

## Лабораторная работа № 3 СЕЛЬСИНЫ

Целью работы является изучение основных характеристик и погрешностей сельсинов, работающих в индикаторном и трансформаторном режимах системы синхронной связи.

### Общие сведения

Сельсином называется электрическая машина переменного тока, предназначенная для синхронной передачи угла поворота или вращения, а также для генерирования напряжения, являющегося функцией угла рассогласования.

Сельсины являются основными элементами любой индукционной системы синхронной связи. Эта система представляет собой совокупность средств, служащих для передачи на расстояние угловых перемещений или для поддержания синхронного вращения двух или более осей, механически не связанных.

Индукционные системы синхронной связи могут быть трехфазными и однофазными. В соответствии с этим различают трехфазные и однофазные сельсины.

Трехфазные системы применяются обычно для синхронизации вращения двух и более валов приводных двигателей, механически не связанных. Такие системы получили название систем «электрического вала». Применяемые в них трехфазные сельсины имеют относительно большую мощность и в конструктивном отношении не отличаются от асинхронных двигателей с фазным ротором.

Для передачи на расстояние угловых перемещений, как правило, используются индукционные системы синхронной связи с однофазными сельсинами. Эти системы называют системами синхронного поворота или синхронной «передачи угла». Они широко применяются в схемах автоматики для регулирования, управления и контроля. При этом различают индикаторную и трансформаторную системы синхронной связи.

В случае индикаторной системы синхронной связи передача угла осуществляется при незначительном моменте сопротивления на валу сельсина-приемника. Последний самостоятельно отрабатывает угол, задаваемый сельсином-датчиком, не требуя дополнительных усилительных и исполнительных устройств. Часто сельсин-приемник работает лишь на стрелку, расположенную на его оси и регистрирующую угловое перемещение. Основным действующим фактором в рассматриваемом случае является синхронизирующий момент сельсина-

приемника, заставляющий его ротор следовать за ротором сельсина-датчика с некоторым углом рассогласования.

В трансформаторной системе синхронной связи отработка угла осуществляется сельсином-приемником не самостоятельно, а с помощью исполнительного двигателя, связанного с ним механически и электрически. Основным фактором в этом случае является выходное напряжение приемника, являющееся функцией угла рассогласования системы.

Независимо от конструкции однофазные сельсины имеют две основные обмотки: обмотку возбуждения и обмотку синхронизации. Обмотка возбуждения питается от однофазной сети переменного тока и служит для создания магнитного потока. Обмотка синхронизации, как правило, выполняется по типу трехфазных, т.е. состоит из трех сдвинутых на  $120^\circ$  отдельных обмоток, соединенных в звезду.

По своему устройству однофазные сельсины делятся на контактные и бесконтактные. В контактных сельсинах одна из обмоток помещается на роторе, причем ее электрическая связь с внешней цепью осуществляется с помощью контактных колец и щеток.

В зависимости от конструкции магнитной системы и расположения обмотки возбуждения различают следующие основные типы однофазных контактных сельсинов (рис. 3.1):

- с обмоткой возбуждения на явнополюсном роторе и обмоткой синхронизации на статоре;
- с обмоткой возбуждения на явнополюсном статоре и обмоткой синхронизации, размещенной в пазах ротора;
- с обмоткой возбуждения, распределенной в пазах ротора, и равномерным воздушным зазором);
- с обмоткой возбуждения и короткозамкнутой успокоительной обмоткой, размещенными в пазах ротора и сдвинутыми относительно друг друга в пространстве на угол  $90^\circ$ .

Преимущественное развитие получили сельсины с сосредоточенной обмоткой возбуждения на роторе или на статоре. Сельсин со всеми распределенными обмотками используются только в качестве приемников в трансформаторных системах синхронной связи.

К контактным сельсином относятся также дифференциальные сельсины, используемые для отработки разности или суммы двух угловых перемещений. Эти сельсины имеют трехфазные распределенные обмотки на статоре и на роторе.

