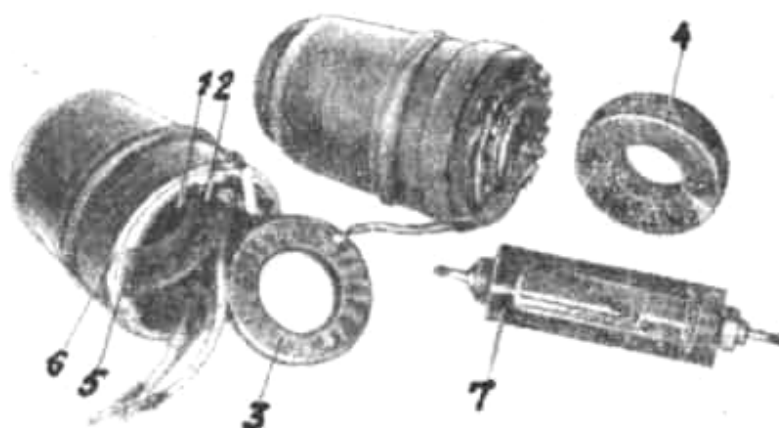


Рис. 5. Бесконтактный сельсин с униполярным возбуждением:

- 1 – пакет основного магнитопровода; 2 – обмотка синхронизации;
 3 – обмотка возбуждения; 4 – кольцевой магнитопровод;
 5 – пакеты внешнего магнитопровода; 6 – корпус; 7 – ротор

Бесконтактные сельсины с переходными трансформаторами состоят из двух частей: машинной и трансформаторной, связанных только электрически (рис. 6). Машинная часть не отличается от кон-

тактного сельсина. На статоре 1 расположена обмотка синхронизации 2, на роторе 3 – обмотка возбуждения 4 (иногда и демпферная). Трансформаторная часть представляет собой двухобмоточный кольцевой трансформатор. Обмотки статора 5 с ферромагнитным сердечником 6 и ротора 7 с ферромагнитным сердечником 8 выполнены в виде сосредоточенных катушек, магнитные оси которых совпадают с направлением вала. Вследствие концентричного расположения при повороте ротора взаимоиндуктивность обмоток не меняется. При подаче на зажимы статорной обмотки трансформатора переменного однофазного напряжения с его роторной обмотки снимается неизменное по амплитуде вторичное напряжение.

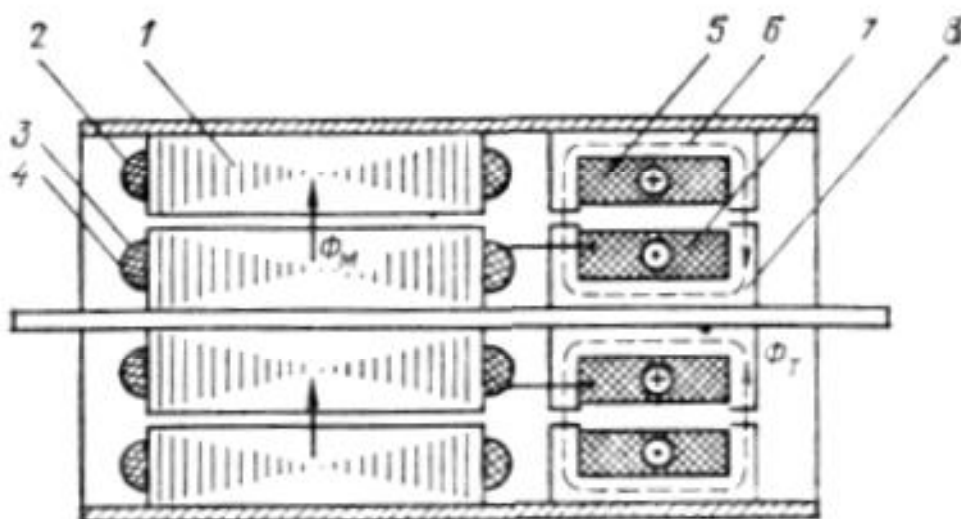


Рис. 6. Схема конструкции бесконтактного сельсина с переходным кольцевым трансформатором

Это напряжение по проводам подается на обмотку возбуждения машинной части. Таким образом удается устранить скользящие контакты.

Наличие двукратной передачи энергии через воздушный зазор (в трансформаторной и машинной частях) обуславливает у бесконтактных сельсинтов большую мощность возбуждения по сравнению с контактными.

За счет переходного трансформатора длина бесконтактного сельсина больше.

У бесконтактных сельсинов более сложная конструкция и несколько выше стоимость. Однако высокая надежность этих сельсинов окупает их недостатки. Кроме того, бесконтактные сельсины имеют меньший момент трения на валу, чем контактные.

Дифференциальные сельсины отличаются от рассмотренных однофазных контактных сельсинов только тем, что у них на статоре и роторе обмотки трехлучевые.

Отличительный признак контактных сельсинов – наличие у них контактных колец и щеток, посредством которых обмотка ротора соединяется с внешней цепью. Обычно сельсины делают двухполюсными. Магнитную систему контактного сельсина (сердечники статора и ротора) делают из листовой электротехнической стали. Сельсины могут быть явнополюсными и неявнополюсными. В явнополюсных сельсинах один из элементов магнитопровода (статор или ротор) имеет два явно выраженных полюса с полюсными катушками обмотки возбуждения *ОВ*. Тогда другой элемент (ротор или статор) делают неявнополюсным с распределенной обмоткой синхронизации *ОС*, состоящей из трех обмоток фаз, сдвинутых в пространстве относительно друг друга на 120° (рис. 7, *а, б*). Если ротор сельсина-приемника явнополюсный, то на его сердечнике обычно располагают демпферную обмотку *ДО* в виде короткозамкнутого витка, ось которого перпендикулярна оси полюсов. В неявнополюсных сельсинах обмотки статора и ротора делают распределенными. При этом обмотки синхронизации *ОС* и возбуждения *ОВ* могут быть расположены как на роторе, так и на статоре (рис. 7, *в*).

В индикаторных системах обычно применяют явнополюсные сельсины, так как они имеют повышенное значение удельного синхронизирующего момента. В трансформаторных системах используют неявнополюсные сельсины, так как их удельный синхронизирующий момент меньше, чем у явнополюсных, но распределение магнитной индукции в воздушном зазоре практически синусоидально, что обеспечивает им необходимую точность в трансформаторной системе.

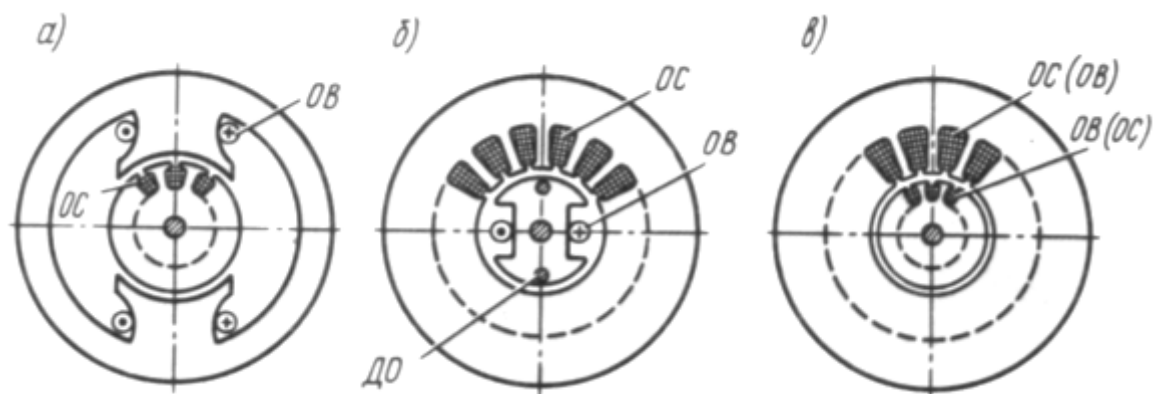


Рис. 7. Магнитные системы однофазных контактных сельсинов:
с явнополюсным статором (а), с явнополюсным ротором (б),
неявнополюсная (в)

На рис. 8 показано устройство контактного сельсина с неявнополюсной магнитной системой. Обмотка синхронизации 4 расположена на сердечнике статора 3, а обмотка возбуждения 2 – на сердечнике ротора 1. Контактные кольца 5 и щетки обычно изготавливают из сплава, содержащего серебро, что способствует более надежной и продолжительной работе этого контактного узла сельсинов. Обмотка возбуждения может быть расположена как на роторе, так и на статоре. При расположении ее на роторе число контактных колец равно двум. В этом случае через кольца и щетки ток возбуждения проходит непрерывно, даже когда система согласована. Если же на роторе расположена обмотка синхронизации, то ток через кольца и щетки (в случае индикаторной системы) проходит только при рассогласовании системы. При этом количество колец увеличивается до трех, что ведет к росту момента сопротивления за счет возросших сил трения на контактном узле.

Значительное влияние на свойства сельсина оказывает сила прижатия щеток к контактным кольцам. При слабом прижатии уменьшается момент сопротивления на валу сельсина, но возрастает переходное электрическое сопротивление скользящего контакта и, как следствие, погрешность индикаторной системы. Если щетки прижаты слабо, то при вибрациях возможны периодические потери скользящего контакта и нарушение работы системы. При сильном прижатии

щеток к кольцам улучшается контакт с кольцами, но возрастает момент сопротивления за счет возросших сил трения щеток о кольца, что увеличивает погрешность индикаторной системы и сокращает срок службы щеток и контактных колец из-за их быстрого износа.

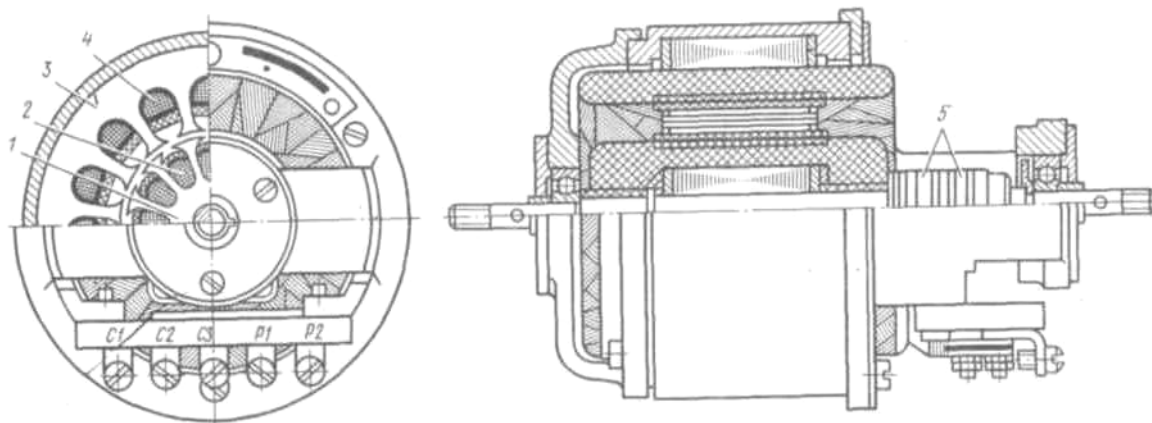


Рис. 8. Устройство контактного сельсина
с неявнополюсной магнитной системой

Наличие скользящего контакта – существенный недостаток контактных сельсинов, снижающий их надежность и точность.

Чтобы увеличить надежность контактных сельсинов, кольца и щетки обычно изготавливают из сплавов, содержащих серебро. Однако и эта мера полностью не избавляет контактные сельсины от присущих им недостатков.

Наибольшее применение в устройствах автоматики получили бесконтактные сельсины, не имеющие скользящих электрических контактов (колец и щеток). Эти сельсины отличаются от контактных высокой точностью и стабильностью характеристик; при колебаниях температуры, влажности и т.п., а также высокой эксплуатационной надежностью.

В настоящее время применяются бесконтактные сельсины двух конструкций: сельсины с двумя обмотками на статоре и сельсины с кольцевым трансформатором. Сельсины с двумя обмотками на статоре были разработаны советскими учеными А.Г. Иосифьяном и Д.В. Свечарником. На рис. 9 показана конструктивная схема такого

сельсина. Ротор 6 представляет собой цилиндр из ферромагнитного материала (стали), состоящий из двух магнитно разделенных частей, называемых полюсами. В качестве магнитной изоляции, разделяющей полюса ротора друг от друга, используется алюминиевая прослойка.

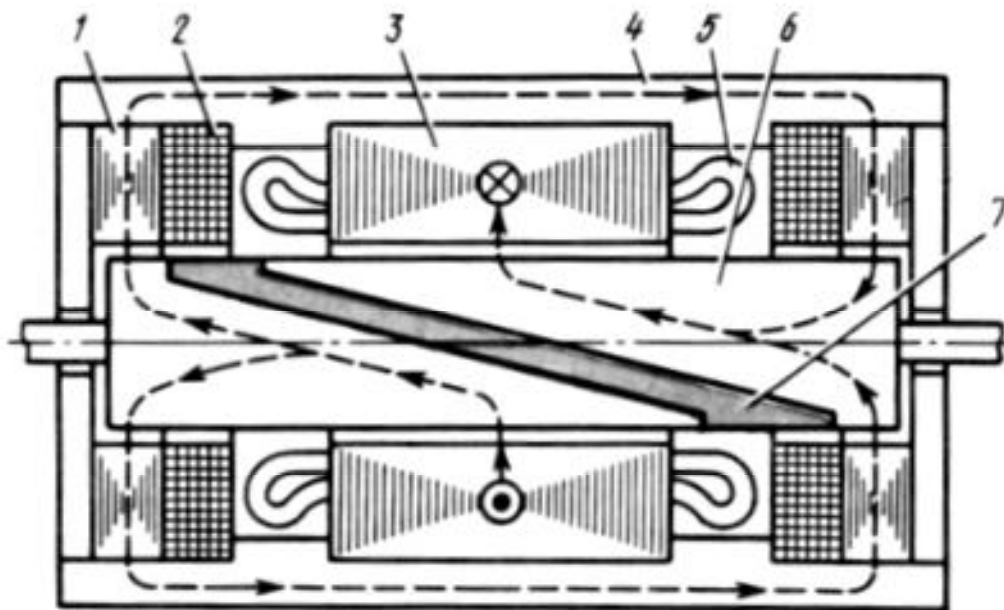


Рис. 9. Конструктивная схема бесконтактного сельсина конструкции Иосифьяна и Свечарника

Эта же прослойка скрепляет полюса ротора. С торцевых сторон сельсина расположены тороидальные сердечники 1, выполненные из тонколистовой электротехнической стали. Внутренняя поверхность этих сердечников расположена над ротором, а к их внешней поверхности примыкают стержни внешнего магнитопровода 4. Однофазную обмотку возбуждения сельсина выполняют в виде двух дисковых катушек 2, расположенных с противоположных сторон статора между обмоткой синхронизации 5 и тороидальными сердечниками 1. Магнитный поток возбуждения, замыкаясь вокруг правой дисковой катушки 2 по правому тороидальному сердечнику 1, через воздушный зазор проходит в один из полюсов ротора 6. Благодаря немагнитному промежутку 7, разделяющему полюса ротора, этот магнитный поток проходит через воздушный зазор между ротором и статором в сердечник статора 3 с обмоткой синхронизации 5. Пройдя по зубцам и

спинке этого сердечника, поток через воздушный зазор проходит во второй полюс ротора. Затем через зазор и левый тороидальный сердечник 1 вокруг левой дисковой катушки 2 он попадает в стержни внешнего магнитопровода 4 и замыкается в правом тороидальном сердечнике 1.

Таким образом, в процессе работы сельсина пульсирующий магнитный поток возбуждения замыкается в магнитной системе сельсина, сцепляясь с обмоткой синхронизации на сердечнике статора. При этом если поворачивать ротор сельсина, то вместе с полюсами ротора будет поворачиваться и магнитный поток, т.е. в бесконтактном сельсине, так же как и в контактном, потокосцепление потока возбуждения с обмоткой синхронизации зависит от пространственного положения (угла поворота) ротора. Благодаря разделению ротора бесконтактного сельсина на магнитно изолированные полюса обмотки синхронизации и возбуждения можно расположить на статоре и отказаться от контактных колец и щеток. Магнитный поток возбуждения (см. рис. 9), замыкаясь в магнитопроводе сельсина, четыре раза проходит через воздушный зазор. Поэтому для создания в сельсине требуемого магнитного потока требуется значительная МДС обмотки возбуждения, что является причиной повышения габаритных размеров бесконтактного сельсина по сравнению с контактными сельсинами.

В табл. 2 приведены технические данные контактного и бесконтактного сельсинов-приемников с одинаковыми максимальными значениями синхронизирующих моментов. Несмотря на большую массу и габаритные размеры, бесконтактные сельсины широко применяются в устройствах автоматики, что объясняется их повышенной надежностью и стабильностью характеристик. В последнее время применяются бесконтактные сельсины с кольцевым трансформатором (рис. 10). Обмотка синхронизации 2 такого сельсина расположена на статоре 4, обмотка возбуждения 1 – на роторе 3. Питание обмотки возбуждения осуществляется посредством кольцевого трансформатора. Магнитопровод этого трансформатора состоит из двух частей, разделенных воздушным зазором. Неподвижная часть 5 с первичной обмоткой 6 расположена на ста-

торе, а вращающаяся часть 8 со вторичной обмоткой 7 – на роторе. Энергия из первичной обмотки трансформатора 6 передается во вторичную обмотку 7, связанную с обмоткой возбуждения сельсина. Магнитный поток Φ в кольцевом магнитопроводе трансформатора дважды проходит через воздушный зазор, что является причиной повышенного значения намагничивающего тока, а следовательно, и габаритных размеров трансформатора. Однако при частотах 400, 500 и 1000 Гц, для которых предназначен рассматриваемый сельсин, кольцевой трансформатор имеет небольшие габаритные размеры, позволяющие расположить его в корпусе сельсина.

Таблица 2

Тип и конструкция сельсина	Параметры			
	Частота, Гц	Потребляемая мощность, Вт	Максимальный синхронизирующий момент, 10^{-2} Н·м	Масса, кг
СС-501 контактный	50	13	176	2,8
БЦ-501 бесконтактный	50	29	176	4,1

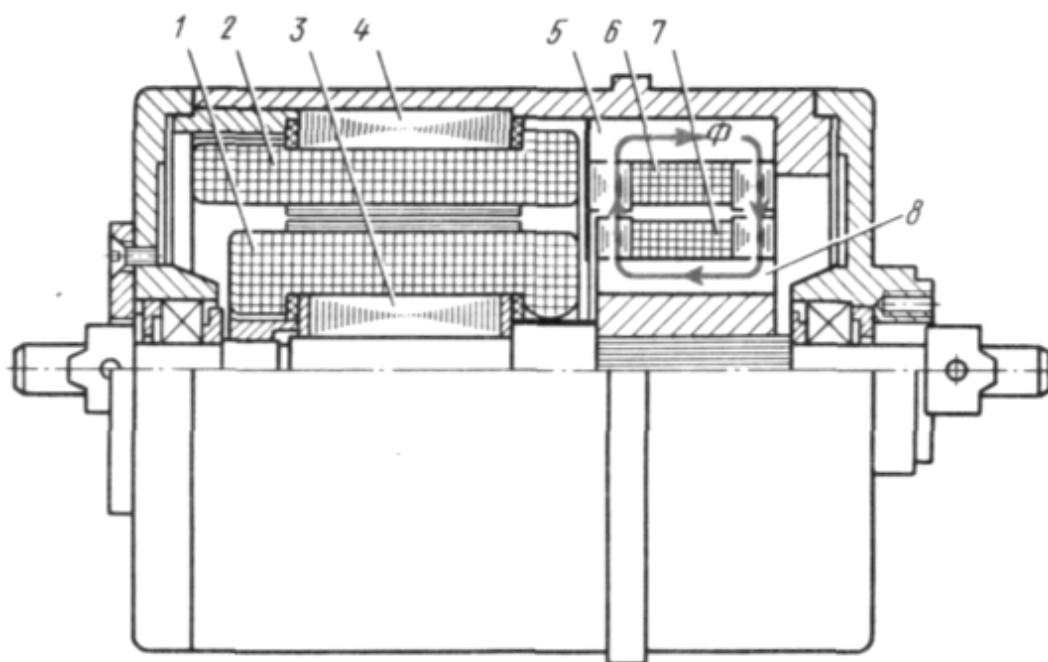


Рис. 10. Устройство бесконтактного сельсина с кольцевым трансформатором

ИНДИКАТОРНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ СЕЛЬСИНОВ

Для передачи на расстояние информации о положении какого-либо регулирующего органа: клапана, заслонки вентиля и т.д., наиболее удобны сельсины, работающие в индикаторном режиме, особенно когда подход к регулирующему органу небезопасен и показания передаются на пульт управления. При этом сельсин-приемник, как правило, не должен иметь момента сопротивления на валу, с его ротором связана только стрелка, указывающая величину передаваемого угла.

