

## **Лабораторная работа №1**

### **Экспериментальное исследование САС, реализующей принцип управления по задающему воздействию**

**Цель работы:** экспериментальное определение статических и временных характеристик основных функциональных элементов САС; изучение влияния нагрузки на регулировочные характеристики объекта управления.

#### **Задачи:**

1. Изучение устройства и принципа функционирования лабораторного стенда.
2. Изучение принципа управления по задающему воздействию.
3. Снятие статических регулировочных и нагрузочных характеристик основных функциональных элементов САС.
4. Снятие временных характеристик САС.

### **Теоретическое введение**

Система автоматической стабилизации любой сложности представляет собой совокупность ОАУ и УАУ. На выходе устройства автоматической стабилизации управляющее воздействие формируется на основании информации о внешних сигналах (задающих и возмущающих воздействиях) и об управляемых величинах. Состав функциональных элементов и способ их соединения зависят как от способа формирования сигнала управления, так и от источников информации. Использование тех или иных сигналов для формирования управляющего воздействия зависит от способа управления. Существуют два основных принципа управления по внешнему воздействию и по отклонению (ошибке).

Управление по внешнему воздействию может осуществляться по задающему и возмущающему воздействию. При этом реализуется разомкнутое управление, и система будет разомкнутой. Достоинство разомкнутых систем их простоте. Существенный недостаток разомкнутых систем – это зависимость выходной управляемой переменной от некомпенсированных внешних воздействий.

САС угловой скорости с использованием принципа управления по задающему воздействию, исследуемая данной лабораторной работе,

представлена в виде функциональной схемы, изображенной на рис. 1.1.

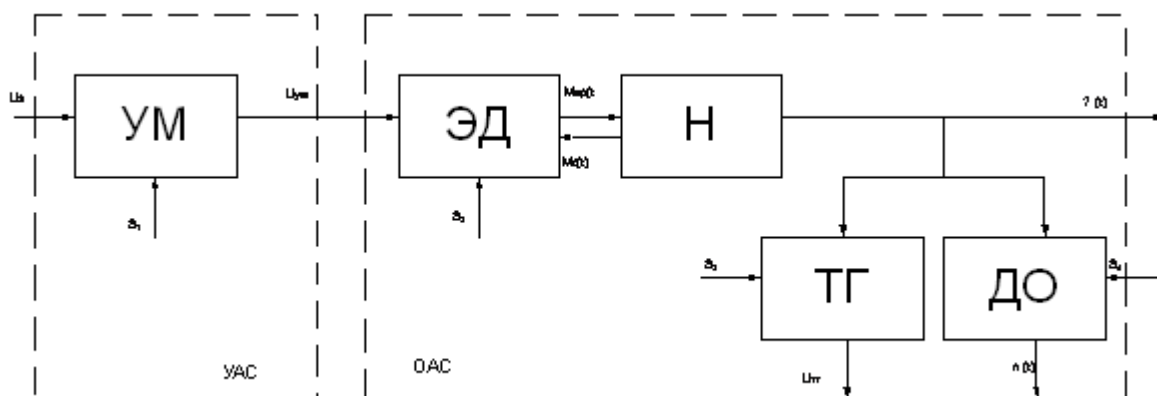


Рисунок 1.1 – Функциональная схема САС

На рис. 1.1 обозначено:

УМ – усилитель мощности;

ЭД – электродвигатель СЛ-267;

Н – нагрузка;

ТГ – тахогенератор;

ДО – датчик оборотов;

Э<sub>і</sub> – подводимая энергия.

Элементы ЭД, ТГ, ДО конструктивно объединены с помощью разъема в одном электромеханическом блоке, соединенным с усилителем мощности, источником питания и решающим блоком.

Для подачи внешних воздействий на элементы используются:

1. регулируемый с помощью делителя напряжения источник постоянного тока;
2. генератор гармонических колебаний;
3. нагрузочный резистор.

Входные и выходные сигналы функциональных элементов регистрируются с помощью вольтметра V2, размещенного на панели управления, а также индикатора ИЭЛ.

На рис. 1.2. представлена принципиальная схема соединения исследуемых функциональных элементов. Усилитель мощности представляет собой двухтактный усилитель с широтно-импульсной

модуляцией входного сигнала и предназначен для выработки управляющего воздействия на объект управления – электродвигатель. Электродвигатель СЛ-267 является электрической машиной постоянного тока с независимым возбуждением. В лабораторной установке выход усилителя подключен к якорной обмотке электродвигателя.

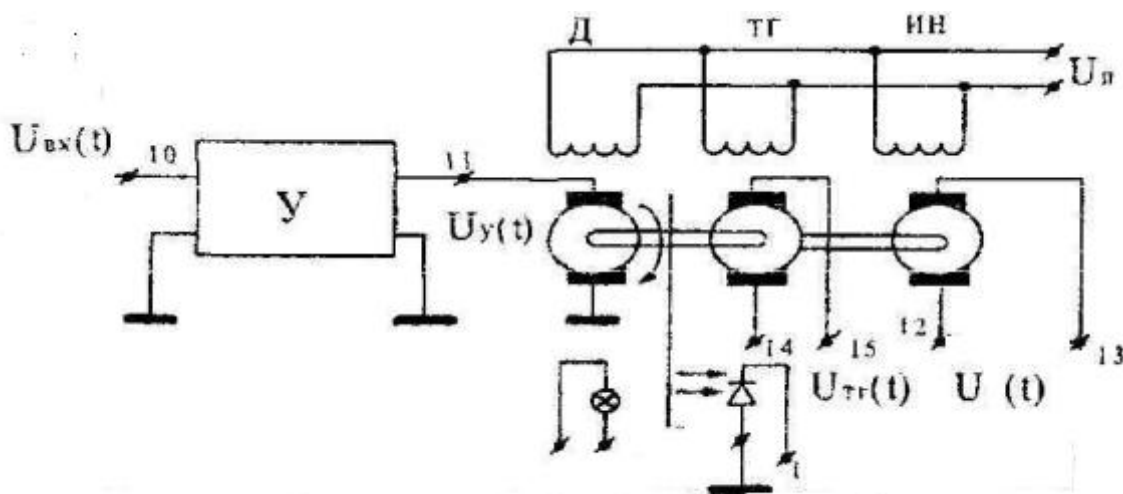


Рисунок 1.2 – Принципиальная схема электромеханического блока с усилителем мощности

Тахогенератор представляет собой электромашину постоянного тока с независимым возбуждением. Напряжение, снимаемое с якорной обмотки тахогенератора, пропорционально угловой скорости вращения вала электродвигателя. Импульсный датчик числа оборотов электродвигателя состоит из светонепроницаемого диска с радиальной прорезью, лампочки, фотодиода. Он преобразует угловую скорость вращения вала электродвигателя в последовательность электрических импульсов. Имитатор нагрузки предназначен для создания нагрузки на электродвигатель. В качестве имитатора используется электродвигатель СЛ-267, включенный как генератор. Нагрузка изменяется закорачиванием якорной цепи или включением в нее нагрузочного сопротивления.