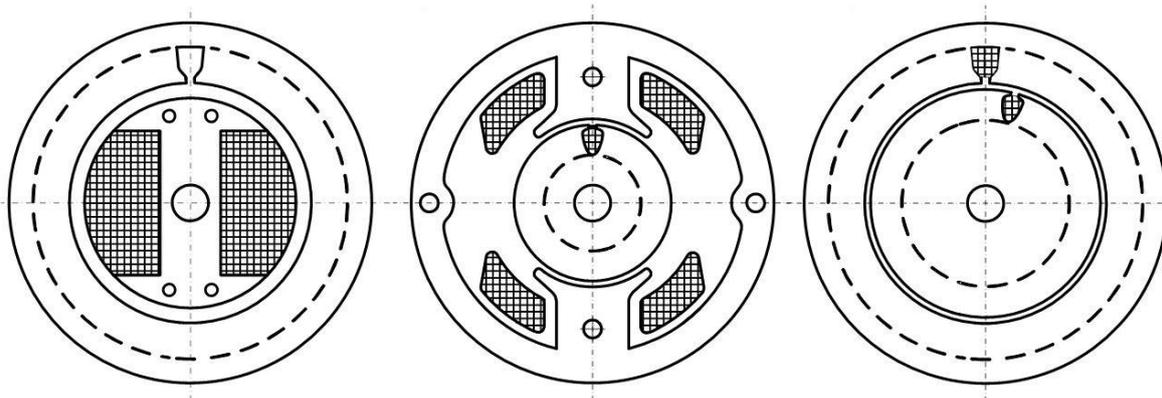


Рис. 3.1. Конструкции сельсинов

Широкое применение получили в настоящее время бесконтактные сельсины. Конструктивная схема однофазного бесконтактного сельсина представлена на рис. 3.2. Ротор 7 бесконтактного сельсина состоит из двух пакетов, набранных из листовой электротехнической стали и разделенных значительным промежутком из немагнитного материала 5. Листы пакетов ротора расположены параллельно оси вала. Статор сельсина состоит из основного пакета 4, двух торцовых колец (тороидов) 1 и внешнего магнитопровода 3, залитого в наружный корпус из алюминиевого сплава.

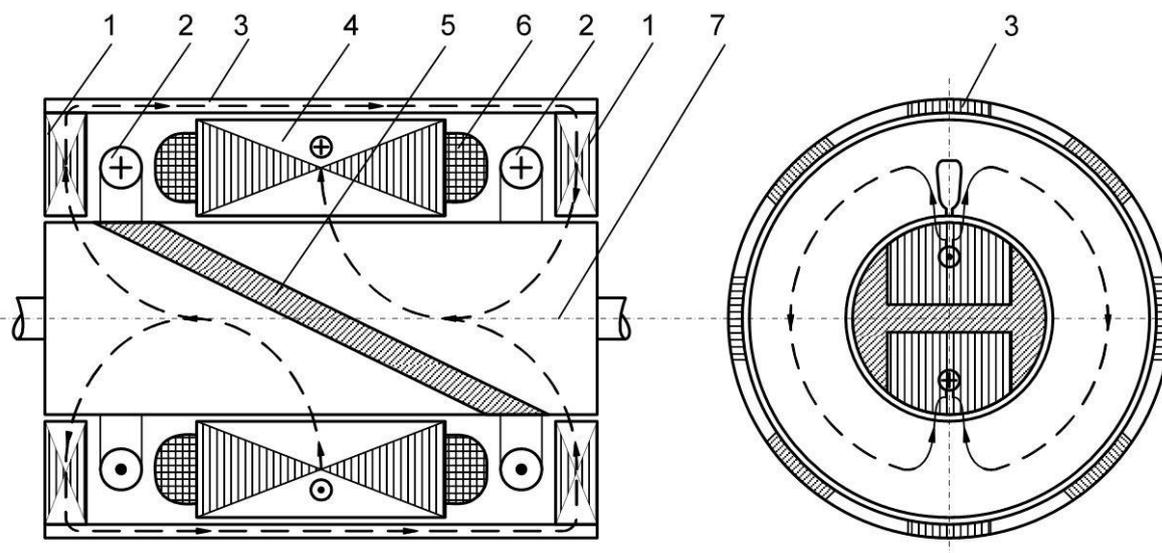


Рис. 3.2. Бесконтактный сельсин

Основной пакет и тороиды набираются из листовой электротехнической стали, причем плоскости листов располагаются перпендикулярно оси вала. Внешний магнитопровод состоит из нескольких шихтованных пакетов, равномерно распределенных по окружности статора и примыкающих к тороидам. Листы этих пакетов располагаются в направлении оси вала. Трехфазная обмотка синхронизации бесконтактного сельсина 6 размещается в пазах основного