Обычно в индикаторном режиме работают два сельсина одного типа: датчик СД и приемник СП. На рис. 11 представлена схема однофазных сельсинов, работающих в индикаторном режиме. Обмотки возбуждения сельсинов подключаются к однофазной сети переменного тока. Обмотки синхронизации соединены между собой линией связи строго соответственно.

График зависимости синхронизирующего момента от угла рассогласования показывает, что сельсин имеет две точки согласованного положения ($\theta=0$; $\theta=180^\circ$). В этих точках момент равен нулю и, казалось бы, это противоречит основному свойству сельсинов – самосинхронизации в пределах одного оборота. Но эти положения не равнозначны: одно из них соответствует устойчивому равновесию $\theta=0$, другое – неустойчивому $\theta=180^\circ$. Рассмотрим это на примере двух магнитов.

Если между двух полюсов магнита поместить другой магнит, то можно указать два положения, при которых момент равен нулю:

- 1) когда магнит обращен к другому разноименными полюсами (устойчивое равновесие),
- 2) когда магнит обращен к другому одноименными полюсами (неустойчивое равновесие).

При числе пар полюсов $p > 1$ число точек устойчивого равновесия равно p (например, $\theta=0$ и 180° при $p = 2$) и передача угла неоднозначна.

Важнейшей характеристикой сельсина является удельный синхронизирующий момент. Под ним понимают величину синхронизирующего момента, приходящегося на один градус угла рассогласова-

ния в начале характеристики, т.е. удельный синхронизирующий момент есть крутизна начального участка угловой характеристики:

$$M_{уд} = \left(\frac{\Delta M_c}{\Delta \Theta} \right)_{\Theta \approx 0} \text{ или } M_{уд} = \left(\frac{dM_c}{d\Theta} \right)_{\Theta \approx 0}.$$

В случае одностипных датчика и приемника величину удельного момента можно определить по формуле

$$M_{уд} = 20,8 \cdot 10^{-4} \frac{E_{\max} X_q}{f(X_q^2 + R_q^2)}, \quad \text{Н} \cdot \text{м} / \text{град}$$

где R_q , X_q – активное и индуктивное сопротивления обмотки синхронизации по поперечной оси; f – частота напряжения сети.

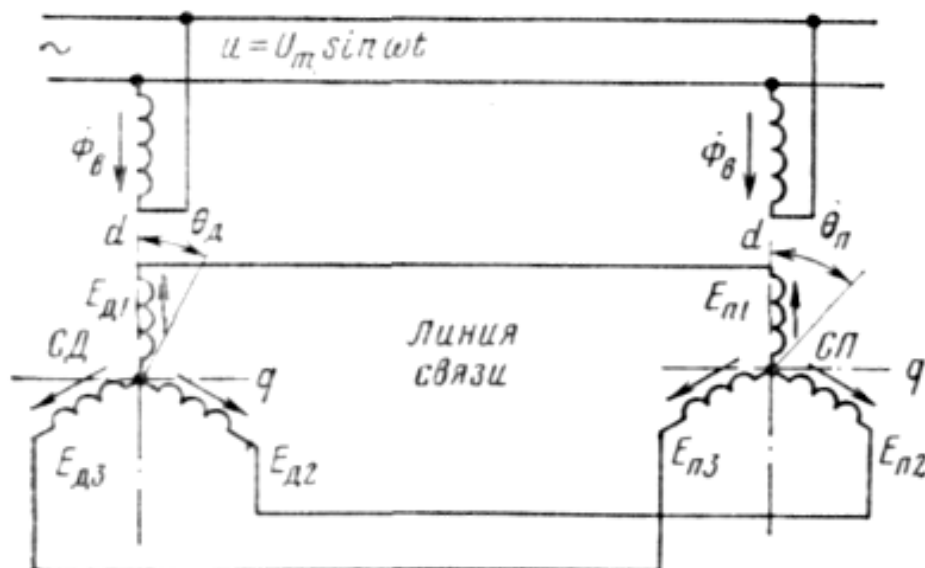


Рис. 11. Схема однофазных сельсинов в индикаторном режиме

В индикаторном режиме передача угла происходит со статической угловой погрешностью. При работе без нагрузки погрешность, вызванная собственным моментом трения M_T сельсина-приемника, является основной и характеризует величину зоны нечувствительности приемника, в пределах которой ротор приемника может занять любое положение при одном и том же положении датчика. Величина этой зоны определяется отношением собственного момента трения сельсина-приемника к удельному синхронизирующему моменту

$$B = M_T / M_{уд}, \text{град},$$

и она тем уже, чем больше величина $M_{уд}$.

У сельсинов различных размеров удельный синхронизирующий момент равен $(1 - 50) \cdot 10^{-4}$ Нм/град.

В зависимости от величины статической погрешности сельсины, работающие в индикаторном режиме, подразделяют на четыре класса точности. У сельсинов высшего класса точности статическая погрешность не превышает $\pm 30'$, у сельсинов низшего класса – достигает $+90'$.

Для всех классов точности погрешность приемника значительно больше погрешности датчика. Погрешность датчика обусловлена в основном технологическими факторами (асимметрия обмоток, неравномерность магнитной проводимости по осям и т.д.), а на погрешность приемника дополнительно влияют моменты трения в подшипниках и в контактном узле щетки – кольца, момент статического небаланса ротора, зубцовые реактивные моменты и т.д.

В процессе эксплуатации на точность передачи влияют колебания напряжения и частоты питающей сети и сопротивление линии связи сельсинов. Уменьшение напряжения и увеличение частоты приводят к уменьшению потока возбуждения Φ_d . Увеличение расстояния между сельсинами и сопротивления линии связи снижает величину тока в обмотках синхронизации и МДС F_{max} . В обоих случаях уменьшается синхронизирующий момент и точность передачи. Резкое снижение точности передачи наступает при появлении момента нагрузки на валу приемника.

В ряде случаев сельсины в индикаторном режиме работают при непрерывном вращении. Синхронизирующий момент, называемый при этом динамическим, является функцией скорости вращения, так как ЭДС вращения, наводимая в обмотках синхронизации, снижает его величину. Значение динамического синхронизирующего момента $M_{с.дин}$, развиваемого сельсином-приемником, можно найти по эмпирическим формулам.

Динамический синхронизирующий момент при малых углах рассогласования (до 5°) и скорости от нуля до 0,2 синхронной, соответствующей данной частоте, практически равен статическому. Дальнейшее увеличение скорости приводит к существенному уменьшению динамического синхронизирующего момента.

Иногда требуется передать на расстояние угловую величину не в одно, а в несколько мест. Например, когда положение какого-либо регулирующего органа необходимо передать на главный пульт управления и местные наладочные пульты и т.д. Тогда к одному датчику подключают несколько сельсинов-приемников. Такой режим называют многократным приемом (рис. 12).

Пусть к датчику подключено n однотипных с ним приемников. Синхронизирующий момент пропорционален МДС F_{max} , последняя в свою очередь пропорциональна току обмотки синхронизации I_{max} . Так как приемники подключены к датчику параллельно, синхронизирующий момент приемника будет в n раз меньше момента датчика, поскольку

$$I_{n\max} = I_{d\max} / n.$$

В силу снижения моментов у сельсинов-приемников точность передачи будет значительно снижена.

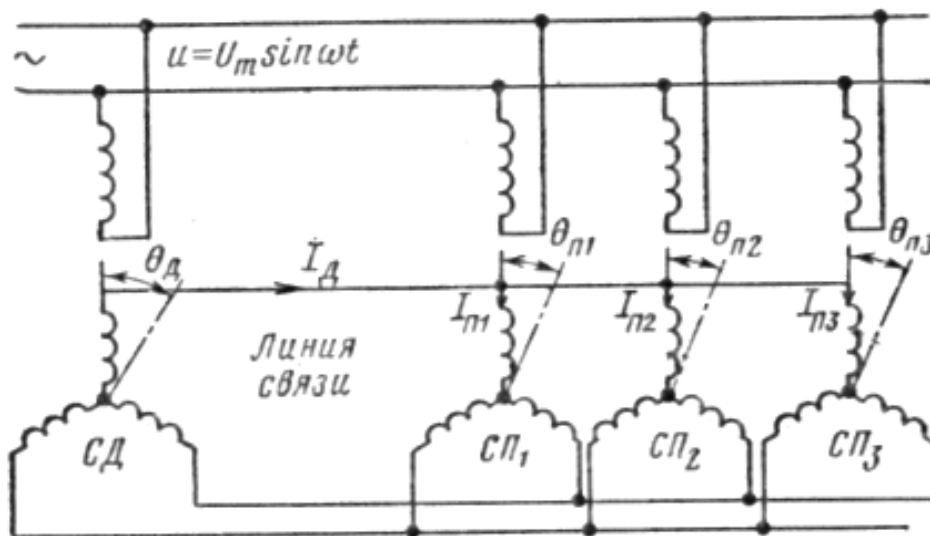


Рис. 12. Схема сельсинов при многократном приеме

Для того чтобы сохранить синхронизирующий момент приемников, выбирают сельсин-датчик в n раз мощнее сельсинов-приемников, т.е. сопротивление его обмотки синхронизации будет в n раз меньше сопротивления обмотки синхронизации каждого сельсина-приемника. В общем случае

$$M_{уд} = M_{уд.о} \frac{2}{1 + nk},$$

где $M_{уд.о}$ – удельный момент при работе одного приемника от одното-
типного датчика;

$$k = z_{д} / z_{п}.$$

Для получения большей точности передачи угла сельсины-
приемники выбирают одинаковыми и нагружают одинаковым момен-
том сопротивления.

В рассмотренных схемах при синфазном питании датчиков и
приемников сельсин-датчик развивает момент, стремящийся вернуть
его ротор в исходное положение. В ряде автоматических устройств
синхронная передача угла должна происходить при незначительном
синхронизирующем моменте на валу сельсина-датчика. Например,
если ротор сельсина-датчика механически связан с чувствительным
органом прибора и синхронизирующий момент датчика сказывается
на точности самого прибора. Для компенсации этого момента в цепь
обмотки возбуждения сельсина-приемника включают фазосдвигаю-
щий конденсатор C (рис. 13, а). Фазы магнитных потоков возбужде-
ния в $СД$ и $СП$ оказываются сдвинутыми на угол, что приводит к
снижению момента датчика (рис. 13, б).

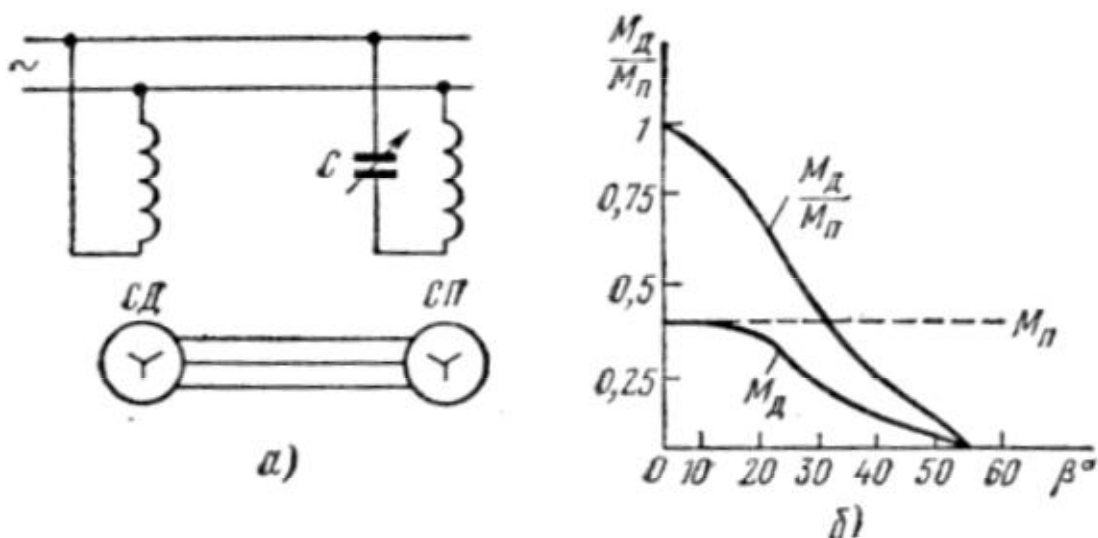


Рис. 13. Схема индикаторного режима с компенсацией момента датчика

ТРАНСФОРМАТОРНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ СЕЛЬСИНОВ

Для передачи углового перемещения или вращения на расстояние с преодолением значительного момента сопротивления используют трансформаторный режим работы сельсинов. При этом по линии связи передается незначительный по мощности сигнал, затем сигнал усиливается, приводит во вращение исполнительный двигатель, который, перемещая объект управления, одновременно уменьшает угол рассогласования между сельсином-датчиком и сельсином-приемником.

На рис. 14 приведена схема сельсинов в трансформаторном режиме. Обмотка возбуждения сельсина-датчика, как и в случае индикаторного режима, подключена к питающей сети и служит для создания в магнитной системе машины пульсирующего магнитного потока. Обмотки синхронизации датчика и приемника соединены между собой строго соответственно линией связи.

Обмотка возбуждения сельсина-приемника предназначена для выработки сигнала (напряжения), зависящего от угла рассогласования.

В трансформаторном режиме согласованным называют такое состояние схемы, когда обмотка возбуждения сельсина-приемника заранее повернута относительно обмотки возбуждения сельсина-датчика на 90° (на рис. 14 сельсины изображены в согласованном положении). Угол поворота приемника отсчитывается от этого положения.

В трансформаторном режиме сельсины в зависимости от величины статической погрешности передачи углового перемещения делятся на семь классов точности. У сельсинов высшего класса точности статическая погрешность не превышает $\pm 1'$, у сельсинов низшего класса – достигает $+30'$. Выпускаются в основном сельсины с максимальной погрешностью от $+5'$ до $\pm 30'$.

Уменьшение максимально допустимых погрешностей сельсинов в трансформаторном режиме по сравнению с индикаторным объясняется тем, что точность работы сельсинов в трансформаторном режиме определяется только их магнитной и электрической симметрией, а не величиной паразитных моментов на валу.

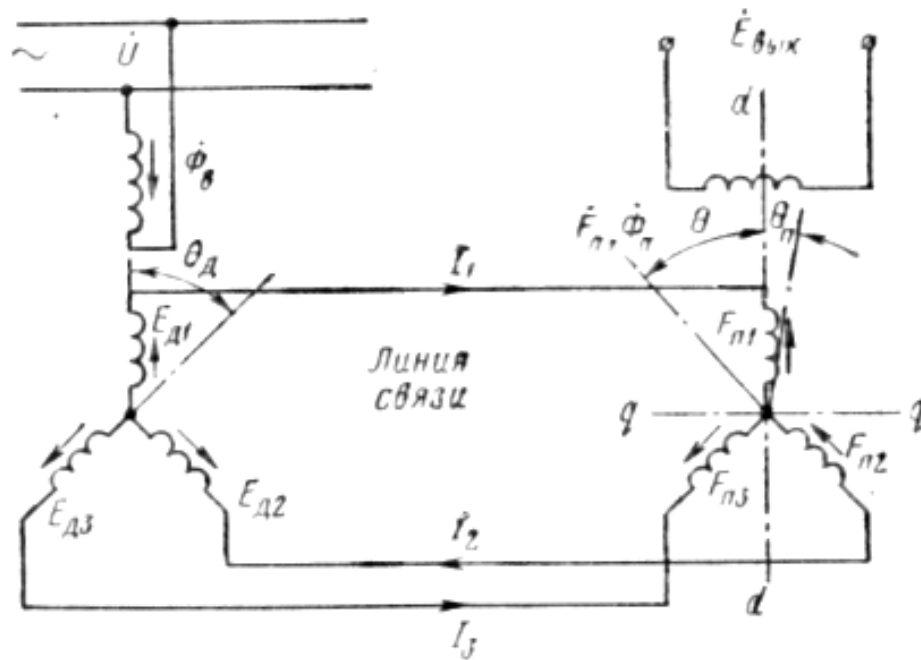


Рис. 14. Схема сельсинов в трансформаторном режиме

Важной характеристикой сельсинов при работе в трансформаторном режиме является удельное выходное напряжение $U_{уд}$ при заданном сопротивлении нагрузки $Z_{нагр}$, т.е. величина выходного напряжения $U_{вых}$, приходящаяся на один градус угла рассогласования вблизи нуля.

Трансформаторная система дистанционной передачи угла используется для передачи угла поворота на вал рабочего механизма, когда необходим значительный вращающий момент. Основные элементы трансформаторной системы (рис. 15): сельсин-датчик *СД*, сельсин-приемник *СП*, усилитель мощности *У*, исполнительный двигатель *ИМ* и редуктор *Р*, предназначенный для редукции частоты вращения и усиления вращающего момента. Усилитель мощности *У* используется для усиления мощности сигнала на выходе сельсина приемника до уровня, достаточного для приведения в действие исполнительного двигателя *ИМ*. Трансформаторная система передачи – следящая система с обратной связью по положению вала регулирующего органа рабочего механизма *РО*. Редуктор *Р* системы имеет два выхода: один присоединяется к валу рабочего механизма, другой – к валу сельсина-приемника.