Статические характеристики усилителя мощности, электродвигателя, тахогенератора являются нелинейными. Нелинейность характеристики усилителя мощности обусловлена его насыщением. Нелинейность

электродвигателя объясняется наличием сил трения и статического момента сопротивления. Тахогенератор имеет нелинейную характеристику из-за нелинейности кривой намагничивания.

Из указанных функциональных элементов безынерционными являются усилитель мощности и тахогенератор. Электродвигатель – это инерционный элемент.

Все рассматриваемые элементы можно считать линейными звеньями. Представив усилитель мощности усилительным звеном, получим его передаточную функцию:

$$W_{ум}(s) = \frac{U_{ум}(s)}{U_з(s)} = K_{ум} \quad (1.1)$$

где  $K_{ум}$  – коэффициент усиления усилителя.

Динамика электродвигателя, являющегося инерционным звеном, описывается линейным дифференциальным уравнением вида

$$T_{эм} \frac{d\omega(t)}{dt} + \omega(t) = K_{\partial} U_y(t) - K_{\partial в} U_n(t), \quad (1.2)$$

где  $T_{эм}$  – электромеханическая постоянная времени, с;  $K_{\partial}$  – коэффициент передачи электродвигателя по управляющему воздействию, рад/В с;  $K_{\partial в}$  – коэффициент передачи электродвигателя по возмущающему воздействию.

Падение напряжения на нагрузке  $U_n(t)$  характеризует момент сопротивления на валу, являющийся возмущающим воздействием.

Передаточную функцию электродвигателя по управляющему воздействию из формулы (1.2) при  $U_n(t) = 0$  получаем в следующем виде:

$$W_{\partial}(s) = \frac{\Omega(s)}{U_y(s)} = \frac{K_{\partial}}{T_{эм}s + 1} \quad (1.3)$$

По возмущающему воздействию из уравнения (1.2) при управляющем сигнале равном нулю передаточная функция

$$W_{\hat{\omega}}(s) = \frac{\Omega(s)}{U_n(s)} = \frac{K_{\hat{\omega}}}{T_{эм} s + 1} \quad (1.4)$$

Передаточную функцию тахогенератора как усилительного звена запишем так:

$$W_{ТГ}(s) = \frac{U_{ТГ}(s)}{\Omega(s)} = K_{ТГ}, \quad (1.5)$$

$K_{ТГ}$  - коэффициент передачи тахогенератора.

Передаточная функция последовательного соединения элементов по задающему воздействию будет равна:

$$W_1(s) = \frac{U_{ТГ}(s)}{U_3(s)} = \frac{K_y K_D K_{ТГ}}{T_{эм} s + 1} \quad (1.6)$$

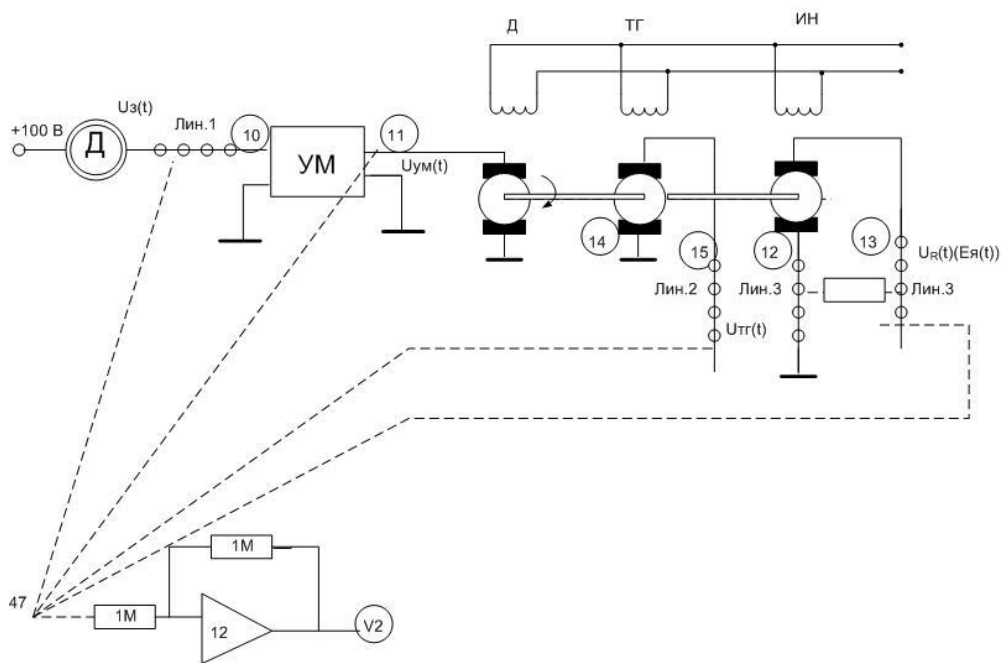
Передаточная функция соединения по возмущающему воздействию примет вид:

$$W_2(s) = \frac{U_{ТГ}(s)}{U_n(s)} = \frac{K_{дв} K_{ТГ}}{T_{эм} s + 1} \quad (1.7)$$

### Порядок выполнения работы:

- 2.1 Подготовка лабораторной установки к проведению экспериментов.
- 2.2 Экспериментальное исследование САС реализующей принцип управления по задающему воздействию.

Собрать схему, представленную на рис. 1.3



### Рисунок 1.3 – Принципиальная схема лабораторной САС

Для сборки схемы выполните следующие действия.

#### **1 Привести стенд в исходное состояние**

#### **2 Проверка проводников на работоспособность:**

- а) включить тумблер «Сеть»;
- б) предел измерения вольтметра V2 поставить на 100В (тумблер, расположенный справа вверху от вольтметра, перевести в верхнее положение);
- в) полярность вольтметра V2 поставить на «+» (тумблер, расположенный справа внизу от вольтметра, перевести в правое положение);
- г) один конец проверяемого проводника вставить в гнездо V2, а второй в гнездо «+100В»;
- д) если стрелка вольтметра отклонилась вправо, то проводник цел и его можно использовать для набора схемы;
- е) отобрать таким образом 12 исправных проводников;
- е) неисправные проводники откладывать в сторону и в конце пары отдать ответственному по лабораториям.