пакета статора. Обмотка возбуждения 2 выполняется в виде двух кольцевых катушек, охватывающих ротор и расположенных между основным статорным пакетом и тороидами. Таким образом, оси обмоток синхронизации и возбуждения оказываются взаимно перпендикулярными. Магнитный поток возбуждения замыкается через воздушный зазор в расточке статора, пакеты ротора, два боковых воздушных зазора, тороиды и пакеты внешнего магнитопровода статора. Путь магнитного потока показан на рис. 3.2.

Отсутствие скользящих контактов в сельсинах повышает стабильность характеристик и надежность их работы. Однако габариты и вес бесконтактных сельсинов получаются больше, чем у контактных.

## **Программа работы**

### ***1. Экспериментальные исследования***

1. Для сельсинов, работающих в индикаторном режиме:

1.1. Снять зависимость угла поворота сельсин-приемника от углового положения сельсин-датчика при прямом включении.

1.2. Снять зависимость угла поворота сельсин-приемника от углового положения сельсин-датчика при обратном включении.

2. Для сельсинов, работающих в трансформаторном режиме:

2.1. Определить величину остаточного напряжения и ошибку асимметрии.

2.2. Снять зависимость согласованных положений сельсин-приемника от углового положения сельсин-датчика.

2.3. Снять зависимость выходного напряжения сельсин-приемника и тока в линии связи от угла рассогласования.

### ***2. Обработка результатов эксперимента***

1. Для сельсинов, работающих в индикаторном режиме:

1.1. Рассчитать погрешности сельсин-приемника при прямом включении при повороте датчика по часовой стрелке и против часовой стрелки. Определить погрешность угла рассогласования сельсин-приемника при каждом направлении поворота.

1.2. Построить график погрешности сельсин-приемника от углового положения сельсин-датчика при прямом включении обмоток возбуждения.

1.3. Рассчитать погрешности сельсин-приемника при обратном включении при повороте датчика по часовой стрелке и против часовой стрелки. Определить погрешность угла рассогласования сельсин-приемника при каждом направлении поворота.

1.4. Построить график погрешности сельсин-приемника от углового положения сельсин-датчика при обратном включении обмоток возбуждения.

2. Для сельсинов, работающих в трансформаторном режиме:

2.1. Рассчитать погрешности сельсин-приемника во всем диапазоне угловых положений сельсин-датчика. Построить график погрешности сельсин-приемника от углового положения сельсин-датчика.

2.2. Построить график зависимости выходного напряжения сельсин-приемника и график тока в линии связи от угла рассогласования.

2.3. Определить удельное выходное напряжение сельсин-приемника.

### Пояснения и указания к работе

Для проведения экспериментов используется лабораторный стенд компании Галсен. Он включает в себя источник питания  $G1$  с автоматическим выключателем, блок сельсинов  $A1$  и блок вольтметров  $P1$ .



Общий вид лабораторного стенда

В блоке сельсинов использованы два бесконтактных сельсина с неявновыраженными полюсами БД-1404, предназначенные для работы как в индикаторном, так и в трансформаторном режиме при частоте питания 50 Гц. Напряжение возбуждения 110 В, потребляемый ток 0,45 А, потребляемая мощность 16,5 Вт, максимальное напряжение синхронизации 51 В. Асимметрия нулевых точек для 1 класса точности составляет  $\pm 15'$ , для 2 класса точности —  $\pm 30'$ , для 3 класса точности —  $\pm 60'$  (угловых минут). Допустимая частота вращения вала 500 об/мин. Такие сельсины применяются в автоматических системах контроля и

регулирования положения различных механизмов и автоматизированных систем, для синхронного поворота или вращения двух или нескольких механизмов, механически не связанных друг с другом. Бесконтактность достигается подключением обмотки возбуждения сельсина, расположенной на неявнополюсном роторе, через кольцевой трансформатор.