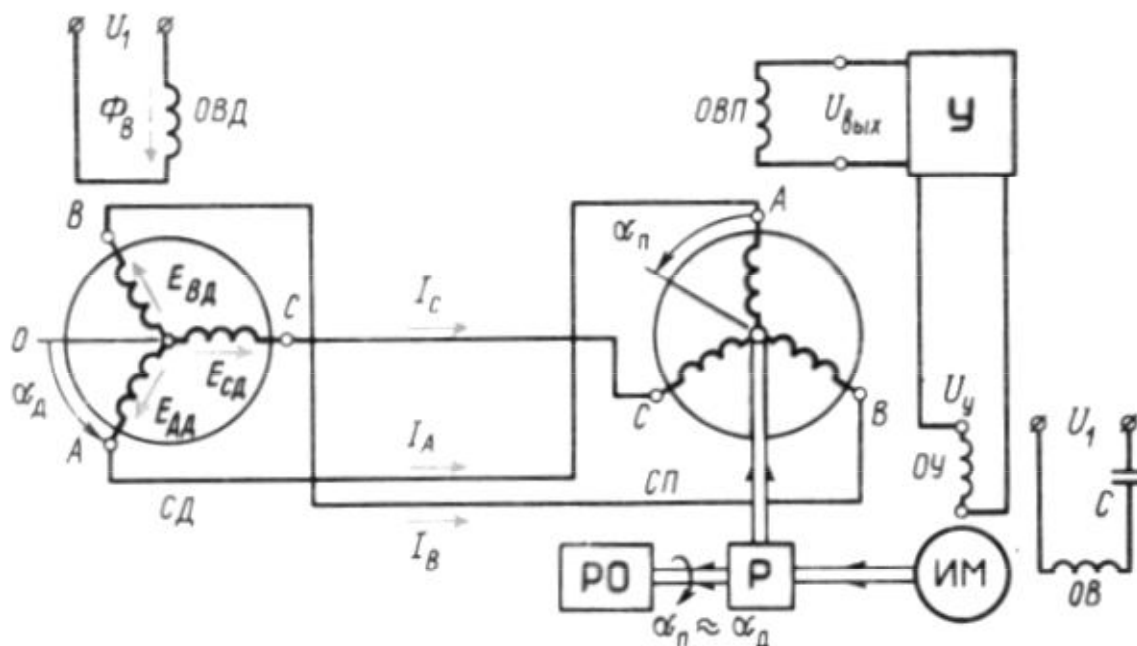


Рис. 15. Схема трансформаторной системы дистанционной передачи угла

Рассмотрим принцип работы трансформаторной системы. При включении в сеть обмотки возбуждения сельсина-датчика *ОВД* пульсирующий магнитный поток возбуждения наводит в фазах обмотки синхронизации электродвижущие силы, величина которых зависит от угла поворота ротора датчика α_d относительно продольной оси. Согласованным положением роторов датчика и приемника в трансформаторной системе считают положение, когда одноименные фазы обмотки синхронизации смещены относительно друг друга на 90° . Поэтому (рис. 15) отсчет угла α_d в датчике ведется от оси, перпендикулярной оси обмотки возбуждения.

В трансформаторной системе токи синхронизации создаются только электродвижущими силами, наведенными в датчике, а не разностью ЭДС, как в индикаторной системе. Токи синхронизации, проходя по соответствующим обмоткам фаз сельсина-приемника, создают пульсирующие МДС.

Обмотка возбуждения приемника в трансформаторной системе выполняет функцию генераторной обмотки. Сигнал напряжения трансформаторной системы на выходе приемника поступает на вход усилителя мощности *У*, на выход которого включена обмотка управ-

ления $ОУ$ исполнительного двигателя $М$. При этом ротор двигателя приходит во вращение, которое через понижающий редуктор $Р$ передается на вал рабочего механизма $РО$ и на ротор сельсина-приемника $СП$. По мере отработки заданного угла α_d МДС синхронизации по продольной оси постепенно уменьшается, следовательно, уменьшается напряжение сигнала. После того как ротор приемника будет повернут на угол α_d , выходной сигнал напряжения уменьшится до 0 и трансформаторная система придет в равновесие.

Особенность работы трансформаторной системы состоит в том, что сельсин-приемник этой системы самостоятельно не отрабатывает заданный угол поворота, а только выдает сигнал на включение исполнительного двигателя, который осуществляет отработку заданного угла поворота. Применяв в системе исполнительный двигатель требуемой мощности, можно посредством трансформаторной системы передачи угла управлять угловым положением вала рабочего механизма.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ СЕЛЬСИН

В системах дистанционной передачи угла применяются дифференциальные сельсины, назначение которых – воспроизводить угол поворота, равный сумме или разности углов, заданных двумя сельсинами-датчиками. Дифференциальный сельсин имеет две трехфазные обмотки, одна из которых расположена в пазах неявнополюсного статора, а другая – в пазах неявнополюсного ротора. Вывод обмотки ротора для подключения к внешней сети осуществлен посредством трех контактных колец и щеток.

Рассмотрим принцип работы индикаторной системы дистанционной передачи угла, содержащей два сельсина-датчика $СД1$ и $СД2$, и один дифференциальный сельсин приемник $СП-СД$ (рис. 16). Допустим, что ротор дифференциального сельсина заторможен. При включении в сеть переменного тока обмоток возбуждения $ОВ1$ и $ОВ2$ сельсинов-датчиков $СД1$ и $СД2$ создаются пульсирующие магнитные потоки $\Phi_{В1}$ и $\Phi_{В2}$. Поток $\Phi_{В1}$ наводит в обмотках фазы синхронизации датчика $СД1$ электродвижущие силы, под действием которых в

цепи синхронизации этого сельсина появятся токи. Проходя по обмотке синхронизации дифференциального сельсина, эти токи создают МДС $F_{ДС1}$. При повороте ротора датчика $СД1$ на угол $\alpha_{Д1}$ по часовой стрелке вектор МДС $F_{ДС1}$ повернется на такой же угол, но против часовой стрелки. Аналогичные процессы происходят и в цепи синхронизации обмоток датчика $СД2$ и дифференциального сельсина: при повороте ротора датчика $СД2$ на угол $\alpha_{Д2}$ по часовой стрелке вектор МДС $F_{ДС2}$ обмотки ротора дифференциального сельсина также повернется на угол $\alpha_{Д2}$, но против часовой стрелки. В итоге между векторами МДС $F_{ДС1}$ и $F_{ДС2}$ дифференциального сельсина появится пространственный угол, равный разности углов, заданных датчиками $СД1$ и $СД2$.

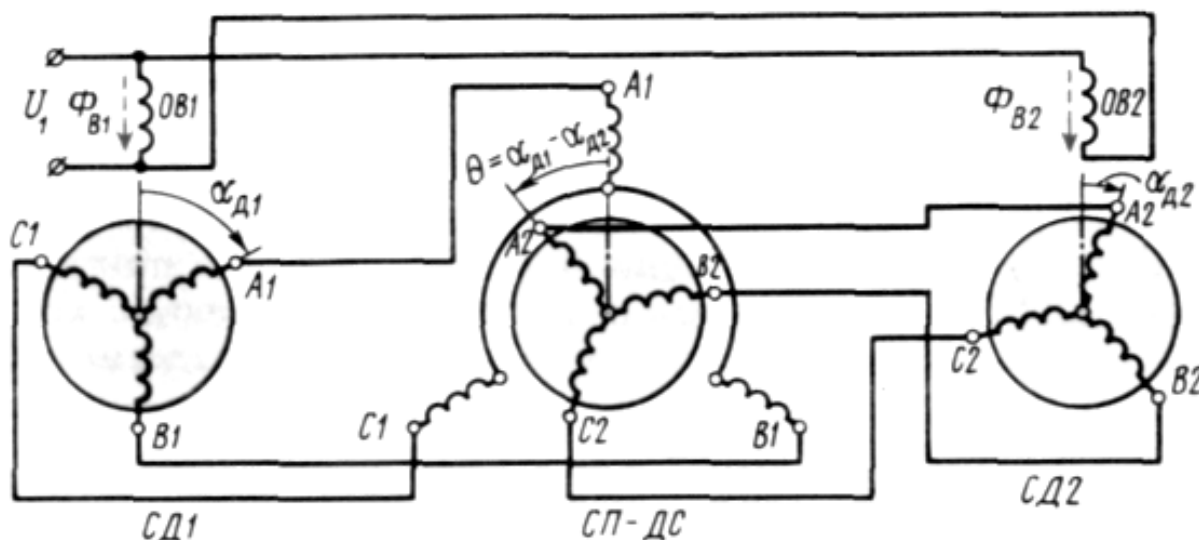


Рис. 16. Схема индикаторной системы дистанционной передачи с дифференциальным сельсином

В результате взаимодействия МДС $F_{ДС1}$ и $F_{ДС2}$ на роторе дифференциального сельсина возникает вращающий момент $M_Д$. Поэтому, если растормозить ротор дифференциального сельсина $СП-ДС$, то под действием момента $M_Д$ ротор повернется на угол θ так, чтобы векторы МДС $F_{ДС1}$ и $F_{ДС2}$ совпали по направлению и создали в магнитной системе дифференциального сельсина результирующий магнитный поток.

Если роторы датчиков *СД1* и *СД2* повернуть на углы $\alpha_{д1}$ и $\alpha_{д2}$ в разные стороны, то ротором дифференциального сельсина будет воспроизведен угол поворота, равный сумме заданных углов:

$$\theta = \alpha_{д1} + \alpha_{д2}.$$

Особенностью работы индикаторных систем с дифференциальными сельсинами является протекание токов в цепях синхронизации после отработки дифференциальным сельсином заданных углов, т.е. в согласованном состоянии.

МАГНЕСИНЫ

Магнесин – это электромеханическое устройство, состоящее из тороидального сердечника без пазов, набранного из тонких листов пермаллоя, и спиральной обмотки, намотанной поверху сердечника. Внутри тороидального сердечника расположен постоянный магнит цилиндрической формы. Индикаторная магнесинная система состоит из магнесина-датчика *Д* и магнесина-приемника *П*. Обмотки магнесинов (рис. 17) включены в сеть переменного тока, а их выводы $B_Д$ – $B_П$ и $C_Д$ – $C_П$, расположенные под углом 120° относительно друг друга, соединены линией связи. При подаче напряжения U_1 на обмотки магнесинов в тороидальных сердечниках возникнут переменные магнитные потоки возбуждения Φ_B , изменяющиеся во времени с частотой питающей сети f_1 . Эти потоки наводят в обмотках магнесинов переменную ЭДС E_B частоты f_1 . В момент времени, когда потоки Φ_B достигнут максимального значения, происходит сильное насыщение сердечников и их магнитная проводимость уменьшается. Таким образом, дважды за один период потоки возбуждения достигают максимальных значений, а магнитная проводимость пульсирует.

Магнитный поток постоянного магнита $\Phi_П$ замыкается в сердечнике магнесина, а так как магнитная проводимость сердечника пульсирует, магнитный поток Φ_B также становится пульсирующим и наводит в обмотке магнесина переменную ЭДС удвоенной частоты. Электродвижущие силы E_B основной частоты в обмотках магнесинов

не зависят от положения роторов (постоянных магнитов) датчика и приемника и не создают в обмотках магнесинов электрических токов. Электродвижущие силы удвоенной частоты при согласованном положении роторов датчика и приемника будут создавать одинаковые потенциалы на соответствующих одноименных точках обмоток датчика и приемника. Если ротор датчика повернуть на угол α_d , то потокосцепление с потоком Φ_{Π} изменится и потенциалы одноименных точек обмоток датчика и приемника, соединенных проводами линии связи, окажутся неодинаковыми.

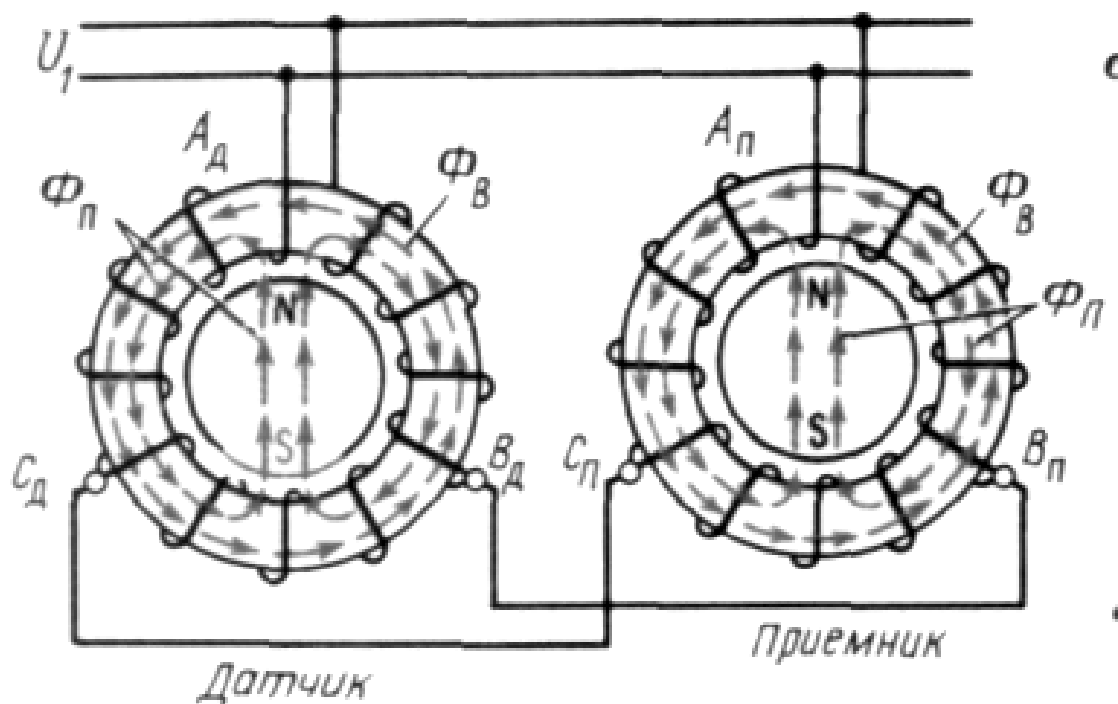


Рис. 17. Система синхронной связи на магнесинах

В итоге в обмотках датчика и приемника системы появятся токи удвоенной частоты. Эти токи, взаимодействуя с потоком Φ_{Π} в датчике и приемнике, создадут синхронизирующие моменты, стремящиеся повернуть роторы датчика и приемника в согласованное положение, после чего потенциалы одноименных точек обмоток датчика и приемника вновь станут одинаковыми и токи в обмотках магнесинов прекратятся. Таким образом, магнесины, как и сельсины, обладают свойством самосинхронизации в пределах одного оборота ротора. Синхронизирующий момент магнесинов меньше, чем у сельсина, но

по конструкции они проще сельсинов, не имеют скользящих контактов и при отсутствии нагрузочного момента на валу магнесина-приемника обеспечивают высокую точность передачи и воспроизведения заданного угла поворота. Малые габаритные размеры и массы магнесинов, высокая точность ($\Delta\theta \leq 2,5^\circ$) обеспечили им успешное применение в ряде устройств автоматики на сравнительно небольшие расстояния передачи.

ПРИМЕНЕНИЕ СЕЛЬСИНОВ

Все описанные режимы работы сельсинов в системах синхронной связи применяют для устройств автоматики, телемеханики и др. Рассмотрим несколько примеров использования сельсинов.

Сельсины, работающие в индикаторном режиме, как указывалось, применяют для передачи углового или линейного перемещения на пульт управления.

На рис. 18 представлена схема передачи положения управляющего стержня ядерного реактора. Управляющий стержень реактора через реечную передачу *РП*, преобразующую линейное перемещение в угловое, механически связан с ротором сельсина-датчика *СД*. Сельсин-приемник *СП* находится на пульте управления реактора, и на валу его ротора закреплена стрелка указателя положения стержня. Сельсины между собой связаны электрической линией связи. Выбрав соответствующую систему зубчатых передач, можно добиться высокой точности индикации положения стержня. В данной системе от одного датчика работает один приемник.

В ряде случаев встречается многократный прием, когда от одного датчика работают несколько приемников, например, радиоактивный уровнемер УР-4 завода «Физприбор», схема которого показана на рис. 19.

В этом приборе от одного сельсина-датчика *СД* работают два сельсина-приемника *СП1* и *СП2*. С сельсином-приемником *СП1* механически связан радиоактивный источник излучения, а на роторе сельсина-приемника *СП2* закреплён счетчик ядерных частиц.

Когда источники счетчик находятся на границе раздела двух сред (уровень вещества), то в усилитель сигнала не поступает и система находится в покое. Если, например, уровень вещества понизится, тогда в счетчик поступит большое излучение и на усилитель $У$ попадет сигнал определенной фазы. Ротор исполнительного асинхронного двигателя $ИД$ начнет вращаться, поворачивать ротор сельсина-датчика и одновременно стрелку вторичного прибора, указывающего уровень вещества. Синхронно с сельсином-датчиком начнут двигаться сельсины-приемники, перемещая источник и счетчик вслед за уровнем. Движение (слежение) системы будет происходить до тех пор, пока линия «источник – счетчик» вновь не достигнет уровня раздела двух сред. Стрелка вторичного прибора укажет уровень вещества.

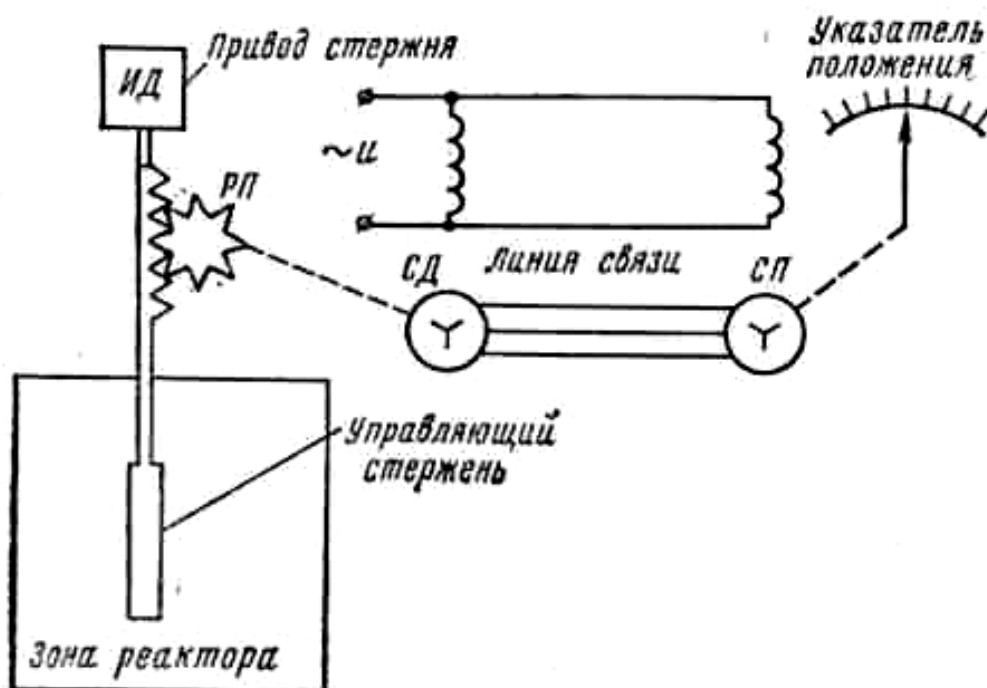


Рис. 18. Схема передачи положения управляющего стержня ядерного реактора

Нередко сельсины в индикаторном режиме работают при непрерывном вращении датчика и приемника. Примером может служить схема передачи данных курсового угла из антенны в индикаторное устройство радиолокационной станции РЛС.

Схема такого устройства представлена на рис. 20.

Вал антенны A приводится во вращение двигателем $ИД$ и связан с ротором сельсина-датчика $СД$ через ускоряющий редуктор $Ред.1$ с передаточным числом $Z=30$.

Ротор сельсина-приемника $СП$ через замедляющий редуктор $Ред.2$ с передаточным числом $Z=30$ связан с механизмом вращения отклоняющей катушки $МВК$ (сама катушка обозначена $ОК$). Обмотки возбуждения сельсинов подключены к сети переменного тока 115 В, 427 Гц.

Сельсин-приемник вращается синхронно и синфазно с сельсин-датчиком, обеспечивая синхронное и синфазное вращение линии развертки сигнала на экране индикатора с антенной РЛС.