#### **3 Сборка схемы:**

- а) соединить гнездо «+100В» со входом делителя;
- б) соединить выход делителя с линейкой 1 (Л1);
- в) соединить Л1 со входом усилителя мощности (гнездо 10 «ВНЕШНЯЯ АППАРАТУРА»);
- г) гнездо 14 «ВНЕШНЯЯ АППАРАТУРА» соединить с землей;

д) гнездо 15 «ВНЕШНЯЯ АППАРАТУРА» соединить с линией 2 (Л2);

#### 4 Подготовка вольтметра к измерению напряжения:

а) выход ОУ12 соединить со входом вольтметра V2;

б) в обратную связь ОУ12 с помощью скобы подключить резистор 1МОм;

в) выход резистора 47 соединить со входом ОУ12;

г) вход резистора 47 теперь будет измерительным входом вольтметра (гнездо 47 в квадрате гнезд «ВХОДЫ»). Для измерения напряжения в какой-либо точке наборного поля необходимо соединить ее со входом резистора 47.

### 2.3 Расчет коэффициент тахогенератора

Установив с помощью переключателей делителя напряжений различные значения входного напряжения в диапазоне 0-2 В, было измерено напряжение на выходе тахогенератора -  $U_{ТГ}$ , посчитано число оборотов вала электродвигателя. (табл. 1.1)

Таблица 1.1 – зависимость количества импульсов датчика частоты от задающего напряжения

№ п/п	$U_z, В$	$U_{ТГ}, В$	N, имп/с
1			

$$K_{ТГ} = \frac{1}{2\pi} \frac{U_{ТГi}}{N_i}; \quad (1.9)$$

### 2.4 Снятие регулировочных характеристик

Для снятия регулировочных характеристик заполнить табл. 1.2.

Для измерения

- задающего напряжения необходимо гнездо 47 соединить с Л1;
- напряжения усилителя мощности необходимо гнездо 47 соединить с гнездом 11 ВНЕШНЕЙ АППАРАТУРЫ;
- напряжения тахогенератора необходимо гнездо 47 соединить с Л2.

Угловая скорость рассчитывается по формуле 1.10

$$\omega = \frac{U_{ТГ}}{k_{ТГ}}; \quad (1.10)$$

Таблица 1.2 – Статическая характеристика разомкнутой САС

№	Uз,В	Uум,В	Uтг,В	ω, рад/с
1	0			
2	0,5			
3	1			
4	1,5			
5	2			
67	2,5			
8	3			
9	3,5			
10	4			
11	4,5			
12	5			
13	6			
14	7			
15	8			
16	9			
17	10			
18	15			
19	20			
20	25			

## 2.5 Снятие нагрузочной характеристики САС

Построение нагрузочной характеристики ЭД при положительном задающем воздействии (табл. 1.3). Задающее воздействие установить равным задающему напряжению рабочей точки (середина линейного диапазона регулировочной характеристики САС)

- а) Гнездо 12 ВНЕШНЕЙ АППАРАТУРЫ соединить с ЛЗ;



- б) Гнездо 13 ВНЕШНЕ Й АППАРАТУРЫ соединить с Л4;
- в) Л4 соединить с землей;
- г) подключить резистор нагрузки между Л3 и Л4.

Для измерения

- задающего напряжения необходимо гнездо 47 соединить с Л1;
- ЭДС якоря гнездо 47 соединить с Л3 без подключенной в нее нагрузки;
- напряжения нагрузки гнездо 47 соединить с Л3 при подключенной в нее нагрузке;
- напряжения тахогенератора необходимо гнездо 47 соединить с Л2.

Таблица 1.3 – Данные нагрузочной характеристики разомкнутой САС

№	R, Ом	E <sub>я</sub> , В	U <sub>ТГ</sub> , В	U <sub>Р</sub> , В	I <sub>я</sub> , А	ω, рад/с	M <sub>с</sub> , Н·м	U <sub>з</sub> , В
1								
2								
3								

Для расчета недостающих данных использовать формулы 1.11.

$$I_{я} = \frac{U_R}{R}, M_c = \frac{E_{я} \cdot I_{я}}{\omega}, \omega = \frac{U_{ТГ}}{K_{ТГ}}. \quad (1.11)$$

#### Расчетная часть работы

1. Построить графики регулировочных характеристик элементов САС ( усилителя мощности  $U_{УМ}(U_z)$ , двигателя  $\omega(U_{УМ})$ , тахогенератора  $U_{ТГ}(\omega)$ , системы  $U_{ТГ}(U_z)$ ).
2. Построить график нагрузочной характеристики САС  $M_c(\omega)$ .
3. Провести графическую линеаризацию всех статических характеристик.
4. Записать атрибуты линеаризации.
  - а. точность;
  - б. координаты рабочей точки;
  - в. диапазон входного сигнала;

- г. диапазон выходного сигнала;
- д. оценочные значения коэффициента;
- е. уравнение линеаризованной модели;
- ж. масштаб времени.

5. Для заданной функциональной схемы САС, реализующий принцип управления по задающему воздействию получить следующие передаточные функции ее структурных элементов:

$$1) W_{yM}(S) = \frac{U_{yM}(S)}{U_z(S)} = K_{yM};$$

$$2) W_{D6}(S) = \frac{\omega(S)}{U_{yM}(S)} = \frac{K_{D6}}{T_{ЭМ} \cdot S + 1};$$

$$3) W_{TГ}(S) = \frac{U_{TГ}(S)}{\omega(S)} = K_{TГ};$$

6. Записать передаточные функции разомкнутой системы по задающему и возмущающему воздействиям.
7. Сделать выводы по работе.

## Лабораторная работа №2

### Экспериментальное исследование САС, реализующей принцип управления по возмущающему воздействию

**Цель работы:** экспериментальное определение временных характеристик, изучение влияния нагрузки на регулировочные и временные характеристики САС, реализующей принцип управления по возмущающему воздействию.

Задачи:

1. Изучение принципа управления по возмущающему воздействию.
2. Синтез корректирующего элемента САС, реализующий принцип управления по возмущающему воздействию.
3. Снятие временных характеристик САС.
4. Сравнение теоретических и экспериментальных характеристик.
5. Оценка показателей качества.