### Исследование сельсинов в индикаторном режиме работы

Перед началом исследований надо привести модули в исходное состояние, отключить их питание и соединить устройства в соответствии с требуемой схемой электрических соединений (рис. 3.3).

При прямом включении сельсинов обмотки возбуждения сельсин-датчика и сельсин-приемника подключаются к источнику переменного напряжения одинаковым образом, как показано на рис. 3.3. У сельсин-датчика начало обмотки возбуждения  $F21$  подключается к фазе  $L$  источника, конец обмотки возбуждения  $F22$  подключается к нейтрали  $N$  источника. Аналогично у сельсин-приемника начало обмотки возбуждения  $F11$  подключается к фазе  $L$  источника, конец обмотки возбуждения  $F12$  подключается к нейтрали  $N$  источника.

Обмотки синхронизации сельсин-датчика и сельсин-приемника соединяются пофазно.

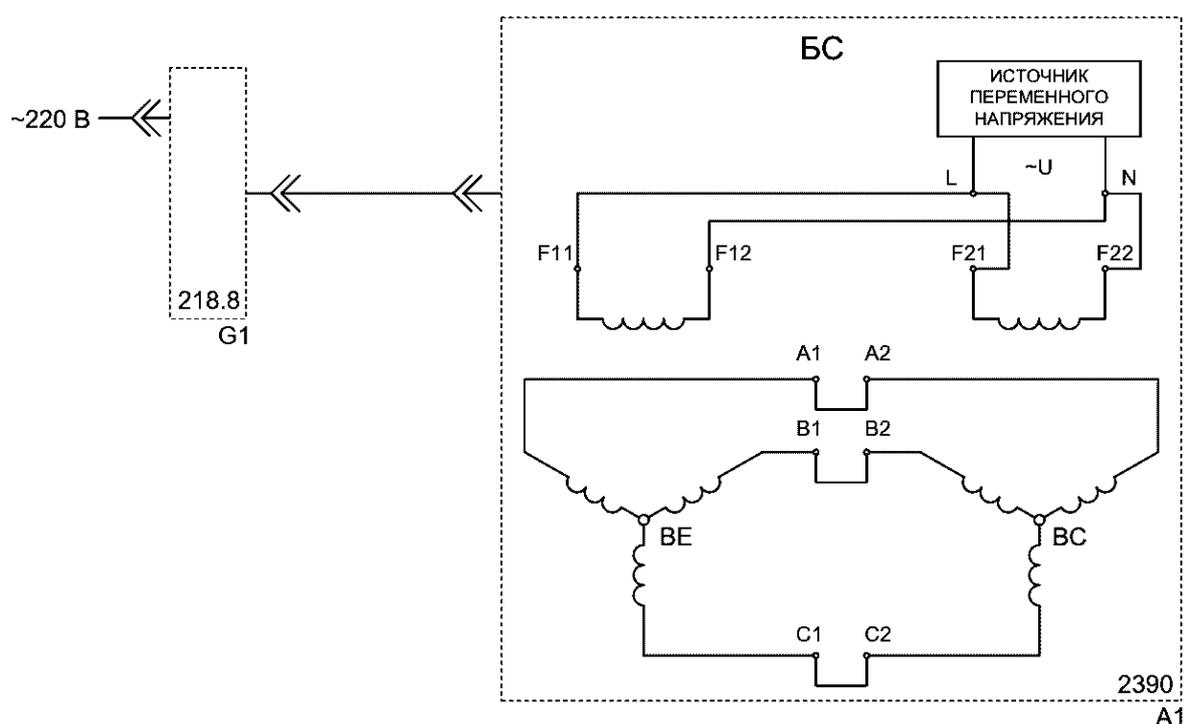


Рис. 3.3. Схема электрических соединений для исследования сельсинов в индикаторном режиме работы

Блок мультиметров  $P1$  не используется.

**Снятие зависимости угла поворота сельсин-приемника от углового положения сельсин-датчика при прямом включении**

Включите автоматический выключатель источника питания  $G1$  и выключатель «Сеть» блока сельсинов  $A1$ .