Рассмотрим идеальный случай, когда КПД редукторов равен единице, а их погрешность передачи углового перемещения равна нулю.

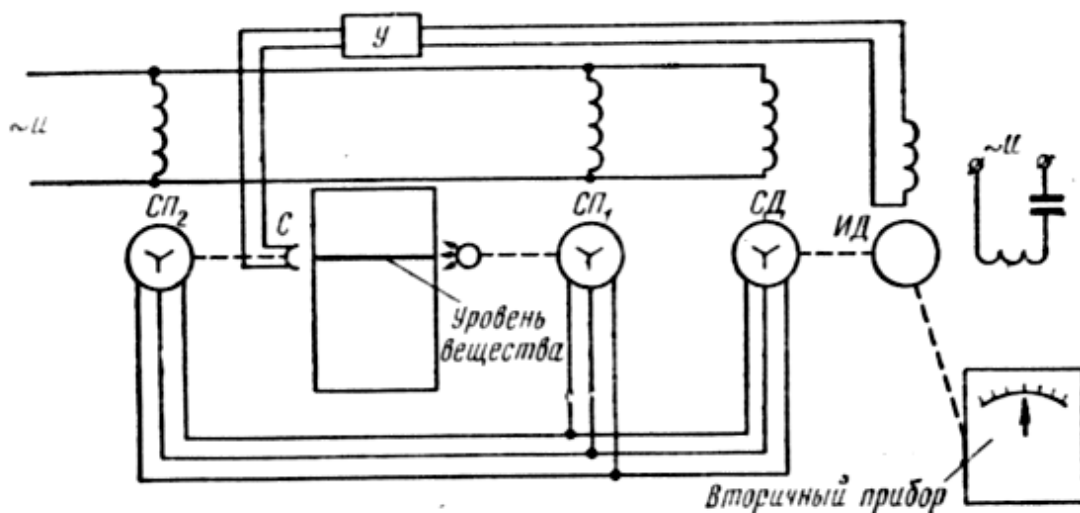


Рис. 19. Схема радиоактивного уровнемера УР-4

Применение ускоряющей передачи в антенне и замедляющей передачи в индикаторе уменьшает момент сопротивления, создаваемый механизмом вращения катушки $МВК$ на оси ротора сельсина-приемника, в i раз, т.е. в данном случае в 30 раз, а погрешность передачи курсового угла, связанную с моментом сопротивления от $МВК$ в i^2 раз. Это объясняется тем, что в i раз уменьшается погрешность $СП$

от указанного момента сопротивления и в i раз уменьшается погрешность положения ротора $СП$, приведенная к валу антенны.

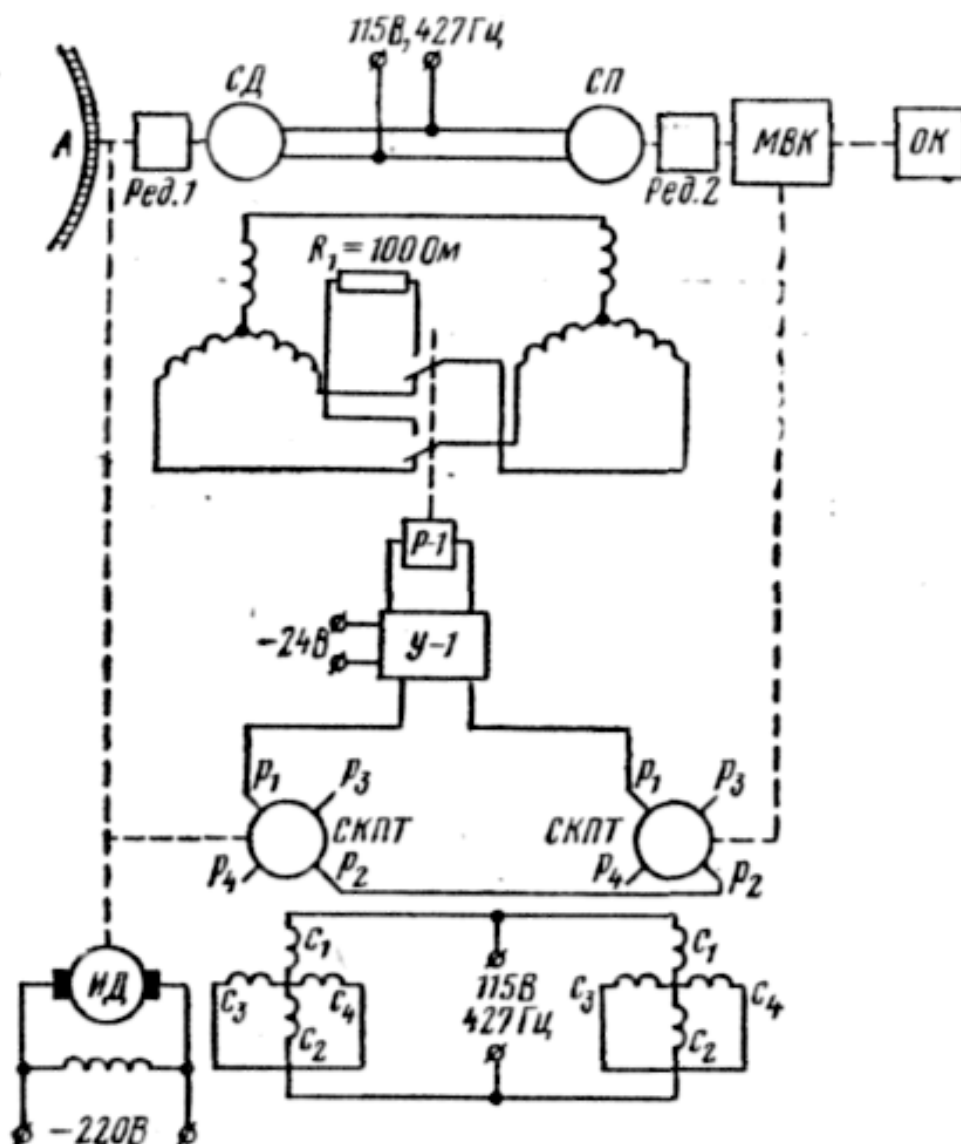


Рис. 20. Схема устройства передачи курсового угла радиолокационной станции

Но введение такой передачи приводит к потере свойства самосинхронизации системы. Пусть сельсин-датчик $СД$ рассогласован с сельсином-приемником $СП$ (в результате, например, снятия питания). С подачей питания вал $МВК$ может занять одно из устойчивых положений, когда момент сельсина-приемника равен нулю. При принятых передаточных числах определенному положению антенны $А$ могут соответствовать 30 устойчивых положений отклоняющей катушки, различающихся на углы, кратные 12° , так как за каждые 12° угла поворота $ОК$ ротор сельсина-приемника совершает полный оборот

(360°) и вновь попадает в положение устойчивого равновесия относительно сельсина-датчика. Для осуществления самосинхронизации в системе применена цепь автоматической самосинхронизации, состоящая из двух синусно-косинусных поворотных трансформаторов *СКПТ*, связанных механически с антенной и отклоняющей катушкой, реле *РЛ* и релейного усилителя *УЛ*.

Статорные обмотки *СКПТ* C_1C_2 подключены к питающей сети переменного тока 115 В, 427 Гц; обмотки C_3C_4 замкнуты накоротко для симметрирования *СКПТ*. Роторные обмотки P_1P_2 включены по схеме сравнения сигналов. Напряжение с этих обмоток подается на релейный усилитель *У-1*, нагрузкой которого является реле *Р-1*.

Когда антенна и отклоняющая катушка вращаются синхронно и синфазно, то сигнал на выходе роторных обмоток *СКПТ* близок к нулю и реле разомкнуто. При рассогласовании вращения на угол $>+5^\circ$ появляется сигнал рассогласования, реле *Р-1* срабатывает и обмотка синхронизации сельсина-приемника замыкается на сопротивление $R_1 = 100$ Ом (для быстрой остановки). Сельсин-приемник будет в покое, пока антенна не придет в соответствующий сектор. Когда ось диаграммы излучения антенны совпадает по фазе с линией развертки сигнала, реле *Р-1* потеряет питание, отпустит контакты, обмотки синхронизации сельсинов соединятся и сельсин-приемник вновь начнет вращать отклоняющую катушку синхронно и синфазно с антенной.

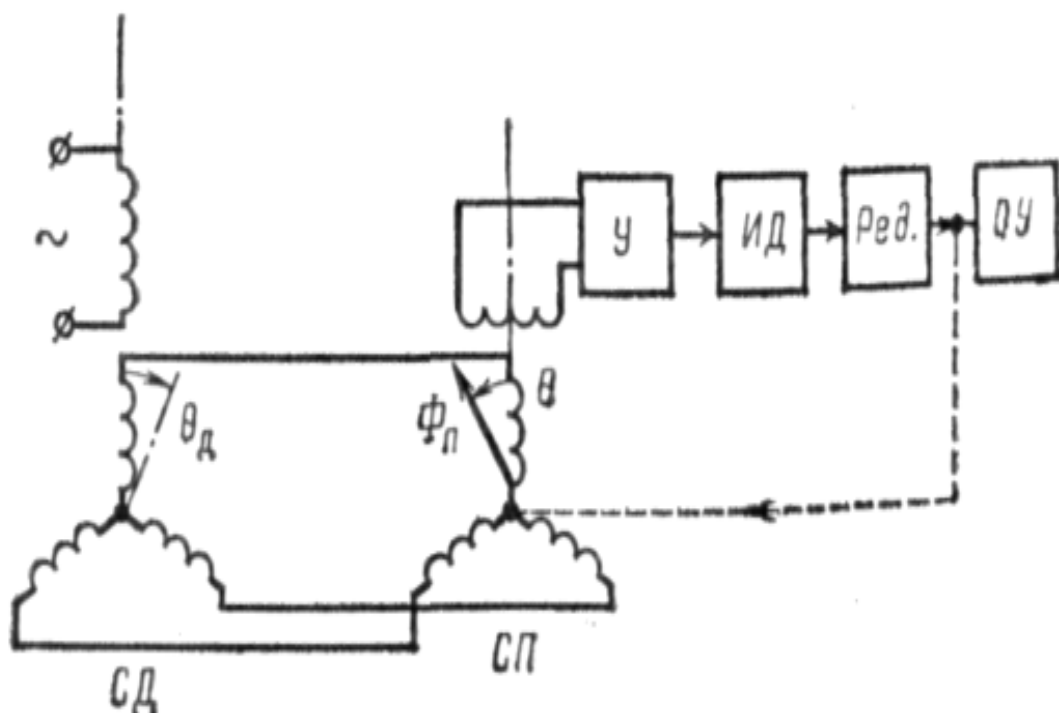


Рис. 21. Схема маломощной следящей системы

В различных устройствах автоматики часто требуется значительный момент на управляемом валу при незначительном моменте на управляющем валу. В таких системах используют сельсины в трансформаторном режиме.

На рис. 21 изображена структурная схема следящей системы с сельсинами в трансформаторном режиме. Выходное напряжение сельсина-приемника через усилитель $У$ поступает на исполнительный двигатель $ИД$, который поворачивает объект управления $ОУ$, а вместе с ним и ротор сельсина-приемника на угол, заданный датчиком. После поворота $ОУ$ и ротора приемника на одинаковый угол магнитный поток сельсина-приемника Φ_{II} вновь будет перпендикулярен к оси выходной обмотки, выходное напряжение станет равным нулю и система будет находиться в новом положении устойчивого равновесия.

ПРИРОДА ОШИБОК ПРИ РАБОТЕ СИСТЕМЫ СИНХРОННОЙ ПЕРЕДАЧИ И СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ

Источниками ошибок при работе системы синхронной передачи с однофазными сельсинами являются паразитные поперечные магнитные потоки, направленные перпендикулярно оси обмотки возбуждения и возникающие вследствие ряда причин. Эти потоки обуславливают асимметрию пространственной кривой распределения магнитного поля относительно оси обмотки возбуждения. Дополнительными источниками ошибок в индикаторных сельсинах-приемниках являются момент трения в подшипниках и щетках и неточность балансировки ротора. Появление паразитных поперечных магнитных потоков и связанных с ними ошибок при работе сельсинов обуславливается несовершенством технологии и конструктивными ограничениями. Несовершенство технологии может привести к неоднородности магнитных свойств пакета стали в различных направлениях, к короткозамкнутым виткам в обмотках и пакете стали, к неравенству чисел витков фаз и их активных и индуктивных сопротивлений, к неравномерности воздушного зазора вследствие эксцентричного положения ротора в статоре, а также эллипсоидальной расточки последнего.

Конструктивные ограничения проявляются в несинусоидальности пространственной кривой МДС и поля вследствие несовершенства обмоток и зубчатого строения статора и ротора, а также насыщения магнитной цепи. Все ошибки сельсинов, за исключением ошибки от момента трения, при повороте ротора изменяются периодически. Число периодов изменения ошибок за один оборот ротора для различных их видов может быть: от неточной балансировки ротора – один период ($p=1$), от несовершенства технологии – два периода ($k=2$), от несинусоидальности пространственной кривой МДС вследствие несовершенства обмотки – шесть периодов ($fe=6$). В общем случае $k=2m_2$. Максимум этой ошибки имеет место в положениях ротора, когда угол между осями обмоток фаз статора и ротора составляет

$$\gamma = \frac{2\pi}{8m_2},$$

где m_2 – число фаз обмотки синхронизации.

Число периодов изменения ошибки от зубцовых гармоник поля за один оборот ротора составляет $z-1$ и $z+1$, где z – число пазов. При испытаниях сельсинов можно по числу периодов изменения ошибок определить их природу. Ошибки от несинусоидальности пространственной кривой МДС в индикаторных сельсинах проявляются в меньшей степени, чем у трансформаторных, так как индикаторные сельсины имеют двухстороннее питание.

В динамическом режиме работы индикаторных сельсинов периодическое изменение момента сил тяжести при неточной балансировке ротора и паразитных поперечных потоков приводит к вынужденным колебаниям ротора приемника. При этом величина ошибки будет определяться суммарной амплитудой этих колебаний. При некоторых критических скоростях вращения, когда частота вынужденных колебаний становится равной частоте собственных колебаний, наступает явление резонанса, и нормальная работа системы становится невозможной.

Критическая скорость вращения определяется уравнением

$$n_{\text{ок}} = \frac{72,4}{k} \sqrt{\frac{gm_y}{J}}, (\text{об} / \text{мин}),$$

где n_{OK} – критическая скорость вращения, об/мин,

m_y – удельный синхронизирующий момент, кг·см/град,

J – момент инерции ротора, кг·см²,

$g = 981$ см/сек²,

k – число периодов изменения вынуждающихся сил за один оборот ротора, которое составляет:

$k = 1$ – для момента сил тяжести при неуравновешенном роторе,

$k = 2$ – для поперечных потоков, обусловливаемых технологическими неточностями,

$k = 6$ – для поперечных потоков, обусловливаемых несинусоидальностью МДС,

$k = z - 1$ и $k = z + 1$ – для поперечных потоков, обусловливаемых зубчатым строением.

При неравномерной скорости вращения возникает ошибка, обусловливаемая моментом инерции ротора приемника.

Ошибка, обусловливаемая моментом инерции ротора приемника, обратно пропорциональна коэффициенту динамической добротности сельсина.

Ошибка, обусловливаемая моментом трения в подшипниках и в щетках сельсина-приемника.

Ошибка, вызываемая моментом трения, обратно пропорциональна коэффициенту статической добротности.

Трансформаторные системы синхронной передачи обладают более высокой точностью работы, чем индикаторные, так как в них не проявляются ошибки, вызываемые механическими причинами: моментом трения, инерцией и неуравновешенностью ротора. Повышение точности трансформаторных сельсинов можно достигнуть уменьшением ошибок, вызываемых технологическими и конструктивными причинами.

Ошибки трансформаторного сельсина вызываются несинусоидальностью пространственной кривой МДС.

Ошибки трансформаторных сельсинов, вызываемые зубчатым строением статора.

Ошибки, вызываемые зубчатым строением ротора или той части, где находится выходная обмотка, при правильном выборе соотношения чисел пазов статора и ротора практически не проявляются. Поэтому величина скоса пазов должна выбираться из соображений заглушения зубцовых гармоник статора или той части, где располагается обмотка синхронизации. Можно выбрать наиболее рациональный вариант обмоток статора и ротора и величины скоса пазов, обеспечивающий минимум ошибки от конструктивных ограничений.

В трансформаторных сельсинах целесообразно избегать явления насыщения магнитной цепи, особенно зубцовой зоны, и применять в качестве магнитного материала пермаллой.

Наличие короткозамкнутой демпферной обмотки у трансформаторного сельсина-датчика способствует значительному повышению точности работы трансформаторной системы, так как эта обмотка экранирует поперечный магнитный поток.

Для повышения точности работы индикаторных сельсинов целесообразно при их проектировании соблюдать следующие рекомендации:

1. Сведение к минимуму момента трения и момента инерции ротора сельсина-приемника.

2. Повышение удельного синхронизирующего момента путем увеличения магнитной индукции в воздушном зазоре до допустимых пределов.

3. Применение скоса пазов статора или ротора для сельсинов-датчиков и приемников на одно пазовое деление.

4. Применение скоса пазов статора и ротора для сельсинов-дифференциалов в противоположные стороны.

5. Выбор величины коэффициента полюсного перекрытия для явнополюсных сельсинов из условия

$$\alpha m_2 q = \text{целому числу,}$$

где m_2 — число фаз,

q — число пазов, приходящихся на полюс и фазу.

6. Выбор соотношения чисел пазов статора и ротора неявнополюсных сельсинов по следующим неравенствам:

$$z_2 \neq z_1; z_2 \neq z_1 \pm 2; z_2 \neq 6g \pm 1; z_2 \neq 6g \pm 2$$

$$z_2 \neq 2z_1; z_2 \neq \frac{1}{2}z_1; z_2 \neq 2z_1 \pm 2; z_2 \neq \frac{1}{2}z_1 \pm 1,$$

где g – любое целое число; Z_1 – число пазов статора; Z_2 – число пазов ротора.

7. Применение двухслойных обмоток с сокращением шага приблизительно на $1/5$ полюсного деления. В неявнополюсных сельсинах двухслойные обмотки следует выполнять на статоре и роторе, при этом одна обмотка должна иметь сокращение шага около $1/5$, а другая – около $1/7$ полюсного деления.

8. Увеличение числа пазов статора (и ротора).

9. Обеспечение отсутствия механического резонанса ротора сельсина-приемника в динамическом режиме работы индикаторной системы синхронной передачи.

10. Применение высококачественной технологии изготовления сельсинов.

Для повышения точности работы трансформаторных сельсинов целесообразно при их проектировании соблюдать следующие рекомендации:

1. Применение высококачественной технологии изготовления сельсинов: тщательное изготовление обмоток с последующей проверкой отсутствия витковых замыканий и асимметрии сопротивлений фаз; веерообразная сборка пакета стали; исключение эксцентриситета ротора и эллипсоидальности окружности расточки статора.

2. Использование неявнополюсной конструкции для трансформаторных сельсинов с наличием распределенной демпферной обмотки у сельсина-датчика.

3. Увеличение числа пазов статора и ротора.

4. Выбор благоприятного соотношения чисел пазов статора и ротора в соответствии с рекомендациями.

5. Исключение явления насыщения магнитной цепи, особенно зубцовой зоны.

6. Применение пермаллоя в качестве магнитного материала.