### Теоретическое введение

Система управления, управляющее воздействие в которой сформировано на основании задающего и возмущающего воздействий, представляет собой автоматическую систему с компенсацией возмущающего воздействия. Функциональную схему САС, построенной с использованием принципа управления по возмущению, можно представить в виде:

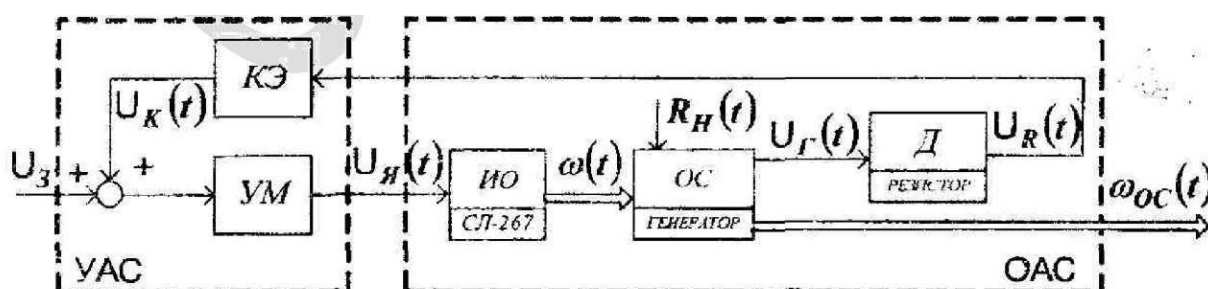


Рисунок 2.1 - Функциональная схема САС

Здесь:  $u_{\text{я}}(t)$ , В - напряжение управления на якорную обмотку электродвигателя;  $\omega(t)$ , 1/с - угловая скорость вала электродвигателя;  $u_{\text{Г}}(t)$ , В - напряжение генератора;  $u_{\text{R}}(t)$ , В - результат измерения возмущающего воздействия;  $\omega_{\text{H}}(t)$ , 1/с - угловая скорость нагрузки, стабилизируемая физическая величина. Информационно-преобразовательные особенности стендовой САС отображаются в линейном приближении с помощью структурной схемы:

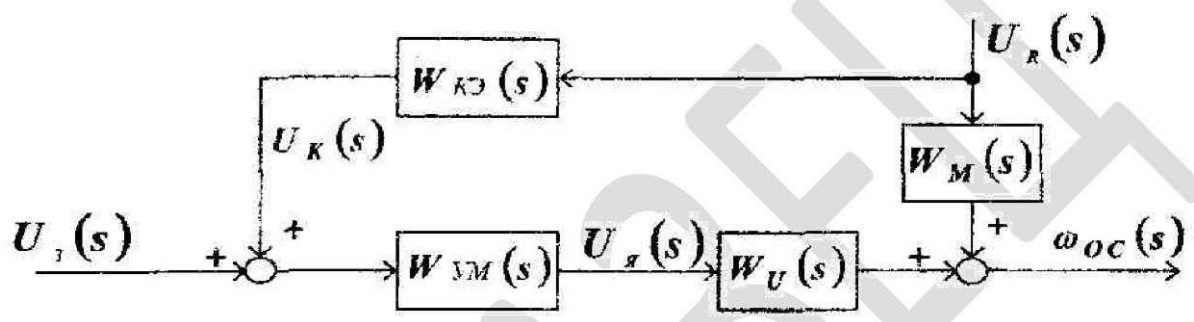


Рисунок 2.2 - Структурная схема САС.

Для осуществления задачи стабилизации необходимо скомпенсировать возмущающее воздействие, измеряя его и выработывая с помощью корректирующего элемента сигнал, пропорциональный возмущению.

### Порядок выполнения работы:

1. Собрать схему САС, представленную на рис. 2.3

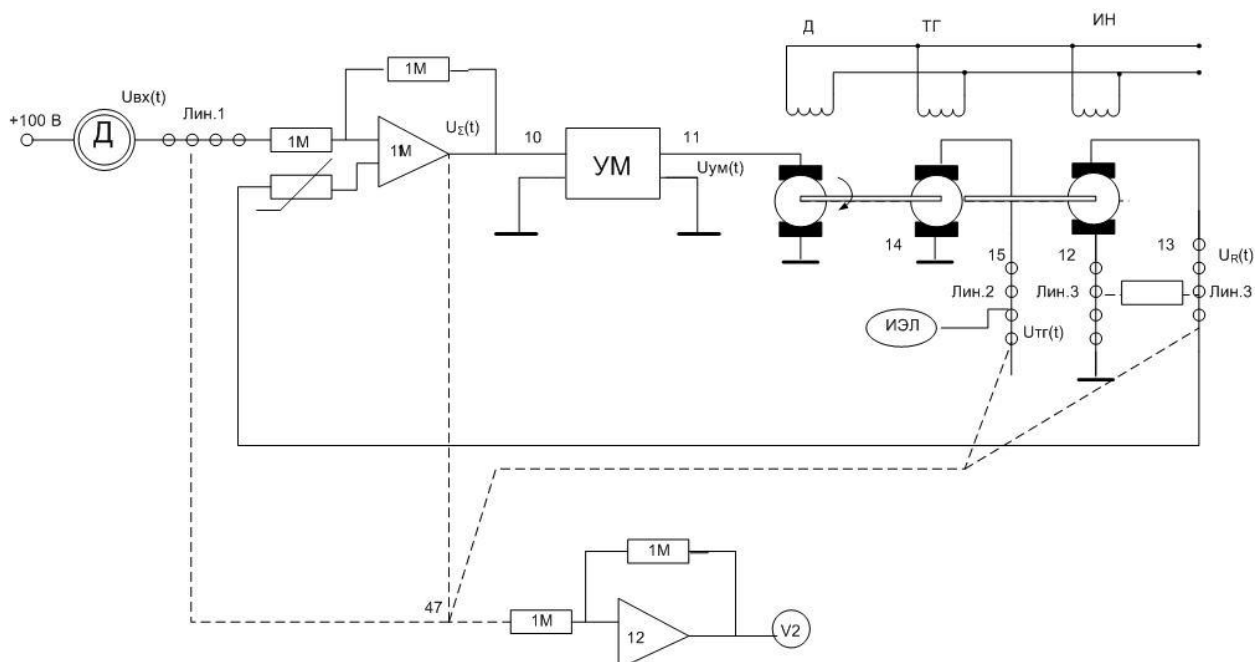


Рисунок 2.3 – Принципиальная схема САС

Для сборки схемы выполните следующие действия.

**1 Привести стенд в исходное состояние**

**2 Проверка проводников на работоспособность:**

- а) включить тумблер «Сеть»;
- б) предел измерения вольтметра V2 поставить на 100В (тумблер, расположенный справа вверху от вольтметра, перевести в верхнее положение);
- в) полярность вольтметра V2 поставить на «+» (тумблер, расположенный справа внизу от вольтметра, перевести в правое положение);
- г) один конец проверяемого проводника вставить в гнездо V2, а второй в гнездо «+100В»;
- д) если стрелка вольтметра отклонилась вправо, то проводник цел и его можно использовать для набора схемы;
- е) отобрать таким образом 12 исправных проводников;
- е) неисправные проводники откладывать в сторону и в конце пары отдать ответственному по лабораториям.