Установите вал сельсин-датчика в положение «0». Определите положение вала сельсин-приемника по показаниям рукоятки сельсин-приемника относительно угловой шкалы. Внесите первые значения углов датчика  $\alpha_d$  и приемника  $\alpha_n$  в таблицу 3.1.

Поворачивая вал сельсин-датчика по часовой стрелке, выставите углы в диапазоне от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  с шагом  $10^\circ$ . Для каждого положения сельсин-датчика определите положение вала сельсин-приемника. Внесите полученные значения углов приемника  $\alpha_n$  в таблицу 3.1.

Повторите процедуру определения зависимости угла поворота сельсин-приемника от углового положения сельсин-датчика, поворачивая вал сельсин-датчика против часовой стрелки с шагом  $10^\circ$ . Внесите полученные значения углов приемника  $\alpha_n$  в таблицу 3.1.

Таблица 3.1.

<i>Поворот по часовой стрелке</i>									
$\alpha_d$ , град.	0	10	20	30	40		...		350
$\alpha_n$ , град.									
$\theta$ , град.									
$\theta_{\max+}$ , град.									
$ \theta_{\max-} $ , град.									
Погрешность $\Delta\theta$ , град.									
<i>Поворот по часовой стрелке</i>									
$\alpha_d$ , град.	0	10	20	30	40		...		350
$\alpha_n$ , град.									
$\theta$ , град.									
$\theta_{\max+}$ , град.									
$ \theta_{\max-} $ , град.									
Погрешность $\Delta\theta$ , град.									

В таблице принято:

$\alpha_d$  – угловое положение вала сельсин-датчика, град.;

$\alpha_n$  – угловое положение вала сельсин-приемника, град.;

$\theta$  – угол рассогласования, град.;

$\theta_{\max+}$  – максимальный положительный угол рассогласования, град.;

$|\theta_{\max-}|$  – абсолютное значение максимального отрицательного угла рассогласования, град.;

$\Delta\Delta$  – погрешность угла рассогласования сельсин-приемника, град.

По окончании эксперимента, отключите выключатель «Сеть» блока сельсинов  $A1$ , отключите автоматический выключатель источника питания  $G1$ .

### **Снятие зависимости угла поворота сельсин-приемника от углового положения сельсин-датчика при обратном включении**

При обратном включении сельсинов обмотки возбуждения сельсин-датчика и сельсин-приемника подключаются к источнику переменного напряжения в противофазе. Для этого надо изменить направление возбуждения сельсин-приемника по сравнению с первоначальной схемой электрических подключений на рис. 3.3: начало обмотки возбуждения  $F11$  следует подключить к нейтрали  $N$  источника, конец обмотки возбуждения  $F12$  подключить к фазе  $L$  источника.

Включите автоматический выключатель источника питания  $G1$  и выключатель «Сеть» блока сельсинов  $A1$ .

Установите вал сельсин-датчика в положение «0». Поворачивая вал сельсин-датчика по часовой стрелке, выставите углы в диапазоне от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  с шагом  $10^\circ$ . Для каждого положения сельсин-датчика определите положение вала сельсин-приемника. Внесите полученные значения углов приемника  $\alpha_{\text{п}}$  в таблицу, аналогичную таблице 3.1.

Повторите процедуру определения зависимости угла поворота сельсин-приемника от углового положения сельсин-датчика, поворачивая вал сельсин-датчика против часовой стрелки с шагом  $10^\circ$ . Внесите полученные значения углов приемника  $\alpha_{\text{п}}$  в таблицу, аналогичную таблице 3.1.

По окончании эксперимента, отключите выключатель «Сеть» блока сельсинов  $A1$ , отключите автоматический выключатель источника питания  $G1$ .

### **Расчет погрешности угла рассогласования сельсин-приемника в индикаторном режиме работы**

Вначале следует рассчитать погрешности сельсин-приемника при отработке угловых положений сельсин-датчика. Расчеты надо провести для случаев прямого и обратного включения обмоток возбуждения при повороте ротора сельсин-датчика как по часовой стрелке, так и против часовой стрелки.