7. Увеличение воздушного зазора и уменьшение ширины шлицов пазов.

8. Выбор рациональных типов обмоток, обеспечивающих минимум ошибки.

Выбор величины скоса пазов статора в соответствии с рекомендациями.

Наилучший вариант скоса определяется путем предварительных сравнений величин ошибок, определяемых расчетами.

ОШИБКИ ИНДИКАТОРНОЙ СИНХРОННОЙ ПЕРЕДАЧИ

Синхронизирующий момент сельсина-приемника пропорционален углу рассогласования и в согласованном положении датчика и приемника равен нулю, поэтому наличие даже самого незначительного тормозного момента, приложенного к ротору приемника, приводит к некоторой погрешности в синхронной передаче.

В индикаторных синхронных передачах различают два вида ошибок: статические и динамические. Статическая ошибка определяется в режиме поворота ($\alpha_{\Pi} = 0$) и ее величина находится из уравнения

$$M_{\Theta}(\theta) + M_T(\alpha_{\Pi})$$

или при малом угле рассогласования

$$\theta = \frac{M_T(\alpha_{\Pi})}{m}.$$

Тормозной момент приемника в режиме поворота может быть записан в виде

$$M_T = \pm M_{TP} + M_{HEB} \sin(\alpha_{\Pi} + \alpha_1) + M_r \sin(2\alpha_{\Pi} + \alpha_2) + M_Z \sin(z_{\Pi} \alpha_{\Pi} + \alpha_Z),$$

где M_{TP} – момент сухого трения;

M_{HEB} – максимальное значение момента от небаланса ротора со стрелкой;

M_r – максимальный реактивный момент от электромагнитной асимметрии магнитопровода приемника;

M_z – максимальное значение момента от зубцовых пульсаций магнитного потока.

Последние выражения дают приближенную зависимость статической ошибки сельсина-приемника от углового положения ротора и позволяют по экспериментально снятой кривой ошибок определить, какой из факторов, влияющих на ошибку, является наиболее существенным. Так, например, если кривая ошибок имеет двукратную периодичность за один оборот ротора приемника, то главное влияние на ошибку оказывает электромагнитная асимметрия магнитопровода.

В зависимости от значения статической ошибки индикаторные синхронные передачи делят по классам точности.

Класс точности	1	2	3
Максимальная статическая ошибка в градусах	0,5	1,0	1,5
Класс точности	1	2	3
Максимальная динамическая ошибка в градусах	0,5	1,0	1,5

Динамическая ошибка индикаторной синхронной передачи определяется при вращении ротора датчика по заданному закону; обычно принимается синусоидальный закон движения с некоторой амплитудой и угловой частотой.

ОШИБКИ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ СИНХРОННОЙ ПЕРЕДАЧИ

При использовании в трансформаторной синхронной передаче «идеализированных» сельсинов управляющее напряжение в режиме синхронного поворота является функцией только угла рассогласования, поэтому такая синхронная передача не имеет ошибок. При работе синхронной передачи в режиме вращения, а также в тех случаях,

когда характеристики применяемых сельсинов отличаются от идеальных, на управляющей обмотке появляется добавочное напряжение, которое не исчезает при нулевом угле рассогласования. Это добавочное напряжение ΔU_y в общем случае не совпадает по фазе с управляющим напряжением.

Значение ошибки зависит как от положения ротора сельсина-приемника по отношению к статору (статическая ошибка), так и от угловой скорости сельсинов (скоростная ошибка). Рассмотрим кратко основные факторы, определяющие скоростную и статическую ошибки трансформаторной синхронной передачи.

а. Скоростная ошибка трансформаторной синхронной передачи

Значение управляющей ЭДС сельсина-приемника в режиме вращения пропорционально току I_d . Она состоит из двух частей: первая часть, пропорциональная $\sin\theta$, представляет собой трансформаторную ЭДС, зависящую от угла рассогласования; вторая часть, пропорциональная угловой скорости сельсинов, – ЭДС вращения. Составляющая ЭДС вращения, совпадающая по фазе с трансформаторной ЭДС, определяет значение скоростной ошибки.

Скоростная ошибка сельсина-приемника в трансформаторной синхронной передаче пропорциональна скорости сельсинов и зависит от соотношения активного и индуктивного сопротивлений цепи синхронизации сельсинов. Для уменьшения скоростной ошибки следует переходить на повышенную частоту, при этом уменьшается как отношение активного и реактивного сопротивлений, так и относительная угловая скорость сельсинов.

Одним из способов уменьшения скоростной ошибки в следящих системах является сдвиг фазы опорного напряжения фазочувствительного усилителя так, чтобы оно оказалось в квадратуре с ЭДС вращения. Однако при этом происходит некоторое снижение эффективной крутизны управляющей ЭДС.

б. Статические ошибки трансформаторной синхронной передачи

Статические ошибки в трансформаторной синхронной передаче обусловлены двумя факторами: несинусоидальностью распределения

магнитного потока и н. с. обмоток и неточностью изготовления сельсинов. Несинусоидальность распределения н. с. и магнитного потока проявляется в том, что в кривой индукции магнитного поля в воздушном зазоре кроме основной гармоники присутствуют все нечетные гармоники. 3-я, 9-я и все, кратные трем, гармоники индуктируют в фазах трехфазной обмотки одинаковые по величине ЭДС и при соединении обмоток в звезду в выходной ЭДС отсутствуют. Поэтому на работу трехфазных сельсинов оказывают влияние только гармоники порядков $6k \pm 1$, где $k = 1, 2, 3$ и т.д. При повороте ротора сельсина пространственные гармоники также перемещаются: гармоники порядков $6k - 1$ – против направления вращения ротора, а гармоники порядков $6k + 1$ – по направлению вращения ротора с относительной скоростью (по отношению к ротору), обратно пропорциональной номеру гармоники.

Путем выбора схемы обмотки, скоса паза, ширины полюсной дуги статическая ошибка от несинусоидального распределения магнитного поля может быть снижена до нескольких угловых минут.

Статические ошибки из-за неточности изготовления сельсинов обусловлены: асимметрией магнитопровода, наличием короткозамкнутых витков, эксцентриситетом, неравенством параметров фаз обмотки синхронизации.

В случае магнитной асимметрии пакета статора его можно представить в виде магнитопровода, имеющего эллиптическую расточку. При изменении углового положения ротора ось его магнитного потока будет смещаться по отношению к ротору в направлении наибольшей магнитной проводимости. Вследствие этого возникнет погрешность, изменяющаяся с двойной периодичностью от угла поворота ротора.

Аналогичное явление будет наблюдаться при наличии короткозамкнутого витка в магнитопроводе. Под воздействием короткозамкнутого витка при вращении ротора изменяется как значение магнитного потока, так и его фаза. Эти изменения будут происходить с двойной периодичностью от угла поворота ротора.

Неравенство параметров фаз синхронизирующих обмоток приводит к появлению статических ошибок, изменяющихся также с двой-

ной периодичностью от угла поворота ротора. Это дает возможность за счет включения дополнительных активных сопротивлений, индуктивности и емкости в цепи синхронизации в некоторой степени скомпенсировать статические погрешности от неточности изготовления и остаточную ЭДС управляющей обмотки.

В зависимости от максимального значения статической ошибки трансформаторные синхронные передачи разделяются на шесть классов.

Класс точности	1	2	3	4	5	6
Максимальная статическая ошибка в угловых минутах	± 1	± 2	± 5	± 10	± 20	± 30

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЛЬСИНОВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОДНОФАЗНЫХ БЕСКОНТАКТНЫХ СЕЛЬСИНОВ

Общие положения (краткая информация)

Сельсин относится к группе электрических микромашин автоматических устройств – электрическим микромашинам синхронной связи.

В системах автоматического регулирования по углу поворота вала исполнительного механизма и в скоростных следящих системах синхронизация вращения шли поворота различных осей механизмов чаще всего осуществляется с помощью электрических систем синхронной связи, при этом задатчик угла поворота или частоты вращения и исполнительный механизм могут быть дистанционно разнесены.

В основном применяются два вида систем синхронной связи:

а) система электрического вала с силовыми сельсинами. В этом случае в качестве сельсинов применяются трехфазные асинхронные двигатели с фазным ротором. Мощность используемых в системе двигателей определяется величиной статических моментов сопротивления, которыми нагружены синхронизируемые оси;

б) система синхронной передачи угла, которая широко применяется в целях дистанционного управления, автоматического позиционирования (в позиционных следящих системах) и автоматического контроля и осуществляется с помощью сельсинов. Сельсины представляют собой электрические индукционные микромашины асинхронного типа. В зависимости от числа фаз первичной обмотки, являющейся обмоткой возбуждения, и числа фаз питающей сети сельсины подразделяются на трехфазные и однофазные. Трехфазные сельсины конструктивно не отличаются от асинхронных машин с фазным ротором. Однофазные сельсины имеют однофазную обмотку возбуждения и трехфазную обмотку синхронизации. Различают два режима работы сельсинов в системах синхронной передачи угла – индикаторный и трансформаторный. *Индикаторный режим* (рис. 22) применяется там, где момент сопротивления на ведомой оси весьма мал по величине или совсем отсутствует (ось нагружена шкалой, стрелкой и т.п.). В этом случае сельсин-приемник СП самостоятельно отрабатывает задаваемый сельсином-датчиком СД угол.

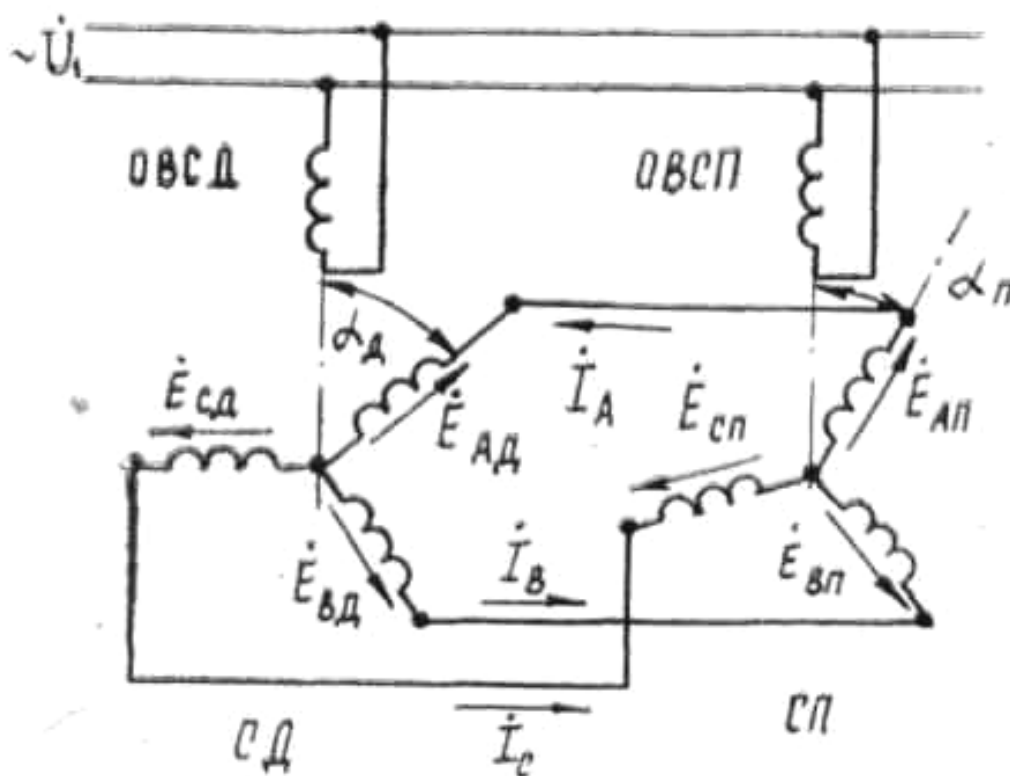


Рис. 22. Индикаторная схема синхронной связи

Трансформаторный режим (рис. 23) используется в том случае, если на ведомом валу имеется значительный момент.

Маломощный сигнал управления, поступающий от сельсина-датчика по линии связи, снимается с обмотки возбуждения сельсина-приемника, усиливается и используется для работы электродвигателя ИД, который и производит поворот на заданный угол исполнительного механизма и сельсина-приемника. Роль сельсина-приемника в этом случае заключается в том, чтобы свести сигнал сельсина-датчика к нулю в момент окончания отработки заданного угла.

По конструкции однофазные сельсины делятся на контактные и бесконтактные.

В контактных сельсинах одна из обмоток располагается на вращающемся роторе и подключается к внешней цепи через контактные кольца.

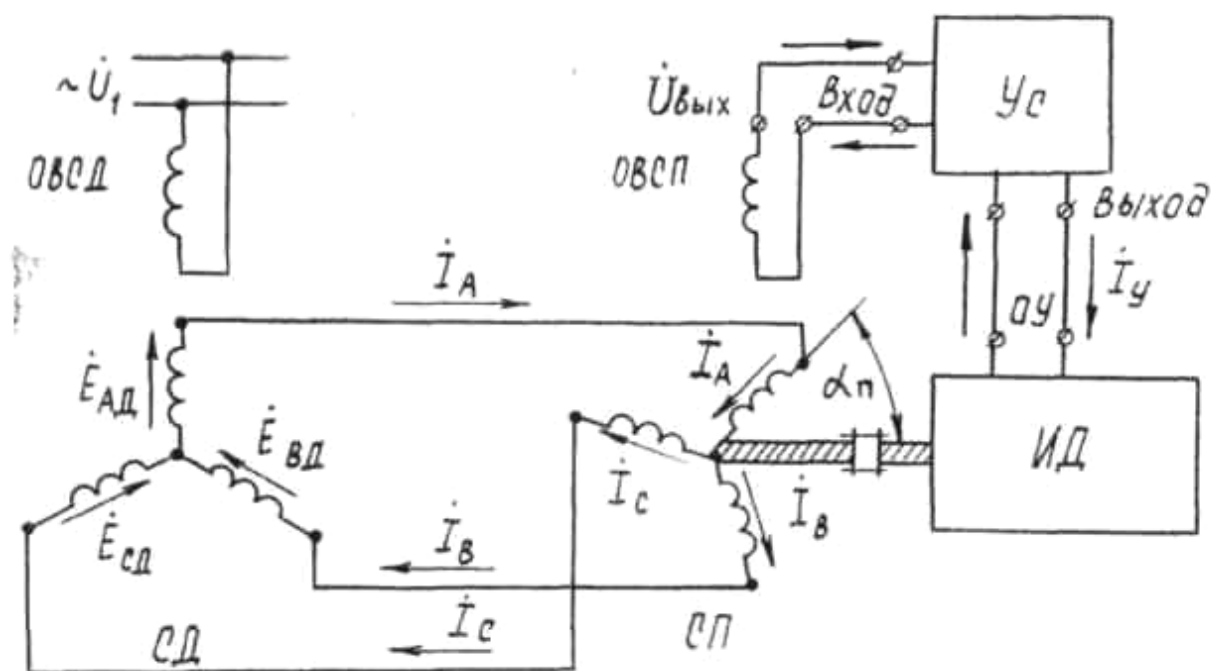


Рис. 23. Трансформаторная схема синхронной связи

Бесконтактный сельсин (рис. 24), как и контактный, имеет две обмотки – однофазную обмотку возбуждения и трехфазную обмотку синхронизации. Обе обмотки неподвижны, поэтому скользящий контакт отсутствует.

Основными элементами бесконтактного сельсина являются: статор 1, ротор 2, тороидальные сердечники 3, внешний магнитопровод 4, обмотки возбуждения 5, обмотка синхронизации 6, корпус и подшипниковые щиты.

Статор бесконтактного сельсина практически не отличается от статора обычной машины, синхронной или асинхронной. Пакет статора набирается из листов электротехнической стали, в пазах располагается трехфазная обмотка синхронизации, соединенная в звезду.

Ротор бесконтактного сельсина не имеет обмотки. Он состоит из двух пакетов, разделенных немагнитной прокладкой, которая создает магнитную несимметрию ротора и способствует при его повороте изменению положения оси потока возбуждения относительно неподвижной обмотки синхронизации.

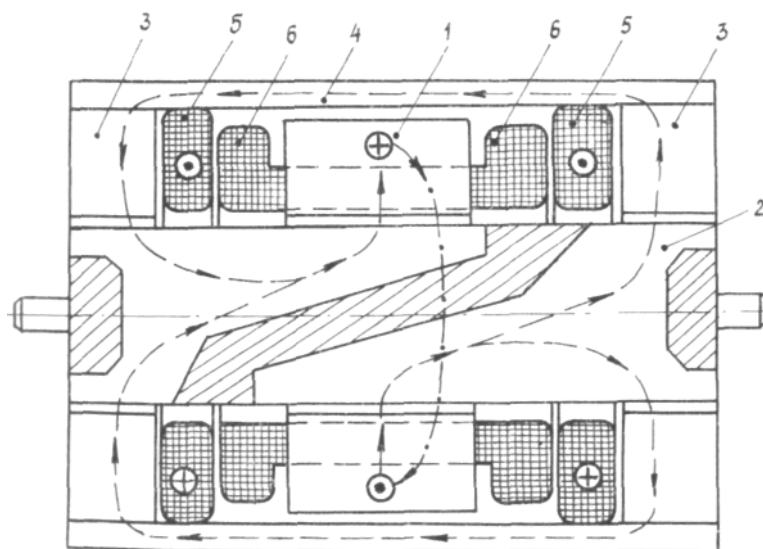


Рис. 24. Магнитная цепь бесконтактного сельсина

ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ознакомиться с конструкцией однофазных бесконтактных сельсинов.

1. Исследовать работу сельсина-датчика в режиме холостого хода:
 - а) установить ротор сельсина-датчика в согласованное положение и выставить нуль шкалы;

б) снять и построить зависимости величины напряжений на обмотке синхронизации U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} в функции угла поворота ротора α_d .

2. Исследовать работу сельсинной пары в индикаторном режиме:

а) снять и построить кривую ошибок $\Delta\alpha=f(\alpha)$, определить класс точности сельсина в индикаторном режиме;

б) определить удельный синхронизирующий момент $M_{уд}$ и время успокоения сельсина-приемника $t_{усп}$;

в) снять и построить зависимости величины синхронизирующего момента M и токов в линии связи I_A , I_B , I_C от угла рассогласования α .

3. Исследовать работу сельсинной пары в трансформаторном режиме:

а) определить величину остаточного напряжения и ошибку асимметрии;

б) снять и построить зависимость выходного напряжения сельсина-приемника от угла рассогласования при нагрузках $R_H=\infty$ и $R_H=500\text{ Ом}$;

в) снять и построить зависимости токов в линии связи от угла рассогласования при нагрузке $R_H = 500\text{ Ом}$;

г) снять и построить кривую ошибок $\Delta\alpha = f(\alpha)$, определить класс точности сельсина в трансформаторном режиме.

4. Начертить эскиз бесконтактного сельсина и показать путь потока возбуждения.

5. Рассчитать удельное выходное напряжение $U_{вых\ уд}$ сельсина-приемника в трансформаторном режиме.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Описание электрической принципиальной схемы экспериментальной установки и ее возможностей

Электрическая принципиальная схема экспериментальной установки представлена на рис. 25.

В качестве объектов испытаний используются четыре сельсина, обозначенных на схеме СС1, СС2, СС3, СС4 соответственно марок БД-

404НА, БС-405, СС-404, БС-404, номинальные данные которых приведены в табл. 3. Испытуемые сельсины закреплены на общем основании.