### **3 Сборка схемы:**

- а) соединить гнездо «+100В» со входом делителя;
- б) соединить выход делителя с линейкой 1 (Л1);
- в) соединить Л1 с входом резистора 3;
- г) выход резистора 3 соединить со входом операционного усилителя 1;
- д) выход усилителя 1 соединить со входом усилителя мощности (гнездо 10 «ВНЕШНЯЯ АППАРАТУРА»);
- е) гнездо 14 «ВНЕШНЯЯ АППАРАТУРА» соединить с землей;
- ж) гнездо 15 «ВНЕШНЯЯ АППАРАТУРА» соединить с линейкой 2 (Л2);
- з) гнездо 12 «ВНЕШНЯЯ АППАРАТУРА» соединить с землей;
- и) гнездо 13 «ВНЕШНЯЯ АППАРАТУРА» соединить с линейкой 3 (Л3);
- к) Л3 соединить с входом резистора 6;
- л) выход резистора 6 соединить со входом ОУ1;
- м) резистор нагрузки одним концом подключить к Л3, а другим к земле.
- н) Л2 соединить с входом 1 ИЭЛ

### **4 Подготовка вольтметра к измерению напряжения:**

- а) выход ОУ12 соединить со входом вольтметра V2;
- б) в обратную связь ОУ12 с помощью скобы подключить резистор 1МОм;
- в) выход резистора 47 соединить со входом ОУ12;
- г) вход резистора 47 теперь будет измерительным входом вольтметра (гнездо 47 в квадрате гнезд «ВХОДЫ»). Для измерения напряжения в какой-либо точке наборного поля необходимо соединить ее со входом резистора 47.

### **5 Заполнить таблицу.**

#### **5.1 Подобрать коэффициент полной компенсации**

- а) Соединить вход резистора 47 с Л1, установить задающее напряжение 5 В (напряжение р.т. из ЛР 1);
- б) Отключить гнездо 13 «ВНЕШНЯЯ АППАРАТУРА» от Л3;

- в) Соединить вход резистора 47 с Л2 (измерить  $U_{тг}$ );
- г) Подключить гнездо 13 «ВНЕШНЯЯ АППАРАТУРА» к Л3;
- д) Подстраивая резистор 8 добиться компенсации (того же значения  $U_{тг}$ , что и без нагрузки);
- е) Соединить вход резистора 47 с выходом ОУ 1 (измерить напряжение сумматора);
- ж) Соединить вход резистора 47 с Л3 (измерить напряжение нагрузки).
- з) Изменяя сопротивление резистора 8 реализовать режимы недокомпенсации (покрутив резистор влево) и перекомпенсации (покрутив резистор вправо)
- и) Заполнить табл. 2.1

Таблица 2.1 - Коэффициенты передачи компенсатора

№ п/п	Режим стабилизации	Нагрузка, Ом	$K_k$
1.	Полная компенсация		
2.	Недокомпенсация		
3.	Перекомпенсация		

$$K_K = \frac{U_{\square} - U_3}{U_R}. \quad (2.1)$$

Переходные процессы наблюдаются на экране осциллографа.

По снятым характеристикам строим графики и определяем показатели качества. Показатели качества занести в табл. 2.2 и табл. 2.3

Таблица 2.2 - Установившиеся значения угловой скорости электродвигателя  
и показатели качества переходных процессов

№	$U_{\text{зад}}, \text{В}$	$R_{\text{Н}}, \text{Ом}$	$K_{\text{к}}$	$U_{\text{r}}, \text{В}$	$I_{\text{r}}, \text{А}$	$U_{\text{r}}, \text{В}$	$\omega, \text{рад/с}$	$t_{\text{пп}}^{\text{с}}$
1.								
2.								
3.								

Таблица 2.3 - Значения показателей качества

Режим	$R_{\text{Н}}, \text{Ом}$	$K_{\text{к}}$	$\omega, \text{рад/с}$	$t_{\text{пп}}^{\text{с}}$	$M$	$a, \%$
Полная						
Недоком- пенсация						
Переком- пенсация						

### Расчетная часть

Для системы реализующей принцип управления по возмущению построить временные характеристики для режимов недокомпенсации и перекомпенсации.



### Лабораторная работа №3

#### Экспериментальное исследование САС, реализующей принцип управления по отклонению

**Цель работы:** экспериментальное определение временных характеристик, изучение влияния нагрузки на временные характеристики САС, реализующей принцип управления по отклонению.

#### **Задачи:**

1. Изучение принципа управления по отклонению.
2. Снятие временных характеристик САС.
3. Сравнение теоретических и экспериментальных характеристик.
4. Оценка показателей качества.

#### **Теоретическое введение**

Принцип управления по отклонению основан на использовании для формирования управляющего воздействия на объект сигнала ошибки представляющего собой разность между задающим воздействием и управляемой величиной.

Функциональную схему САС, построенной с использованием принципа управления по отклонению, можно представить в виде:

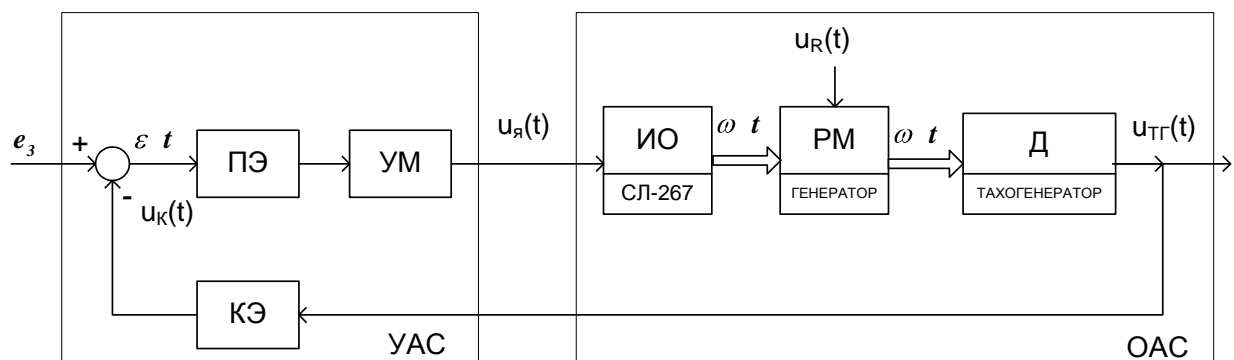


Рисунок 3.1 - Функциональная схема САС

Здесь:  $u_{я}(t)$ , В - напряжение управления на якорную обмотку электродвигателя;

$\omega(t)$ , 1/с - угловая скорость вала электродвигателя;

$u_{ТГ}(t)$ , В - напряжение тахогенератора;

$u_{R}(t)$ , В - результат измерения возмущающего воздействия;

$\omega_{H}(t)$ , 1/с - угловая скорость нагрузки, стабилизируемая физическая величина.