Погрешность сельсин-приемника при каждом положении ротора представляет собой разницу между угловыми положениями сельсин-приемника и сельсин-датчика

$$\theta = \alpha_{\text{п}} - \alpha_{\text{д}}.$$

Рассчитанные погрешности заносятся в продолжение таблицы 3.1.

По найденным значениям погрешностей следует найти максимальные положительное и отрицательное отклонения углов сельсин-приемника  $\alpha_{\text{п}}$  от углового положения сельсин-датчика  $\alpha_{\text{д}}$ :  $\theta_{\text{max+}}$  и  $\theta_{\text{max-}}$  (максимальное отрицательное отклонение берется по абсолютной величине). Максимальные отклонения находят отдельно для поворота по часовой стрелке и против часовой стрелки.

Среднее значение максимальных отклонений используется в качестве погрешности угла рассогласования сельсин-приемника

$$\Delta\theta = (\theta_{\text{max+}} + \theta_{\text{max-}}) / 2.$$

Найденные значения погрешностей следует также сохранить в таблице 3.1.

### **Построение графиков**

Рассчитанные погрешности сельсин-приемника следует изобразить на графике в зависимости от углового положения сельсин-датчика. График можно построить в виде столбчатой диаграммы. При этом на одном графике следует отобразить погрешности сельсин-приемника при повороте сельсин датчика как по часовой стрелке (считая эти углы положительными), так и против часовой стрелки (считая эти углы отрицательными).

Подобные зависимости строятся как для случая прямого включении обмоток возбуждения, так и для случая обратного включения.

### **Исследование сельсинов в трансформаторном режиме работы**

Перед началом исследований надо привести модули в исходное состояние, отключить их питание и соединить устройства в соответствии с требуемой схемой электрических соединений (рис. 3.4).

В трансформаторном режиме работы питание подается только на обмотку возбуждения сельсин-датчика. Обмотка возбуждения сельсин-приемника используется в качестве выходной обмотки – к ней в данной работе подключается один из мультиметров, включенный в режиме измерения переменного напряжения.

Обмотки синхронизации сельсин-датчика и сельсин-приемника соединяются пофазно.

### **Определение величины остаточного напряжения и ошибки асимметрии**

Включите автоматический выключатель источника питания  $G1$  и выключатели «Сеть» блока сельсинов  $A1$  и блока мультиметров  $P1$ .

Установите вал сельсин-датчика в положение «0».

Установите на мультиметре минимальный предел измерения (200 мВ) и поворачивая вал сельсин-приемника найдите его «нулевое» положение, при котором выходное напряжение будет минимальным (пусть это положение располагается возле значения  $90^\circ$  на шкале сельсин-приемника). Сохраните это значение напряжения в качестве остаточного напряжения. Запомните найденное положение вала сельсин-приемника и в дальнейшем используйте его в качестве «нулевого» положения в трансформаторном режиме работы.