Выводы обмоток возбуждения обмоток синхронизации сельсинов якорных обмоток исполнительных двигателей ИД1, ИД2 подключены к 24-м клеммам многоштырькового штекерного разъема, неподвижная часть которого закреплена на задней кромке общего основания сельсинов, а съемная часть разъема многожильным гибким ленточным кабелем соединена с клеммными колодками лабораторной установки.

Экспериментальная установка позволяет:

1. Проводить испытания сельсинов в индикаторных и трансформаторных режимах: для переключения режима работы используются переключатели SA3÷SA6, соответственно в положение «Инд» или «Трансф».

2. Проводить испытания каждого сельсина по отдельности в режиме холостого хода, для включения нужного сельсина используется реле K1÷K4 и соответствующая кнопочная станция «П», «С».

3. Выбрать любой из четырех сельсинов в качестве датчика или приемника, включая соответствующие реле (K1÷K4) и задавая входной сигнал (угол α_d) выбранному в качестве датчика сельсину.

Таблица 3

Тип сельсина	Напряжение возбуждения, В	Частота, Гц	Ток возбуждения, А	Потребляемая мощность, Вт	Вторичное напряжение, В	Момент инерции, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	Вес, кг	Габариты, мм
БД-404А	110	50	0,45	12,5	49	$1,32 \cdot 10^{-3}$	1,20	62×119
БС-404А	110	50	0,45	12,5	49	$1,32 \cdot 10^{-3}$	1,30	62×119
БС-405	110	50	0,09	2,0	36	$1,32 \cdot 10^{-3}$	1,25	62×119
НС-404	110	50	0,5	8	50	$1,32 \cdot 10^{-3}$	0,8	62×119

4. Проводить испытания сельсинов при однократном, двукратном и трехкратном приеме:

- однократный – 1 сельсин-датчик, 1 сельсин-приемник (включены два реле кнопочными станциями «П», «С»),
- двукратный – 1 сельсин-датчик, 2 сельсина-приемника (включены три реле кнопочными станциями «П», «С»),
- трехкратный – 1 сельсин-датчик, 3 сельсина-приемника (включены четыре реле кнопочными станциями «П», «С»).

Кнопочные станции «П», «С» на лицевой панели стенда соответствуют расположению сельсинов, установленных на общем основании.

5. Проводить испытания сельсинов в статических режимах, задавая положение ротора сельсина-датчика вручную (с фиксацией положения), или в режиме непрерывного вращения.

Для режима непрерывного вращения на шкивы выходных концов вала двух сельсинов передается вращающий момент со шкивов исполнительных двигателей ИД1 и ИД2.

Для включения режима непрерывного вращения изменением величины управляющего сигнала (переменный резистор R) регулировать частоту вращения исполнительного двигателя до нужного значения.

Для регулирования частоты вращения исполнительными двигателями (коллекторные микродвигатели постоянного тока с постоянными магнитами) используется якорное управление изменением напряжения питания $0 \div 5$ В постоянного тока с помощью транзисторного регулятора, собранного по схеме эмиттерного повторителя (рис. 25).

Для включения первого или второго исполнительного двигателя (ИД1 или ИД2) используется переключатель SA2, расположенный на задней кромке основания сельсинов.

Схема измерений и световой сигнализации лабораторной установки (рис. 26) предоставляет следующие возможности:

1. С помощью световой индикации (светодиоды, включенные в трехлучевую «звезду») можно наблюдать по изменению яркости свечения лучей «звезды» изменение фазных напряжений U_A , U_B , U_C в линиях синхронизации при повороте ротора сельсина-датчика (изменение угла α_d).

В режиме вращения сельсина-датчика с использованием исполнительного приводного двигателя ИД1 или ИД2 имеет место эффект «вращения», или «мигания», света.

2. Для измерения напряжений используется вольтметр pV , подключенный на выход двух секций четырехсекционного галетного переключателя ГП-1.

С помощью галетного переключателя ГП-1 и pV можно измерять:

положение 1: напряжение возбуждения сельсина СС1;

положение 2: напряжение возбуждения сельсина СС2;

положение 3: напряжение возбуждения сельсина СС3;

положение 4: напряжение возбуждения сельсина СС4;

положение 5: фазное напряжение линии синхронизации U_A ;

положение 6: фазное напряжение линии синхронизации U_B ;

положение 7: фазное напряжение линии синхронизации U_C .

В каждом положении галетного переключателя ГП-1 загораются соответствующие светодиоды, подсвечивающие надписи контролируемых параметров: U_{BO31} , U_{BO32} , U_{BO33} , U_{BO34} , U_A , U_B , U_C .

На лицевой панели вольтметра загораются светодиоды (в зависимости от положения ГП-1), указывающие предел измерений шкалы вольтметра pV – 150 В или 50 В.

3. Для измерения токов используется амперметр pA , подключенный на выход двух секций трехсекционного галетного переключателя ГП-2.

Так как измеряемые токи – переменные, а используемый микроамперметр pA постоянного тока, в контролируемые цепи включены шунты R_{III} , R'_{III} со встречно-параллельным включением диодов VD и выпрямленное напряжение с точек между R_{III} – VD и R'_{III} – VD' (рис. 26) подается через балластные сопротивления на микроамперметр pA .

С помощью галетного переключателя ГП-2 и амперметра pA можно измерять токи:

положение 1: суммарный ток возбуждения, потребляемый от источника питания включенными в цепь сельсинами – I_{BO3B} ;

положение 2: ток в линии синхронизации фазы А – I_A ;

положение 3: ток в линии синхронизации фазы В – I_B ;

положение 4: ток в линии синхронизации фазы С – I_C .

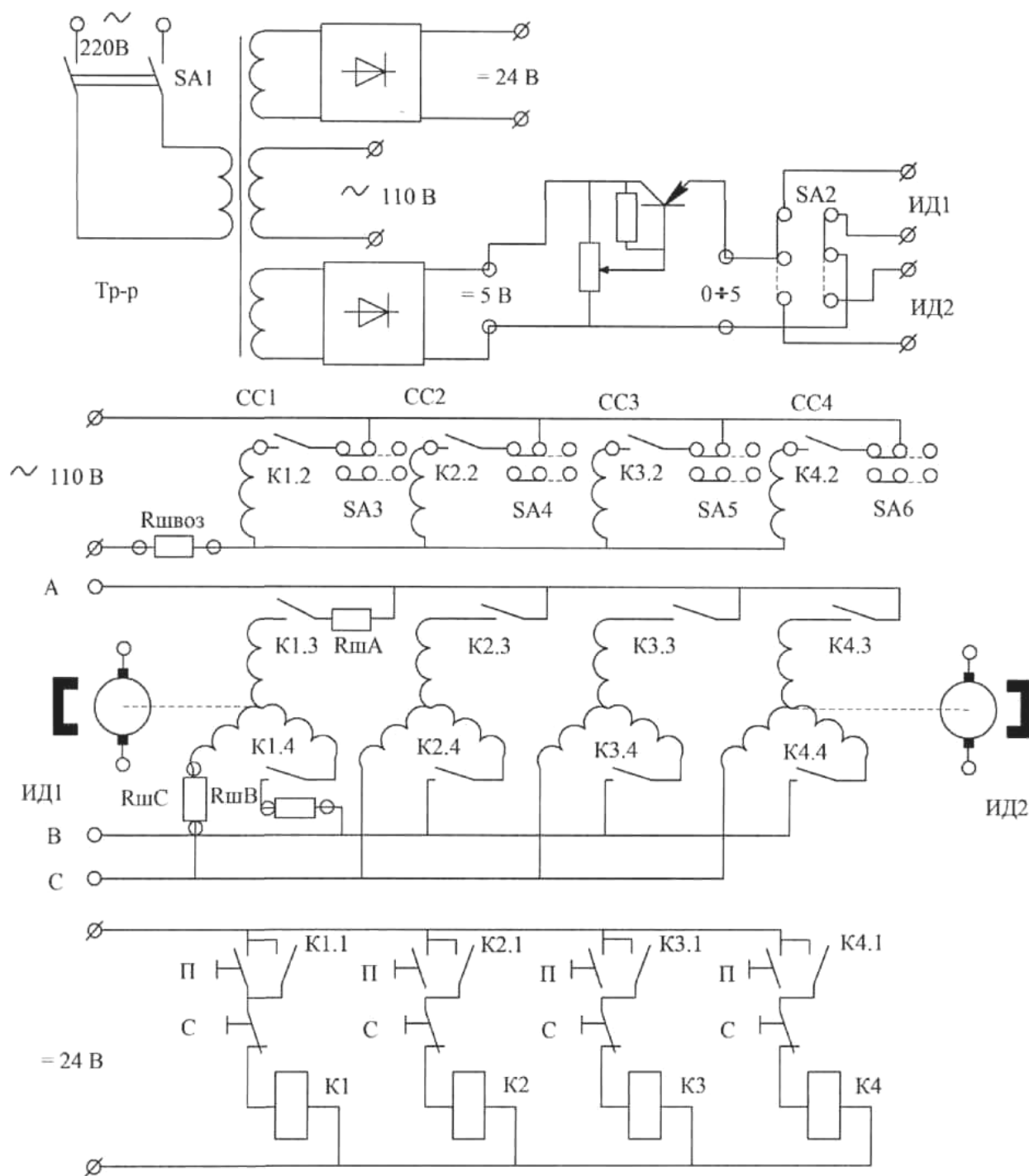


Рис. 25. Электрическая принципиальная схема лабораторной установки по испытаниям однофазных бесконтактных сельсинов

В каждом положении галетного переключателя загораются светодиоды, подсвечивающие соответствующие надписи: $I_{\text{ВОЗБ}}$, I_A , I_B , I_C .

На лицевой панели амперметра pA загораются светодиоды (в зависимости от положения ГП-2), указывающие предел шкалы измерений амперметра pA – 1 А или 0,25 А.

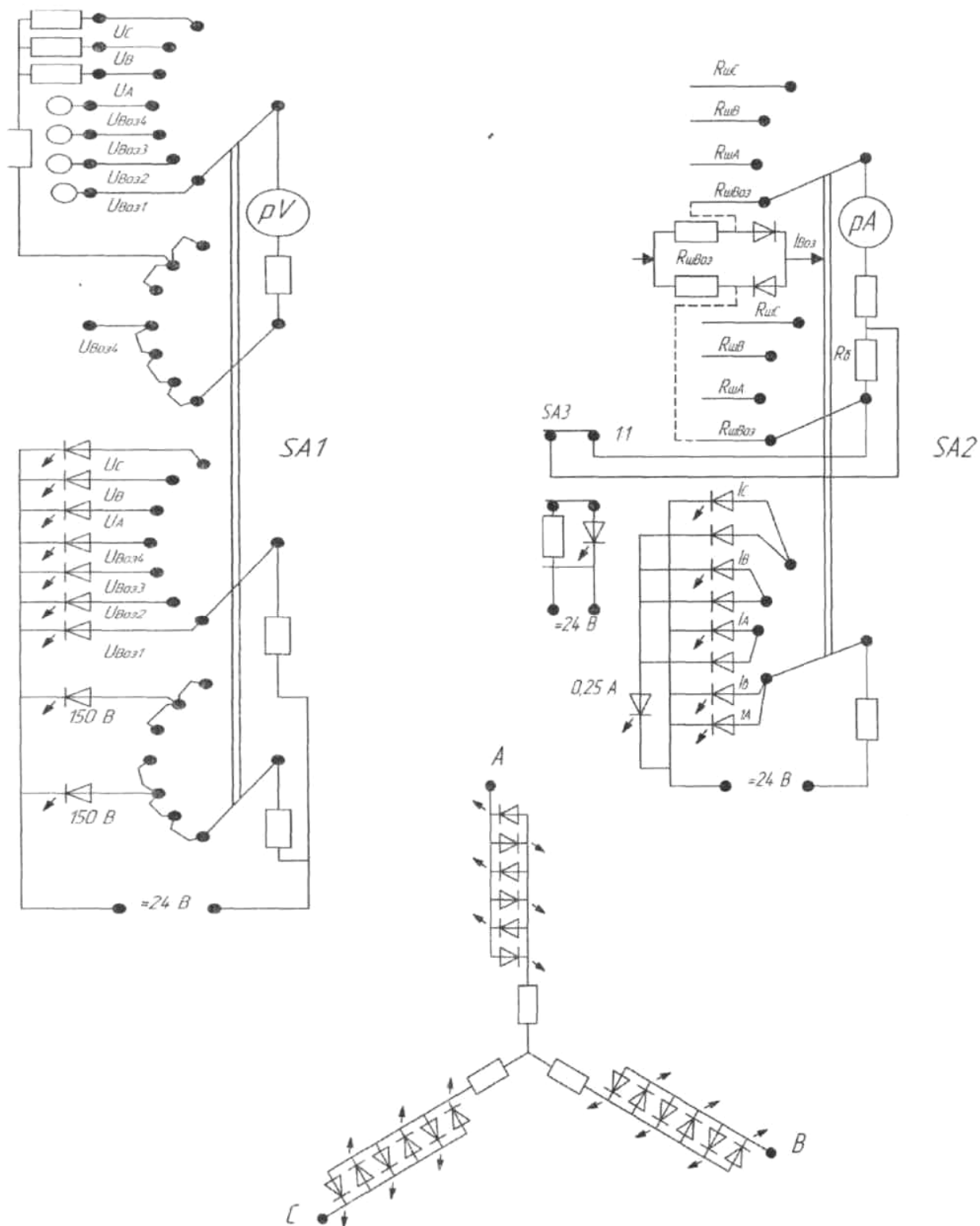


Рис. 26. Электрическая принципиальная схема измерений и световой сигнализации лабораторной установки по испытаниям однофазных бесконтактных сельсинов

С помощью переключателя SA предел измерений:

1:1 – 1 А и 0,25 А;

1:2 – 2 А и 0,5 А.

1. Исследование работы бесконтактного сельсина в режиме холостого хода.

Для проведения опыта на лабораторном стенде необходимо произвести следующие переключения (рис. 26):

Включить питание стенда SA в пол. «Вкл».

Нажатием кнопки «П1» включить реле K1.

Установить переключатель SA1 в пол. $U_{\text{воз}}$, переключатель SA2 в пол. $I_{\text{воз}}$.

Провести измерения напряжения и тока возбуждения – $U_{\text{воз1}}$, $I_{\text{воз1}}$.

Установить ротор сельсина-датчика в согласованное положение, при котором ось потока возбуждения совпадает с осью одной из фаз обмотки синхронизации, например, с осью фазы А. Для этого поставить переключатель SA1 в положение $U_{\text{В}}$, поворачивая ротор, выставить по вольтметру V напряжение $U_{\text{В}} = 0$. Зафиксировав ротор датчика в этом положении, нужно ослабить винт в центре шкалы и совместить ее нуль со стрелкой отсчета угла.

В процессе опыта постепенным поворотом ротора датчика задаются углы $\alpha_{\text{д}}$ от 0° до 360° через каждые 10° , при этом по вольтметру V с помощью переключателя фаз определяются напряжения $U_{\text{А}}$, $U_{\text{В}}$, $U_{\text{С}}$. Данные заносятся в табл. 4.

Таблица 4

$\alpha_{\text{д}}$	град.	
$U_{\text{А}}$	В	
$U_{\text{В}}$	В	
$U_{\text{С}}$	В	

2. Исследование работы сельсинов в индикаторном режиме. Снятие кривой ошибок, определение удельного синхронизирующего момента и времени успокоения.

а) Снять и построить кривую ошибок $\Delta\alpha=f(\alpha)$, определить класс точности сельсина в индикаторном режиме.

Для проведения опыта необходимо произвести следующие переключения и коммутации (рис. 4):

Включить питание стенда SA в пол. «Вкл».

Нажатием кнопки «П1» включить реле K1 (этим включается в цепь питания сельсин-датчик (CC1) БД-404).

Нажатием кнопки «П4» включить реле K4 (этим включается в цепь питания сельсин-приемник (CC4) БС-404).

Тумблер режимов работы SA3, SA6 включить в положение «И» (индикаторный).

Кроме того, надо согласовать сельсины в нулевом положении. Для этого убедиться, что роторы датчика и приемника поворачиваются в одном направлении, затем зафиксировать ротор датчика в нулевом положении, и, если нуль шкалы приемника не совпадает со стрелкой отсчета, зафиксировать ротор приемника, ослабить винт в центре его шкалы и выставить нуль. После согласования необходимо предоставить роторам сельсинов возможность беспрепятственного вращения.

При снятии кривой ошибок постепенным поворотом ротора датчика задаются углы α_d от 0° до 360° через каждые 10° при этом записываются углы поворота роторов датчика и приемника α_d , α_n . Разность между показаниями приемника и датчика, выраженная в градусах, даст погрешность системы $\Delta\alpha$. Знак погрешности определяется исходя из того, что алгебраическая сумма – показание приемника плюс погрешность – должна равняться показанию датчика.

Кривую погрешности $\Delta\alpha_d = f(\alpha)$ следует снимать дважды: при вращении ротора датчика по часовой стрелке и против нее. Данные опыта заносятся в табл. 5.

Таблица 5

По часовой стрелке			Против часовой стрелки		
α_d	α_n	$\Delta\alpha$	α_d	α_n	$\Delta\alpha$

Точность сельсина определяется как полусумма абсолютных значений максимальных положительной и отрицательной погрешностей. В зависимости от величины погрешности индикаторные сельсины разделяются на четыре класса точности:

I класс – погрешность не более $\pm 0,5^\circ$;

II класс – не более $\pm 0,75^\circ$;

III класс – не более $\pm 1^\circ$;

IV класс – не более $\pm 1,5^\circ$.

б) Определить удельный синхронизирующий момент $M_{уд}$ и время успокоения сельсина-приемника $t_{усп}$.

Удельным синхронизирующим моментом сельсина-приемника $M_{уд}$ называется синхронизирующий момент, приходящийся на 1° угла рассогласования. Для определения $M_{уд}$ ротор датчика необходимо закрепить винтом на стрелке отсчета и с помощью груза и нити, намотанной на шкив приемника, вывести его из согласованного положения. Удельный синхронизирующий момент определяется следующим образом:

$$M = \frac{Pl}{\alpha},$$

где P – вес груза в Ньютонах; l – радиус шкива, м; α – угол рассогласования. Угол α рекомендуется принимать в пределах 5° - 10° . Опыт повторить 3-4 раза, рассогласовывая сельсины в обе стороны от нулевого положения. Во время опыта необходимо поддерживать напряжение на обмотках возбуждения датчика и приемника постоянным, равным номинальному.

Для определения времени успокоения сельсина приемника датчик и приемник согласуются в нулевом положении. Ротор датчика закрепляется. Кнопкой «С4» отключается сельсин-приемник СС4. Ротор приемника поворачивается и устанавливается на делениях 179° или 181° . Включается кнопкой «П4» сельсин-приемник СС4 с одновременным включением секундомера. Время, в течение которого ротор приемника колеблется, приходя в согласованное положение, называется временем успокоения сельсина-приемника. Для точного

определения времени успокоения опыт нужно проделать 2-4 раза. После этого тумблер сети выключить.

в) Снять и построить зависимости величины синхронизирующего момента M и токов в линии связи I_A , I_B , I_C от угла рассогласования α .

До начала опыта необходимо установить переключатель измерений токов ГП2 (SA2) в положение измерения токов. Следует включить сельсины СС1 и СС4 (кнопки пуск – «П1», «П4») и согласовать роторы сельсинов в нулевом положении.