Информационно-преобразовательные особенности стендовой САС отображаются в линейном приближении с помощью структурной схемы:

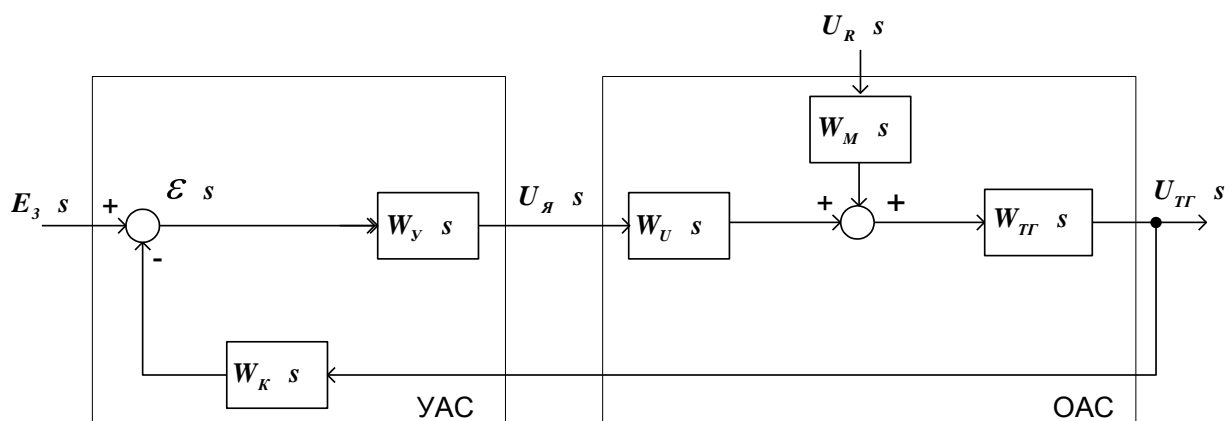


Рисунок 3.2 – Структурная схема САС

Где  $W_y s$  – передаточная функция УМ;  $W_k s$  – передаточная функция КЭ;

$E_3 s$  – изображение задающего воздействия;  $E s$  – изображение отклонения;  $U_{я} s$  – изображение управляющего воздействия  $U_{я} t$ ;  $U_R s$  – изображение возмущающего воздействия  $U_R t$ ;  $U_{ТГ} s$  – изображение напряжения тахогенератора.

Основное достоинство замкнутых систем управления заключается в их способности выполнять задачу управления при наличии возмущающих воздействий. Недостатком замкнутых систем в сравнении с комбинированными системами является одноканальное управление, не

позволяющее достичь инвариантности относительно возмущающих воздействий.

### Выполнение работы

1. Экспериментальное исследование САС, реализующей принцип управления по отклонению.

На лабораторном стенде была собрана схема, изображенная на рис. 3.3. Был установлен коэффициент передачи в обратной связи замкнутой САС:

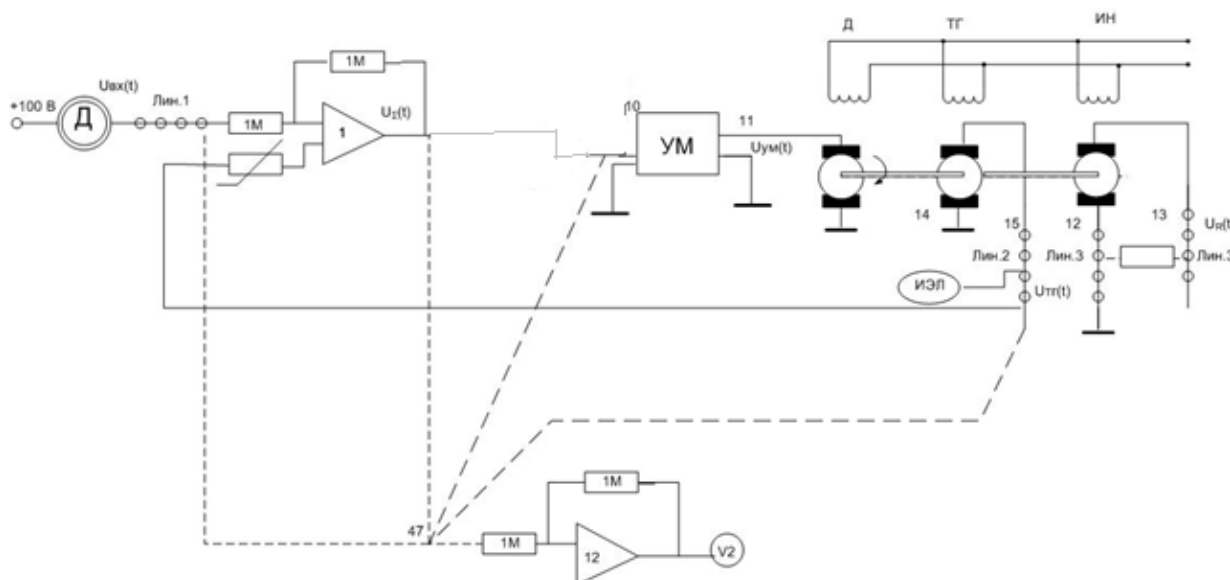


Рисунок 3.3 - Принципиальная схема подключения замкнутой САС

Для сборки схемы выполните следующие действия.

**1 Привести стенд в исходное состояние**

**2 Проверка проводников на работоспособность:**

а) включить тумблер «Сеть»;

б) предел измерения вольтметра V2 поставить на 100В (тумблер, расположенный справа сверху от вольтметра, перевести в верхнее положение);

в) полярность вольтметра V2 поставить на «+» (тумблер, расположенный справа внизу от вольтметра, перевести в правое положение);

г) один конец проверяемого проводника вставить в гнездо V2, а второй в гнездо «+100В»;

д) если стрелка вольтметра отклонилась вправо, то проводник цел и его можно использовать для набора схемы;

е) отобрать таким образом 12 исправных проводников;

е) неисправные проводники откладывать в сторону и в конце пары отдать ответственному по лабораториям.

### **3 Сборка схемы:**

о) соединить гнездо «+100В» со входом делителя;

п) соединить выход делителя с линейкой 1 (Л1);

р) соединить Л1 с входом резистора 3;

с) выход резистора 3 соединить со входом операционного усилителя 1;

т) выход усилителя 1 соединить со входом усилителя мощности (гнездо 10 «ВНЕШНЯЯ АППАРАТУРА»);

у) гнездо 14 «ВНЕШНЯЯ АППАРАТУРА» соединить с землей;

ф) гнездо 15 «ВНЕШНЯЯ АППАРАТУРА» соединить с линейкой 2 (Л2);

х) гнездо 12 «ВНЕШНЯЯ АППАРАТУРА» соединить с землей;

ц) гнездо 13 «ВНЕШНЯЯ АППАРАТУРА» соединить с линейкой 3 (Л3);

ч) Л2 соединить с входом резистора 7;

ш) выход резистора 7 соединить со входом ОУ1;

щ) резистор нагрузки одним концом подключить к Л3, а другим к земле.