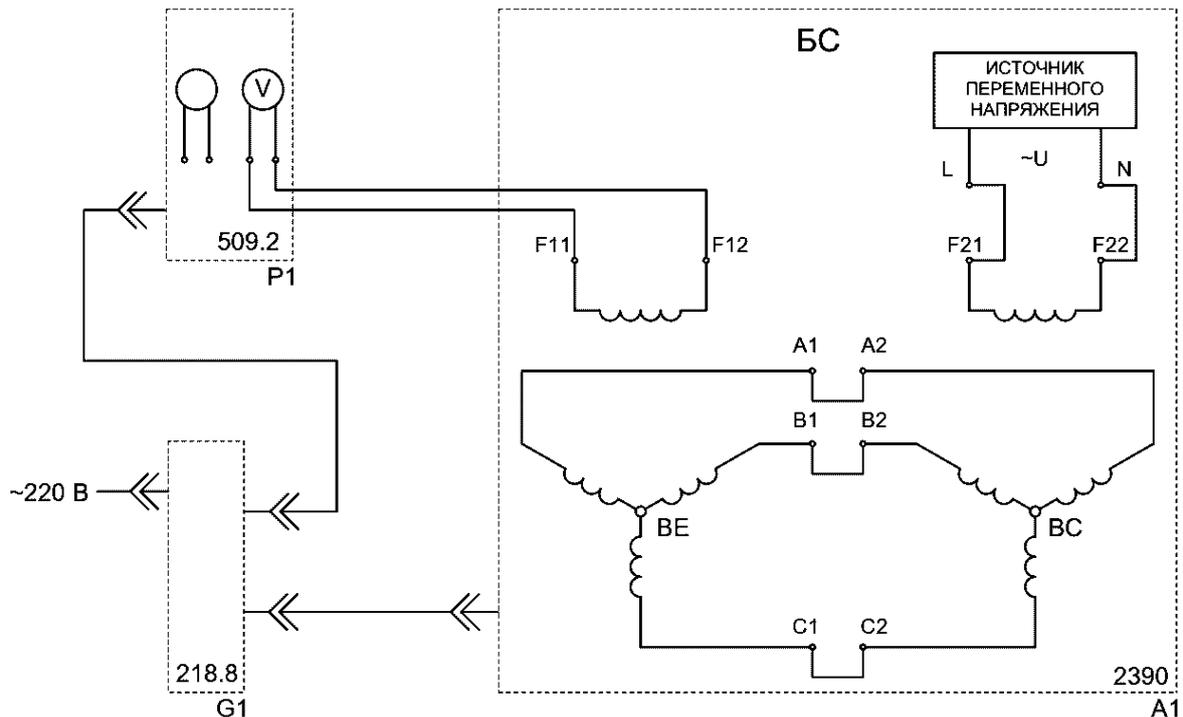


Рис. 3.4. Схема электрических соединений для исследования сельсинов в трансформаторном режиме работы

Поверните вал сельсин-приемника на  $180^\circ$  от найденного «нулевого» положения. Поворачивая вал сельсин-приемника найдите ближайшее положение, при котором выходное напряжение будет минимальным. Сохраните разницу между этим угловым положением вала и положением, отличающимся на  $180^\circ$  от «нулевого» положения, в качестве ошибки асимметрии.

### Снятие зависимости согласованных положений сельсин-приемника от углового положения сельсин-датчика

Установите вал сельсин-датчика в положение  $0^\circ$ , а вал сельсин-приемника в его «нулевое» положение. Поворачивая вал сельсин-приемника найдите ближайшее положение, при котором выходное напряжение будет минимальным. Это будет согласованное положение.

Внесите значения углов датчика и приемника (относительно «нулевого» положения) в таблицу 3.2.

Повторите процедуру определения согласованных положений сельсин-датчика и сельсин-приемника для положений датчика в диапазоне от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  с шагом  $10^\circ$ . Внесите значения в таблицу 3.2.

Таблица 3.2.

$\alpha_d$ , град.	0	10	20	30	40		...		350
$\alpha_n$ , град.									
$\theta$ , град.									

В таблице принято:

$\alpha_d$  – угловое положение вала сельсин-датчика, град.;

$\alpha_n$  – угловое положение вала сельсин-приемника, град.;

$\theta$  – угол рассогласования, град.

По окончании эксперимента, отключите выключатели «Сеть» блока сельсинов А1 и блока мультиметров P1, отключите автоматический выключатель источника питания G1.

### **Снятие зависимости выходного напряжения сельсин-приемника и тока в линии связи от угла рассогласования**

Установите на мультиметре, измеряющем выходное напряжение сельсин-приемника, предел измерения 200 В.

Включите второй мультиметр в режиме измерения тока в одну из линий связи между обмотками синхронизации сельсин-датчика и сельсин-приемника.

Включите автоматический выключатель источника питания G1 и выключатели «Сеть» блока сельсинов А1 и блока мультиметров P1.

Установите вал сельсин-датчика в положение «0». Установите вал сельсин-приемника в найденное ранее «нулевое» положение и удерживайте его в этом положении при дальнейших измерениях.

Поворачивая вал сельсин-датчика по часовой стрелке, выставите углы рассогласования в диапазоне от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  с шагом  $10^\circ$ . Для каждого положения сельсин-датчика определите с помощью мультиметров значение выходного напряжения сельсин-приемника и значение тока в линии связи. Внесите значения углов датчика  $\alpha_d$  и соответствующие им значения выходного напряжения и тока в таблицу 3.3.

Таблица 3.3.