Ротор сельсина-датчика закрепить неподвижно. Затем с помощью шкива на роторе приемника и нити с грузом задать угол рассогласования в пределах от 0° до 180° через каждые 15° - 20° и произвести запись показаний амперметра pA и величины груза P . Необходимо зафиксировать угол рассогласования, который соответствует максимальному моменту.

Во время определения максимального момента, а также при снятии кривой момента после ее прохода через максимум, т.е. на неустойчивой части кривой необходимо рукой ограничивать разбег ротора. Во избежание чрезмерного перегрева сельсинов все испытания следует проводить быстро, особенно при углах рассогласования от 30° до 180° .

Последовательно переключая амперметр pA в две другие фазы и поворачивая ротор приемника в пределах от 0° до 180° , снять зависимости I_A , I_B , $I_C = f(\alpha)$.

Данные опыта заносятся в табл. 6.

Таблица 6

α	P	M	I_A	I_B	I_C
град.	Н	Нм	mA	mA	mA

3. Исследовать работу сельсинной пары в трансформаторном режиме.

а) Определить величину остаточного напряжения и ошибку асимметрии.

Перед началом опыта необходимо сделать в схеме лабораторного стенда (рис. 26) следующие переключения:

- включить тумблер сети питания;
- включить трансформаторный режим работы испытуемых сельсинов: тумблеры SA3, SA6 в положение «Т» (трансформаторный).

В трансформаторном режиме вольтметр pV показывает выходное напряжение сельсина-приемника при установке переключателя измерений напряжений в положении $U_{\text{ВОЗ 4}}$, при этом предел шкалы вольтметра составляет 50 В.

Закрепить ротор датчика в нулевом положении и, поворачивая ротор приемника, грубо выставить по вольтметру pV минимальное выходное напряжение приемника, закрепив ротор приемника в этом положении. Поскольку согласованное положение сельсинов в трансформаторном режиме отличается от индикаторного на угол 90° , целесообразно, не поворачивая ротор приемника, выставить нуль его шкалы.

Величина отклонения полученного угла от 180° и будет составлять ошибку асимметрии.

б) Снять и построить зависимость выходного напряжения сельсина-приемника от угла рассогласования при нагрузках $R_H = \infty$ и $R_H = 500 \text{ Ом}$.

Для проведения этого опыта ротор датчика закрепляется в нулевом, а ротор приемника устанавливается в согласованном положении, при котором выходное напряжение минимально. В этом положении записывается первое показание приборов. Затем ротор приемника поворачивается на 5° , 10° , 20° , 40° и т.д. до 360° через каждые 20° от первоначального положения, и в каждом из этих положений записывается показание приборов.

Опыт проводится дважды:

- 1) при сопротивлении нагрузки $R_H = \infty$;
- 2) при сопротивлении нагрузки $R_H = 500 \text{ Ом}$.

Данные опыта заносятся в табл. 7.

Удельное выходное напряжение $U_{\text{ВЫХ уд}}$ (В/град) определяется путем деления выходного напряжения при угле рассогласования 5° или 10° соответственно на 5 или 10.

в) Снять и построить кривую ошибок $\Delta\alpha = f(\alpha)$, определить класс точности сельсина в трансформаторном режиме.

Ротор сельсина-датчика фиксируется на нуле шкалы. Сельсин-приемник согласуется с датчиком в нулевом положении по минимуму выходного напряжения. Затем ротор датчика поворачивается на 20° и вновь фиксируется. Ротор приемника поворачивается также на 20° . В этом положении снова должен быть минимум выходного напряжения. Если его нет, то он достигается поворотом ротора приемника в ту или другую сторону от 20° . Отклонение полученного угла от 20° дает величину погрешности сельсина-приемника в данном положении. Знак погрешности определяется точно так же, как и у сельсинов в индикаторном режиме. Повторяя опыт через каждые 20° в диапазоне от 0° до 360° , получим зависимость $\Delta\alpha = f(\alpha_d)$.

Таблица 7

$R_H = \infty$		$R_H = 500 \text{ Ом}$				
α	$U_{\text{ВЫХ}}$	α	$U_{\text{ВЫХ}}$	I_A	I_B	I_C
град.	В	град.	В	mA	mA	mA

Точность сельсина определяется полусуммой абсолютных значений максимальных положительной и отрицательной погрешностей. В зависимости от величины этой погрешности трансформаторные сельсины делятся на семь классов точности:

I класс – погрешность не более $\pm 1'$;

II класс – $\pm 2'$;

III класс – $\pm 3'$;

IV класс – $\pm 5'$;

V класс – $\pm 10'$;

VI класс – $\pm 20'$;

VII класс – $\pm 30'$.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОДНОФАЗНЫХ КОНТАКТНЫХ СЕЛЬСИНОВ

ПРОГРАММА РАБОТЫ

Ознакомиться с конструкцией однофазных контактных сельсинов.

1. Исследовать работу сельсина-датчика в режиме холостого хода:

а) установить ротор сельсина-датчика в согласованное положение и выставить нуль шкалы;

б) снять и построить зависимости величины напряжений на обмотке синхронизации U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} в функции угла поворота ротора α_d .

2. Исследовать работу сельсинной пары в индикаторном режиме:

а) снять и построить кривую ошибок $\Delta\alpha=f(\alpha)$, определить класс точности сельсина в индикаторном режиме;

б) определить удельный синхронизирующий момент $M_{уд}$ и время успокоения сельсина-приемника $t_{усп}$;

в) снять и построить зависимости величины синхронизирующего момента M и токов в линии связи I_A , I_B , I_C от угла рассогласования α .

3. Исследовать работу сельсинной пары в трансформаторном режиме:

а) определить величину остаточного напряжения и ошибку асимметрии;

б) снять и построить зависимость выходного напряжения сельсина-приемника от угла рассогласования при нагрузках $R_H = \infty$ и $R_H = 500 \text{ Ом}$;

в) снять и построить зависимости токов в линии связи от угла рассогласования при нагрузке $R_H = 500 \text{ Ом}$;

г) снять и построить кривую ошибок $\Delta\alpha = f(\alpha)$, определить класс точности сельсина в трансформаторном режиме.

4. Начертить эскиз контактного сельсина и показать путь потока возбуждения.

5. Рассчитать удельное выходное напряжение $U_{\text{вых}} \text{ уд}$ сельсина-приемника в трансформаторном режиме.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Описание электрической принципиальной схемы лабораторной установки и ее возможностей

Электрическая принципиальная схема лабораторной установки представлена на рис. 25.

В качестве объектов испытаний используются четыре сельсина, обозначенных на схеме СС1, СС2, СС3, СС4, соответственно марок БД-404НА, БС-405, СС-404, БС-404, номинальные данные которых приведены в табл. 8. Испытуемые сельсины закреплены на общем основании.

Выводы обмоток возбуждения обмоток синхронизации сельсинов якорных обмоток исполнительных двигателей ИД1, ИД2 подключены к 24-м клеммам многоштырькового штекерного разъема, неподвижная часть которого закреплена на задней кромке общего основания сельсинов, а съемная часть разъема многожильным гибким ленточным кабелем соединена с клеммными колодками лабораторной установки.

Лабораторная установка позволяет:

1. Проводить испытания сельсинов в индикаторных и трансформаторных режимах: для переключения режима работы используются переключатели SA3÷SA6, соответственно в положение «Инд» или «Трансф».

2. Проводить испытания каждого сельсина по отдельности в режиме холостого хода, для включения нужного сельсина используется реле К1÷К4 и соответствующая кнопочная станция «П», «С».

3. Выбрать любой из четырех сельсинов в качестве датчика или приемника, включая соответствующие реле (К1÷К4) и задавая входной сигнал (угол α_d) выбранному в качестве датчика сельсину.

4. Проводить испытания сельсинов при однократном, двукратном и трехкратном приеме:

– однократный – 1 сельсин-датчик, 1 сельсин-приемник (включены два реле кнопочными станциями «П», «С»),

– двукратный – 1 сельсин-датчик, 2 сельсина-приемника (включены три реле кнопочными станциями «П», «С»),

– трехкратный – 1 сельсин-датчик, 3 сельсина-приемника (включены четыре реле кнопочными станциями «П», «С»). Кнопочные станции «П», «С» на лицевой панели стенда соответствуют расположению сельсинов, установленных на общем основании.

Таблица 8

Тип сельсина	Напряжение возбуждения, В	Частота, Гц	Ток возбуждения, А	Потребляемая мощность, Вт	Вторичное напряжение, В	Момент инерции, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	Вес, кг	Габариты, мм
БД-404А	110	50	0,45	12,5	49	$1,32\cdot 10^{-3}$	1,20	62×119
БС-404А	110	50	0,45	12,5	49	$1,32\cdot 10^{-3}$	1,30	62×119
БС-405	110	50	0,09	2,0	36	$1,32\cdot 10^{-3}$	1,25	62×119
НС-404	110	50	0,5	8	50	$1,32\cdot 10^{-3}$	0,8	62×119

5. Проводить испытания сельсинов в статических режимах, задавая положение ротора сельсина датчика вручную (с фиксацией положения), или в режиме непрерывного вращения.

Для режима непрерывного вращения на шкивы выходных концов вала двух сельсинов передается вращающий момент со шкивов исполнительных двигателей ИД1 и ИД2.

Для включения режима непрерывного вращения изменением величины управляющего сигнала (переменный резистор R) регулировать частоту вращения исполнительного двигателя до нужного значения.

Для регулирования частоты вращения исполнительными двигателями (коллекторные микродвигатели постоянного тока с постоянными магнитами) используется якорное управление изменением напряжения питания $0 \div 5$ В постоянного тока с помощью транзисторного регулятора, собранного по схеме эмиттерного повторителя (рис. 27).

Для включения первого или второго исполнительного двигателя (ИД1 или ИД2) используется переключатель SA2, расположенный на задней кромке основания сельсинов.

Схема измерений и световой сигнализации лабораторной установки (рис. 28) предоставляет следующие возможности:

1. С помощью световой индикации (светодиоды, включенные в трехлучевую «звезду») можно наблюдать по изменению яркости свечения лучей «звезды» изменение фазных напряжений U_A , U_B , U_C в линиях синхронизации при повороте ротора сельсина-датчика (изменение угла α_d).

В режиме вращения сельсина-датчика с использованием исполнительного приводного двигателя ИД1 или ИД2 имеет место эффект «вращения», или «мигания», света.

2. Для измерения напряжений используется вольтметр pV , подключенный на выход двух секций четырехсекционного галетного переключателя ГП-1.

С помощью галетного переключателя ГП-1 и pV можно измерять:

положение 1: напряжение возбуждения сельсина СС1;
 положение 2: напряжение возбуждения сельсина СС2;
 положение 3: напряжение возбуждения сельсина СС3;
 положение 4: напряжение возбуждения сельсина СС4;
 положение 5: фазное напряжение линии синхронизации U_A ;
 положение 6: фазное напряжение линии синхронизации U_B ;
 положение 7: фазное напряжение линии синхронизации U_C .

В каждом положении галетного переключателя ГП-1 загораются соответствующие светодиоды, подсвечивающие надписи контролируемых параметров: $U_{\text{ВОЗ } 1}$, $U_{\text{ВОЗ } 2}$, $U_{\text{ВОЗ } 3}$, $U_{\text{ВОЗ } 4}$, U_A , U_B , U_C .

На лицевой панели вольтметра загораются светодиоды (в зависимости от положения ГП-1), указывающие предел измерений шкалы вольтметра $pV - 150 \text{ В}$ или 50 В .

3. Для измерения токов используется амперметр pA , подключенный на выход двух секций трехсекционного галетного переключателя ГП-2.

Так как измеряемые токи – переменные, а используемый микроамперметр pA постоянного тока, то в контролируемые цепи включены шунты $R_{\text{ш}}$, $R'_{\text{ш}}$ со встречно–параллельным включением диодов VD и выпрямленное напряжение с точек между $R_{\text{ш}} - VD$ и $R'_{\text{ш}} - VD'$ (рис. 28) подается через балластные сопротивления на микроамперметр pA .

С помощью галетного переключателя ГП-2 и амперметра pA можно измерять токи:

положение 1: суммарный ток возбуждения, потребляемый от источника питания включенными в цепь сельсинами – $I_{\text{ВОЗБ}}$;
 положение 2: ток в линии синхронизации фазы А – I_A ;
 положение 3: ток в линии синхронизации фазы В – I_B ;
 положение 4: ток в линии синхронизации фазы С – I_C .

В каждом положении галетного переключателя загораются светодиоды, подсвечивающие соответствующие надписи: $I_{\text{ВОЗБ}}$, I_A , I_B , I_C .

На лицевой панели амперметра pA загораются светодиоды (в зависимости от положения ГП-2), указывающие предел шкалы измерений амперметра pA – 1 А или 0,25 А.

С помощью переключателя SA предел измерений:

1:1 – 1 А и 0,25 А;

1:2 – 2 А и 0,5 А.

1. Исследование работы контактного сельсина в режиме холостого хода.

Для проведения опыта на лабораторном стенде необходимо произвести следующие переключения (рис. 28):

Включить питание стенда SA в пол. «Вкл».

Нажатием кнопки «П1» включить реле K1.

Установить переключатель SA1 в пол. $U_{\text{ВОЗ}}$, переключатель SA2 в пол. $I_{\text{ВОЗ}}$.

Провести измерения напряжения и тока возбуждения – $U_{\text{ВОЗ}}$, $I_{\text{ВОЗ}}$.

Установить ротор сельсина-датчика в согласованное положение, при котором ось потока возбуждения совпадает с осью одной из фаз обмотки синхронизации, например, с осью фазы А. Для этого поставить переключатель SA1 в положение U_B , поворачивая ротор, выставить по вольтметру V напряжение $U_B = 0$. Зафиксировав ротор датчика в этом положении, нужно ослабить винт в центре шкалы и совместить ее нуль со стрелкой отсчета угла.

В процессе опыта постепенным поворотом ротора датчика задаются углы α_d от 0° до 360° через каждые 10° , при этом по вольтметру V с помощью переключателя фаз определяются напряжения U_A , U_B , U_C . Данные заносятся в табл. 9.

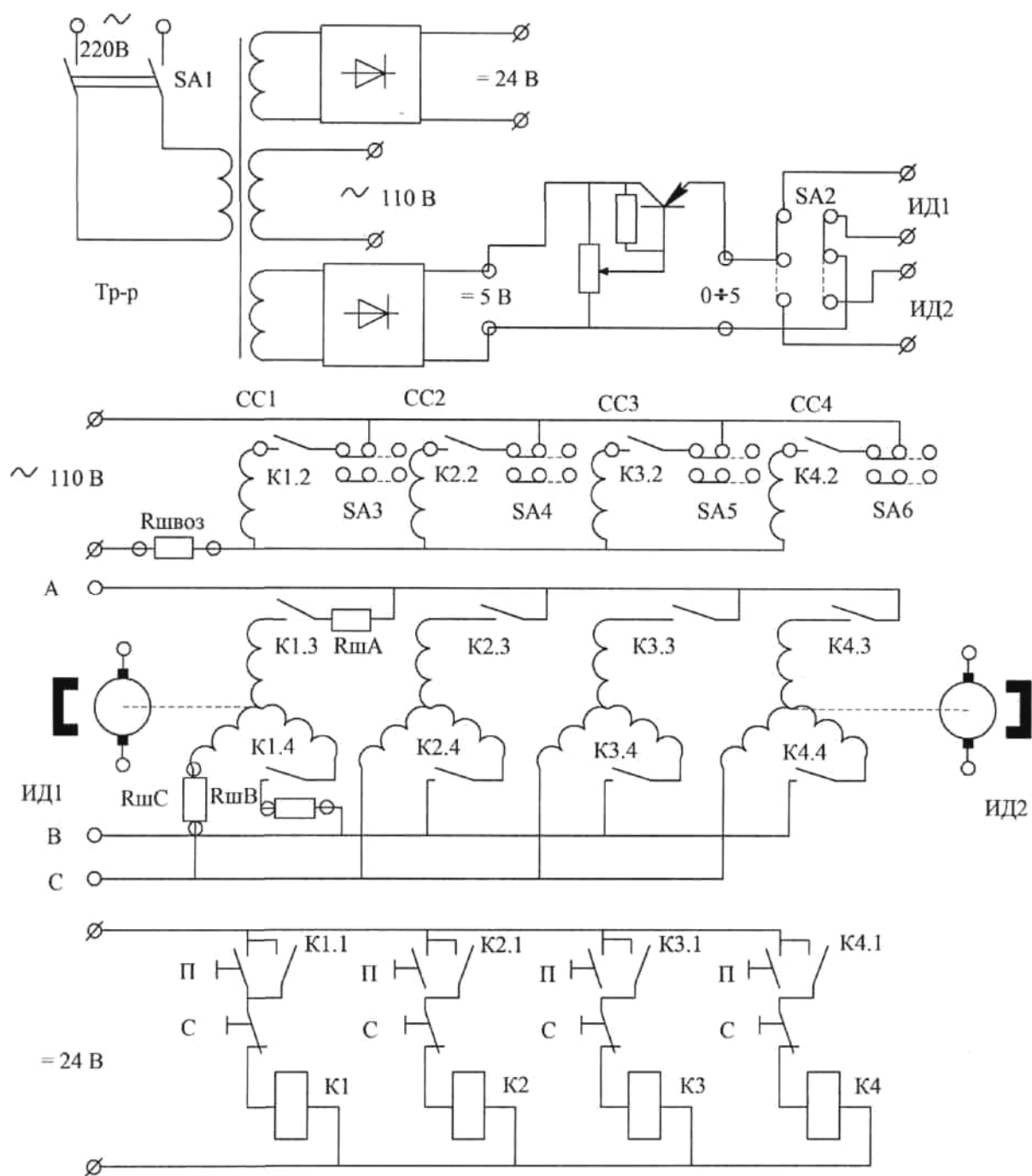


Рис. 27. Электрическая принципиальная схема лабораторной установки по испытаниям однофазных контактных сельсинов

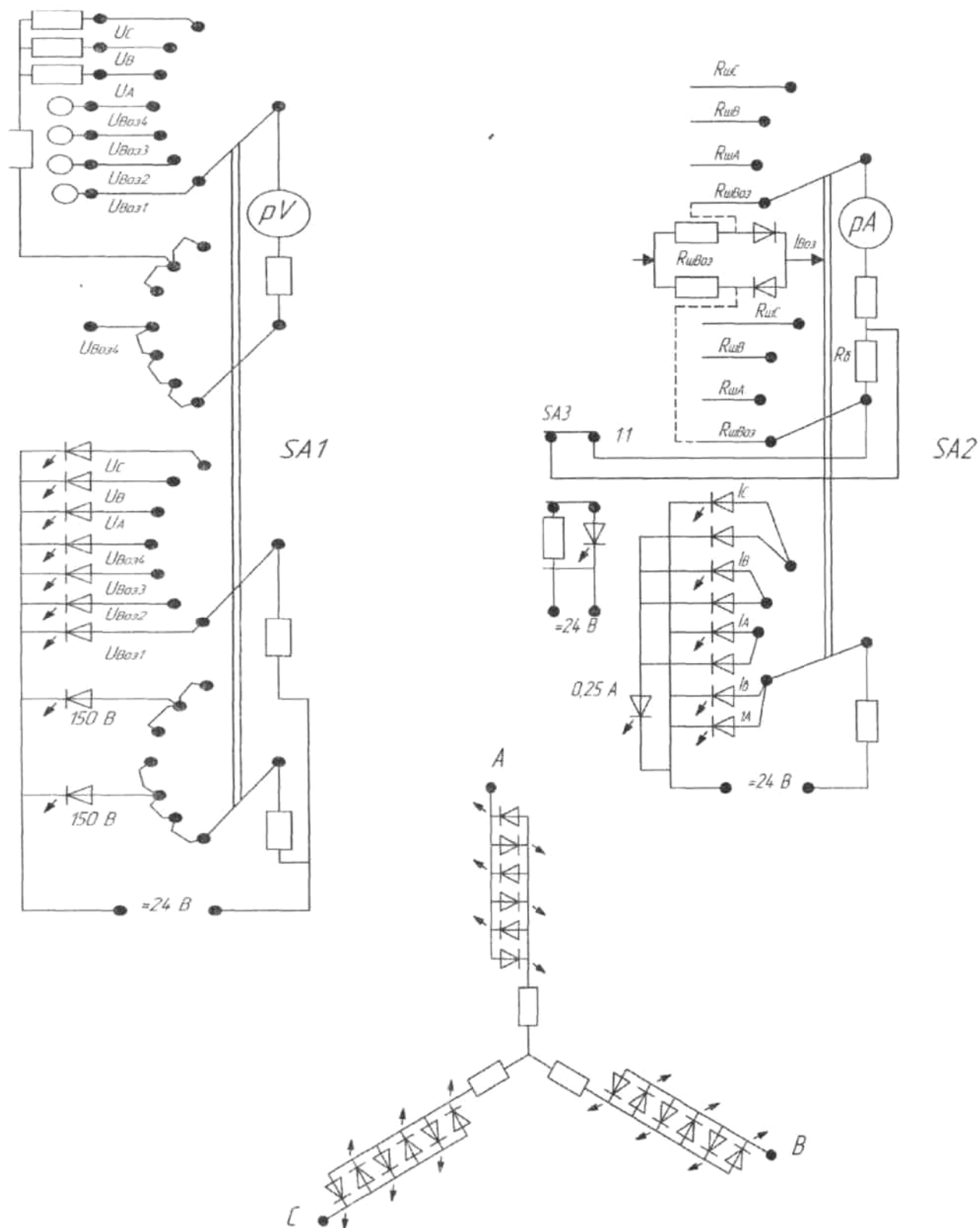


Рис. 28. Электрическая принципиальная схема измерений и световой сигнализации лабораторной установки по испытаниям однофазных контактных сельсинов

α_d	град.	
U_A	В	
U_B	В	
U_C	В	

2. Исследование работы сельсинов в индикаторном режиме. Снятие кривой ошибок, определение удельного синхронизирующего момента и времени успокоения.