ы) Л2 соединить с входом 1 ИЭЛ

### **4 Подготовка вольтметра к измерению напряжения:**

а) выход ОУ12 соединить со входом вольтметра V2;

- б) в обратную связь ОУ12 с помощью скобы подключить резистор 1Мом;
- в) выход резистора 47 соединить со входом ОУ12;
- г) вход резистора 47 теперь будет измерительным входом вольтметра (гнездо 47 в квадрате гнезд «ВХОДЫ»). Для измерения напряжения в какой-либо точке наборного поля необходимо соединить ее со входом резистора 47.
5. Задать на делителе напряжения напряжение рабочей точки из ЛРН<sup>№</sup>1.
6. Подать ступенчатое воздействие (изменить напряжение). Графики переходных процессов можно наблюдать на осциллографе.
7. Повторить эксперимент для трех разных коэффициентов обратной связи (для этого на линейку Л2 подключают резистор номиналом 0,5 Мом ( $K=2$ ) и 2 Мом ( $K=0,5$ )).
8. Заполнить таблицу.

Таблица 3.1 – Установившиеся значения угловой скорости электродвигателя и время переходных процессов

№	$U_{\text{зад}}, \text{В}$	$R_{\text{н}}, \text{Ом}$	$K_{\text{ос}}$	$U_{\text{ТГ}}^{\text{У}}, \text{В}$	$\omega^{\text{упп}}, 1/\text{с}$	$t_{\text{пп}}^{\text{У}}, \text{с}$	$U_{\text{ТГ}}^{\text{В}}, \text{В}$	$\omega^{\text{В}}, 1/\text{с}$	$t_{\text{пп}}^{\text{В}}, \text{с}$
1			0,5						
2			1						
3			2						

По графикам переходных процессов были определены показатели качества замкнутой САС по управлению и возмущению (табл. 3.2 и 3.3 соответственно).

Таблица 3.2 – Значения показателей качества замкнутой САС по управлению

№	$K_{\text{ос}}$	$\square, \text{В}$	$t_{\text{пп}}, \text{с}$	$M$	$\delta, \%$
1	0,5				
2	1				
3	2				

Таблица 3.3 – Значения показателей качества замкнутой САС по возмущению

№	$K_{oc}$	$\square, B$	$t_{шт}, c$	M	$\delta, \%$
1	0,5				
2	1				
3	2				

### Расчетная часть

Задана функциональная схема САС, реализующей принцип управления по отклонению и передаточные функции всех её элементов (взять из прошлых лабораторных работ). Аналитически построить и изобразить на миллиметровке переходные процессы для сигналов ошибок по управляющему и возмущающему воздействиям.

## Лабораторная работа №4

### Экспериментальное определение частотных характеристик разомкнутой САС

**Цель работы:** экспериментальное определение частотных характеристик разомкнутой САС.

**Задачи:**

1. Снятие амплитудно-частотной характеристики САС.
2. Снятие фазо-частотной характеристики САС.
3. Определение оценочных значений параметров передаточной функции разомкнутой САС.

### Теоретическое введение

Система автоматической стабилизации с использованием принципа управления по задающему воздействию представлена в виде функциональной схемы на рис. 4.1.

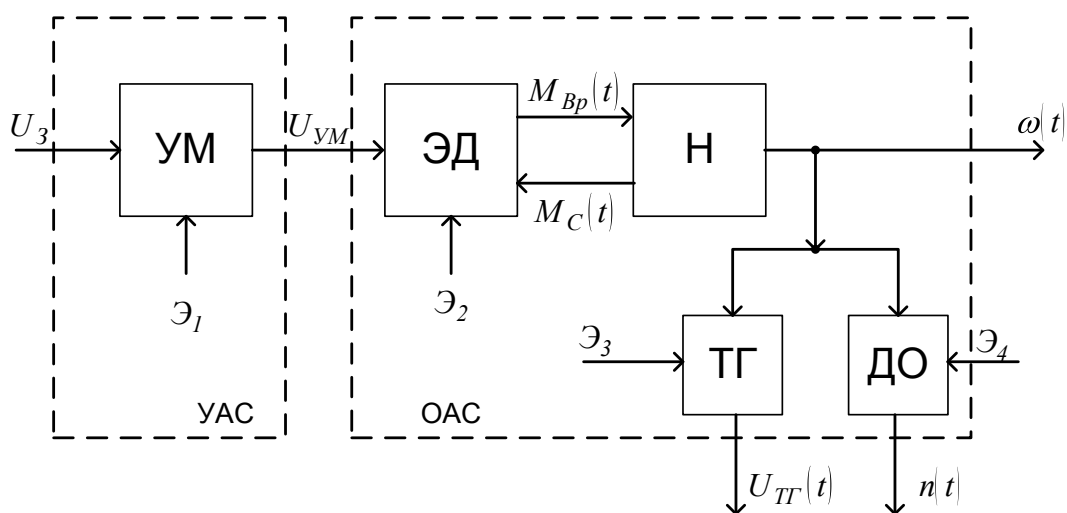


Рисунок 4.1 – Функциональная схема разомкнутой САС

На рис. 4.1 приняты следующие обозначения:

УМ – усилитель мощности;

ЭД – электродвигатель СЛ-267;

ТГ – тахогенератор;

UUM – напряжение усилителя мощности, В;

$\omega(t)$  – угловая скорость, 1/с.

На рис. 4.2 показана принципиальная схема соединения исследуемых функциональных элементов.