$\theta$ , град.	0	10	20	30	40		...		350
------------------	---	----	----	----	----	--	-----	--	-----

$U_{\text{вых}}, \text{В}$									
$I_{\text{с}}, \text{А}$									
$U_{\text{max}}, \text{В}$									
$U_{\text{уд}}, \text{В}$									

В таблице принято:

$\theta$  – угол рассогласования, град.;

$U_{\text{вых}}$  – выходное напряжение сельсин-приемника, В;

$I_{\text{с}}$  – ток в линии связи, А;

$U_{\text{max}}$  – амплитудное значение кривой выходного напряжения, В;

$U_{\text{уд}}$  – удельное выходное напряжение сельсин-приемника, В.

По окончании эксперимента, отключите выключатели «Сеть» блока сельсинов А1 и блока мультиметров Р1, отключите автоматический выключатель источника питания G1.

### Расчет погрешности сельсин-приемника

Погрешность сельсин-приемника при каждом положении ротора сельсин-датчика представляет собой разницу между угловыми положениями сельсин-приемника и сельсин-датчика с учетом того, что в трансформаторном режиме согласованное положение сельсин-приемника отличается от согласованного положения сельсин-датчика в индикаторном режиме (для которого проградуирована шкала блока сельсинов) на  $90^\circ$  – «нулевое» положение

$$\theta = (\alpha_{\text{п}} - 90^\circ) - \alpha_{\text{д}}$$

Рассчитанные значения погрешности для каждого углового положения сельсин-датчика заносятся в продолжение таблицы 3.2.

### Построение графиков

Рассчитанные погрешности сельсин-приемника в зависимости от углового положения сельсин-датчика можно построить в виде столбчатой диаграммы.

На других графиках следует построить зависимости выходного напряжения сельсин-приемника и тока в линии связи от угла рассогласования между положениями роторов сельсин-приемника и сельсин-датчика. Эти зависимости лучше построить в виде двумерного графика.

### Расчет удельного выходного напряжения сельсин-приемника

Удельным выходным напряжением сельсин-приемника называется величина выходного напряжения при угле рассогласования  $1^\circ$ . Поскольку зависимость выходного напряжения сельсин-приемника от угла

рассогласования представляет собой синусоиду, то удельное выходное напряжение можно рассчитать как

$$U_{\text{уд}} = U_{\text{max}} \sin(1^\circ).$$

Здесь  $U_{\text{max}}$  – амплитудное значение синусоидальной кривой выходного напряжения сельсин-приемника. Это значение можно найти по результатам измерения выходного напряжения (по табл. 3.3) или по графику зависимости выходного напряжения от угла рассогласования.

Найденные значения амплитуды кривой выходного напряжения и удельного выходного напряжения заносятся в таблицу 3.3.

### Контрольные вопросы

1. Что называется электрической системой синхронной связи?
2. Какие конструктивные схемы сельсинов применяются на практике?
3. Объясните устройство бесконтактного сельсина. Укажите его недостатки и достоинства.
4. Каков принцип действия индикаторной системы синхронной связи?
5. Что называется удельным синхронизирующим моментом и как он определяется?
6. Как определяются время успокоения сельсинов и критический угол рассогласования?
7. Объясните зависимости токов в линии связи в индикаторном режиме.
8. Объясните принцип действия сельсинов в трансформаторной системе синхронной связи.
9. Как определяется погрешность сельсинов в индикаторном и трансформаторном режимах? На какие классы делятся сельсины по точности?
10. Назовите факторы, влияющие на точность работы сельсинов в индикаторном и трансформаторном режимах.
11. Что такое остаточная ЭДС сельсина в трансформаторном режиме работы и чем она вызывается? Как уменьшить эту ЭДС?
12. Что называется удельным выходным напряжением и как оно определяется?

### Литература

1. Испытание электрических микромашин. – М.: Высш. школа, 1984. - 300 с. (*Параграф 9.3. Сельсины*).
2. Осин И.Л., Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств. – М.: Издательство МЭИ, 2003 - 410 с. (*Глава 15. Электрические машины систем синхронной связи*).
3. Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств – М.: Высш. школа, 1988 – 479 с. (*Глава 15. Электрические машины систем синхронной связи*).