а) Снять и построить кривую ошибок $\Delta\alpha=f(\alpha)$, определить класс точности сельсина в индикаторном режиме.

Для проведения опыта необходимо произвести следующие переключения и коммутации (рис. 27):

Включить питание стенда SA в пол. «Вкл».

Нажатием кнопки «П1» включить реле K1 (этим включается в цепь питания сельсин-датчик (CC1) БД-404).

Нажатием кнопки «П4» включить реле K4 (этим включается в цепь питания сельсин-приемник (CC4) БС-404).

Тумблер режимов работы SA3, SA6 включить в положение «И» (индикаторный).

Кроме того, надо согласовать сельсины в нулевом положении. Для этого убедиться, что роторы датчика и приемника поворачиваются в одном направлении, затем зафиксировать ротор датчика в нулевом положении, и, если нуль шкалы приемника не совпадает со стрелкой отсчета, зафиксировать ротор приемника, ослабить винт в центре его шкалы и выставить нуль. После согласования необходимо предоставить роторам сельсинов возможность беспрепятственного вращения.

При снятии кривой ошибок постепенным поворотом ротора датчика задаются углы α_d от 0° до 360° через каждые 10° при этом записываются углы поворота роторов датчика и приемника α_d , $\alpha_{п}$. Раз-

ность между показаниями приемника и датчика, выраженная в градусах, даст погрешность системы $\Delta\alpha$. Знак погрешности определяется исходя из того, что алгебраическая сумма – показание приемника плюс погрешность – должна равняться показанию датчика.

Кривую погрешности $\Delta\alpha_{\text{д}} = f(\alpha)$, следует снимать дважды: при вращении ротора датчика по часовой стрелке и против нее. Данные опыта заносятся в табл. 10.

Таблица 10

По часовой стрелке			Против часовой стрелки		
$\alpha_{\text{д}}$	$\alpha_{\text{п}}$	$\Delta\alpha$	$\alpha_{\text{д}}$	$\alpha_{\text{п}}$	$\Delta\alpha$

Точность сельсина определяется как полусумма абсолютных значений максимальных положительной и отрицательной погрешностей. В зависимости от величины погрешности индикаторные сельсины разделяются на четыре класса точности:

I класс – погрешность не более $\pm 0,5^\circ$;

II класс – не более $\pm 0,75^\circ$;

III класс – не более $\pm 1^\circ$;

IV класс – не более $\pm 1,5^\circ$.

б) определить удельный синхронизирующий момент $M_{\text{уд}}$ и время успокоения сельсина-приемника $t_{\text{усп}}$.

Удельным синхронизирующим моментом сельсина-приемника $M_{\text{уд}}$ называется синхронизирующий момент, приходящийся на 1° угла рассогласования. Для определения $M_{\text{уд}}$ ротор датчика необходимо закрепить винтом на стрелке отсчета и с помощью груза и нити, намотанной на шкив приемника, вывести его из согласованного положения. Удельный синхронизирующий момент определяется

$$M = \frac{Pl}{\alpha},$$

где P – вес груза в Ньютонах; l – радиус шкива, м; α – угол рассогласования. Угол α рекомендуется принимать в пределах 5° - 10° . Опыт повторить 3-4 раза, рассогласовывая сельсины в обе стороны от нулевого положения. Во время опыта необходимо поддерживать напряжение на обмотках возбуждения датчика и приемника постоянным, равным номинальному.

Для определения времени успокоения сельсина-приемника датчик и приемник согласуются в нулевом положении. Ротор датчика закрепляется. Кнопкой «С4» отключается сельсин-приемник СС4. Ротор приемника поворачивается и устанавливается на делениях 179° или 181° . Включается кнопкой «П4» сельсин-приемник СС4 с одновременным включением секундомера. Время, в течение которого ротор приемника колеблется, приходя в согласованное положение, называется временем успокоения сельсина-приемника. Для точного определения времени успокоения опыт нужно проделать 2-4 раза. После этого тумблер сети выключить.

в) Снять и построить зависимости величины синхронизирующего момента M и токов в линии связи I_A , I_B , I_C от угла рассогласования α .

До начала опыта необходимо установить переключатель измерений токов ГП2 (SA2) в положение измерения токов. Следует включить сельсины СС1 и СС4 (кнопки пуск – «П1», «П4») и согласовать роторы сельсинов в нулевом положении.

Ротор сельсина-датчика закрепить неподвижно. Затем с помощью шкива на роторе приемника и нити с грузом задать угол рассогласования в пределах от 0° до 180° через каждые 15° - 20° и произвести запись показаний амперметра pA и величины груза P . Необходимо зафиксировать угол рассогласования, который соответствует максимальному моменту.

Во время определения максимального момента, а также при снятии кривой момента после ее прохода через максимум, т.е. на неустойчивой части кривой необходимо рукой ограничивать разбег ротора. Во избежание чрезмерного перегрева сельсинов все испытания

следует проводить быстро, особенно при углах рассогласования от 30° до 180° . Последовательно переключая амперметр pA в две другие фазы и поворачивая ротор приемника в пределах от 0° до 180° , снять зависимости $I_A, I_B, I_C = f(\alpha)$.

Данные опыта заносятся в табл. 11.

Таблица 11

α	P	M	I_A	I_B	I_C
град.	Н	Нм	mA	mA	mA

3. Исследовать работу сельсинной пары в трансформаторном режиме.

а) Определить величину остаточного напряжения и ошибку асимметрии.

Перед началом опыта необходимо сделать в схеме лабораторного стенда (рис. 26) следующие переключения:

- включить тумблер сети питания;
- включить трансформаторный режим работы испытуемых сельсинов: тумблеры SA3, SA6 в положение «Т» (трансформаторный).

В трансформаторном режиме вольтметр pV показывает выходное напряжение сельсина-приемника при установке переключателя измерений напряжений в положении $U_{ВОЗ 4}$, при этом предел шкалы вольтметра составляет 50 В.

Закрепить ротор датчика в нулевом положении и, поворачивая ротор приемника, грубо выставить по вольтметру pV минимальное выходное напряжение приемника. Закрепив ротор приемника в этом положении. Поскольку согласованное положение сельсинов в трансформаторном режиме отличается от индикаторного на угол 90° , целесообразно, не поворачивая ротор приемника, выставить нуль его шкалы.

Величина отклонения полученного угла от 180° и будет составлять ошибку асимметрии.

б) Снять и построить зависимость выходного напряжения сельсина-приемника от угла рассогласования при нагрузках $R_H = \infty$ и $R_H = 500 \text{ Ом}$.

Для проведения этого опыта ротор датчика закрепляется в нулевом, а ротор приемника устанавливается в согласованном положении, при котором выходное напряжение минимально. В этом положении записывается первое показание приборов. Затем ротор приемника поворачивается на 5° , 10° , 20° , 40° и т.д. до 360° через каждые 20° от первоначального положения, и в каждом из этих положений записывается показание приборов.

Опыт проводится дважды:

- 1) при сопротивлении нагрузки $R_H = \infty$;
- 2) при сопротивлении нагрузки $R_H = 500 \text{ Ом}$.

Данные опыта заносятся в табл. 12.

Удельное выходное напряжение $U_{\text{вых уд}}$ (В/град) определяется путем деления выходного напряжения при угле рассогласования 5° или 10° соответственно на 5 или 10.

в) Снять и построить кривую ошибок $\Delta\alpha = f(\alpha)$, определить класс точности сельсина в трансформаторном режиме.

Ротор сельсина-датчика фиксируется на нуле шкалы. Сельсин-приемник согласуется с датчиком в нулевом положении по минимуму выходного напряжения. Затем ротор датчика поворачивается на 20° и вновь фиксируется. Ротор приемника поворачивается также на 20° . В этом положении снова должен быть минимум выходного напряжения. Если его нет, то он достигается поворотом ротора приемника в ту или другую сторону от 20° . Отклонение полученного угла от 20° дает величину погрешности сельсина-приемника в данном положении. Знак погрешности определяется точно так же, как и у сельсинов

в индикаторном режиме. Повторяя опыт через каждые 20° в диапазоне от 0° до 360° , получим зависимость $\Delta\alpha = f(\alpha_d)$.

Таблица 12

$R_H = \infty$		$R_H = 500 \text{ Ом}$				
α	$U_{\text{ВЫХ}}$	α	$U_{\text{ВЫХ}}$	I_A	I_B	I_C
град.	В	град.	В	mA	mA	mA

Точность сельсина определяется полусуммой абсолютных значений максимальных положительной и отрицательной погрешностей. В зависимости от величины этой погрешности трансформаторные сельсины делятся на семь классов точности:

I класс – погрешность не более $\pm 1'$;

II класс – $\pm 2'$;

III класс – $\pm 3'$;

IV класс – $\pm 5'$;

V класс – $\pm 10'$;

VI класс – $\pm 20'$;

VII класс – $\pm 30'$.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие виды систем и типы машин синхронной связи применяются в системах промышленной автоматики?
2. Через какие элементы последовательно проходит магнитный поток в бесконтактном сельсине?
3. Каков принцип действия индикаторной системы синхронной связи?
4. Каков принцип действия сельсинов в трансформаторной системе синхронной связи?
5. Назовите факторы, определяющие точность работы сельсинов в индикаторной системе синхронной связи.
6. Назовите факторы, определяющие точность работы трансформаторной системы синхронной связи.
7. На какие классы подразделяются сельсины в индикаторном режиме по точности?
8. Что называется удельным синхронизирующим моментом?
9. Как определяется погрешность сельсинов в индикаторном и трансформаторном режимах?
10. От каких причин зависит величина угла рассогласования в индикаторной системе передачи угла?
11. Что изменится в работе индикаторной системы, если поменять местами провода, присоединенные к обмотке синхронизации или к обмотке возбуждения СП?
12. Из каких элементов состоит трансформаторная система передачи угла?
13. Какой угол поворота воспроизводит дифференциальный сельсин?
14. Что такое статическая точность сельсинов?
15. Что такое динамическая точность сельсинов?
16. Какое число пар полюсов в сельсинах является предпочтительным ($p=1, 2, 3, \dots$)?
17. Чем отличается дифференциальный сельсин от однофазного сельсина по назначению?

18. Чем отличается дифференциальный сельсин от однофазного сельсина по конструкции?
19. Для каких целей являются предпочтительными явнополюсное и неявнополюсное исполнения сельсинов?
20. Какой материал используется для колец и щеток в контактных сельсинах?
21. Что называется удельным выходным напряжением?
22. Что понимается под многократным приемом индикаторного режима сельсинов?
23. Какие условия должны быть выполнены для многократного приема индикаторного режима?
24. Как компенсировать синхронизирующий момент датчика в индикаторном режиме?
25. На какие классы подразделяются сельсины в трансформаторном режиме по точности?
26. Какие обмотки выполняются в дифференциальном сельсине и где они располагаются?
27. В каком режиме работы – индикаторном или трансформаторном – используются дифференциальные сельсины?
28. Магнесин, назначение, устройство.
29. В каком режиме работы – индикаторном или трансформаторном – используются магнесины?
30. Привести примеры использования сельсинов в технике.
31. Перечислить основные причины ошибок в системах синхронных передач с однофазными сельсинами.
32. Какие рекомендации следует выполнять для повышения точности индикаторного режима работы сельсинов?
33. Какие рекомендации следует выполнять для повышения точности трансформаторного режима работы сельсинов?
34. Что такое «скоростная ошибка» трансформаторной синхронной передачи?
35. Чем обусловлены статические ошибки трансформаторной синхронной передачи?
36. Какие классы точности предусмотрены для трансформаторных синхронных передач?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие науки и техники, научно-технические исследования предполагают развитие и совершенствование методов проектирования и расчета существующих, а также разработку новых электрических микромашин. Поэтому соотношения и методы, приведенные в данном пособии, не являются неизменными и установившимися.

Учебное пособие охватывает часть курса «Электромеханические преобразователи систем автоматики и бытовой техники» и предназначено для изучения основ теории, конструкции, принципа действия, принципиальных схем и основных характеристик сельсинов, проведения практических занятий по дисциплине и подготовке студентов к выполнению лабораторных работ.

Кроме того, данное учебное пособие может быть использовано для самостоятельной работы студентов дневной и заочной форм обучения. С этой целью в приложениях приводится дополнительный материал, который или не рассмотрен, или представляет собой дополнительную, расширенную информацию, необходимую для самостоятельной работы студентов.

Достижения науки и техники, обусловленные ускорением научно-технического прогресса, способствуют постоянному совершенствованию автоматических систем и в первую очередь их элементной основы. Это относится и к электрическим машинам для автоматических устройств. Совершенствование электромашинных элементов автоматики ведется по двум направлениям. Во-первых, применяют более качественные магнитные и электроизоляционные материалы, что способствует повышению технико-экономических показателей электрических машин. Либо применение в машинах с постоянными магнитами магнитотвердых материалов с использованием редкоземельных элементов. Магнитная энергия постоянных магнитов из таких материалов почти в 6 раз выше, чем у магнитов из сплава типа альнико.

Во-вторых, создаются новые, более рациональные конструкции электрических машин. Опыт эксплуатации электромашинных эле-

ментов автоматики показал, что наиболее перспективны конструкции, не имеющие скользящих электрических контактов – бесконтактные машины. Такие машины, обладая высокой надежностью и стабильностью характеристик, способны работать при значительных колебаниях внешних воздействий (температуры, влажности, вибраций и т.п.) во взрывоопасных и пожароопасных средах, в условиях вакуума и при больших динамических перегрузках. Перечисленные свойства позволяют успешно эксплуатировать такие машины в транспортных средствах и других аппаратах. Примером бесконтактных электрических машин, которые успешно применяются в современной автоматике, являются бесконтактные сельсины, бесконтактные двигатели постоянного тока.

Современный автоматизированный электропривод непрерывно совершенствуется в направлении роста его быстродействия с целью повышения точности обработки заданных параметров. Динамические свойства такого электропривода в значительной степени определяются инерционными свойствами исполнительных двигателей. Поэтому актуальной остается задача создания еще более совершенных конструкций. Совершенствование существующих и создание новых конструкций электрических машин для автоматических устройств, надежных в работе и имеющих более высокие технико-экономические показатели, – важная задача в развитии комплексной автоматизации промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Армейский Е.В., Фалк Г.Б. Электрические микромашины. – М.: Высш. школа, 1975.
2. Астахов Н.В. и др. Испытания электрических микромашин. – М.: Высш. школа, 1973.
3. Кононенко Е.В. Синхронные реактивные машины. – М.: Энергия, 1970.
4. Лопухина Е.М., Сомихина Г.С. Асинхронные микромашины с полым ротором. – М.: Энергия, 1967.
5. Микроэлектродвигатели для систем автоматики. Технический справочник / Под ред. Э.А. Лодочникова, Ф.М. Юферова. – М.: Энергия, 1969.
6. Овчинников И.Е., Лебедев Н.И. Бесконтактные двигатели постоянного тока автоматических устройств. – М.-Л.: Наука, 1966.
7. Хрущев В.В. Электрические микромашины автоматических устройств. – Л.: Энергия, 1976.
8. Чечет Ю.С. Электрические микромашины автоматических устройств. – М.-Л.: Энергия, 1964.
9. Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств. – М.: Высш. школа, 1976.
10. Электрические машины. Ч. I и II. – М.: Изд-во стандартов, 1973.
11. Хрущев В.В. Электрические машины систем автоматики: учебник для вузов. – 2-изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-е, 1985. – 368 с.
12. Кацман М.М. Электрические машины и электропривод автоматических устройств: учебник для электротехнических специальностей техникумов. – М.: Высш. шк., 1987. – 335 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Общие сведения, основы теории, конструкция и характеристики.....	5
Общие сведения и классификация	5
Конструкция однофазных сельсинов	9
Индикаторный режим работы сельсинов.....	21
Трансформаторный режим работы сельсинов	26
Дифференциальный сельсин.....	29
Магнесины	31
Применение сельсинов.....	33
Природа ошибок при работе системы синхронной передачи и средства повышения точности.....	38
Ошибки индикаторной синхронной передачи.....	43
Ошибки трансформаторной синхронной передачи.....	44
Экспериментальные исследования сельсинов.....	47
Программа экспериментальных исследований	50
Методические указания	51
Экспериментальные исследования однофазных бесконтактных сельсинов	63
Программа работы.....	63
Методические указания	64
Контрольные вопросы	77
Заключение.....	79
Список литературы	81

Учебное издание

Составитель *ЧЕБОТКОВ Эдуард Галактионович*

**Однофазные контактные и бесконтактные сельсины
(История развития, конструкции, основы теории,
характеристики и экспериментальные исследования)**

Редактор *Ю.А. Петропольская*

Верстка *И.О. Миняева*

Выпускающий редактор *Е.В. Абрамова*

Подп. в печать 17.10.12.

Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная

Усл. п.л. 4,88. Уч.-изд. л. 4,85.

Тираж 70 экз. Рег. № 140/12

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Самарский государственный технический университет»
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Главный корпус

Отпечатано в типографии
Самарского государственного технического университета
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244. Корпус № 8