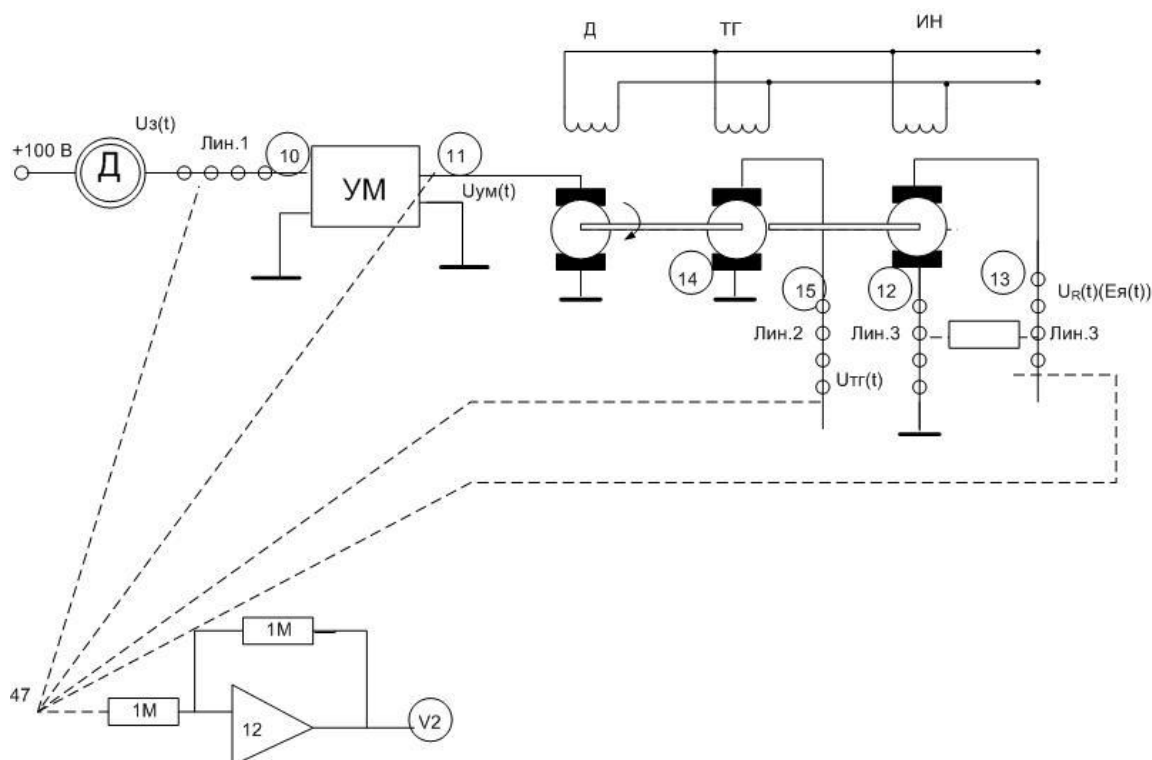


Рисунок 4.2 – Принципиальная схема исследуемой САС

Частотная характеристика – это реакция системы в установившемся режиме на синусоидальный входной сигнал при изменении его частоты во всем возможном диапазоне.

Амплитудно-частотные характеристикой (АЧХ) линеаризованного объекта исследования называется зависимость отношения амплитуды выходного гармонического сигнала к амплитуде входного гармонического сигнала от частоты.



Фазо-частотная характеристика (ФЧХ) линеаризованного объекта исследования представляет зависимость разности фаз выходного и входного гармонического сигнала от частоты.

Для сборки схемы использовать рекомендации, представленные в лабораторной работе №1.

### Выполнение работы

1. Экспериментальное получение частотных характеристик разомкнутой САС.

*Согласно варианту задания*, на вход САС подаем гармонический сигнал с амплитудой  $A_{вх} = 1$  В и со смещением  $A_0 = 4$  В. Измерим амплитуду выходного сигнала и сдвиг фаз между входным и выходным сигналом. Остальные величины найдем из соотношений (4.5) и (4.6):

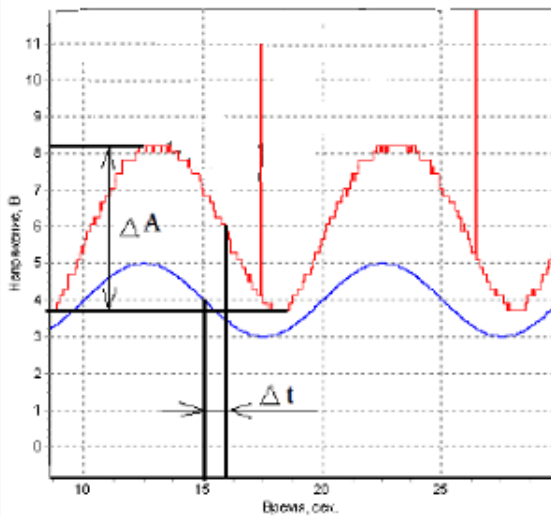
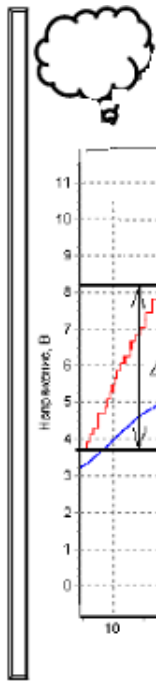
$$\varphi = 360 \cdot t_{\text{зап}} \cdot f; \quad (4.5)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (4.6)$$

Полученные данные занесем в табл. 4.1.

f, Гц	$\omega$ , рад/с	$A_{вх}$ , В	$A_{вых}$ , В	$A = A_{вых} / A_{вх}$	$t_{\text{зап}}$ , с	$\varphi$ , град
0,1						
0,4						
0,6						
0,8						
1						

При заполнении таблицы использовать следующее:



$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 = 0,628 \text{ рад/с};$$

$$A_{\text{облх}} = \frac{\Delta A}{2} = \frac{4,4}{2} = 2,2 \text{ В};$$

$$A = \frac{A_{\text{облх}}}{A_{\text{ex}}} = \frac{2,2}{1} = 2,2;$$

$$t_{\text{зан}} = \Delta t = 1,00 \text{ с};$$

$$\varphi = 360 \cdot t_{\text{зан}} \cdot f = -360 \cdot 1 \cdot 0,1 = -36 \text{ град.}$$

### Расчетная часть

Используя полученную в результате экспериментов амплитудно-частотную характеристику, определить оценочные значения параметров  $\hat{K}$ ,  $\hat{T}_3$ , и передаточной функции САС, которая имеет вид:

$$W_1(s) = \frac{U_{\text{ТГ}}(s)}{U_3(s)} = \frac{K_y K_d K_{\text{ТГ}}}{T_3 s + 1}$$

*! Пример выполнения данного задания находится в лекции № 4 (пункт VI).*

## Лабораторная работа №5

### Экспериментальное исследование замкнутой САС с преобразовательным элементом ПИД-типа

**Цель работы:** экспериментальное определение временных характеристик замкнутой САС, изучение влияния нагрузки на временных характеристики регуляторов ПИД-типа САС, реализующей принцип управления по отклонению.

**Задачи:**

1. Изучение принципов построения регуляторов.
2. Снятие временных характеристик САС.
3. Оценка показателей качества.
4. Построение ЛАЧХ и ЛФЧХ САС.

### Теоретическое введение

Функциональная схема лабораторной САС угловой скорости рабочего механизма приведена на рис. 5.1.

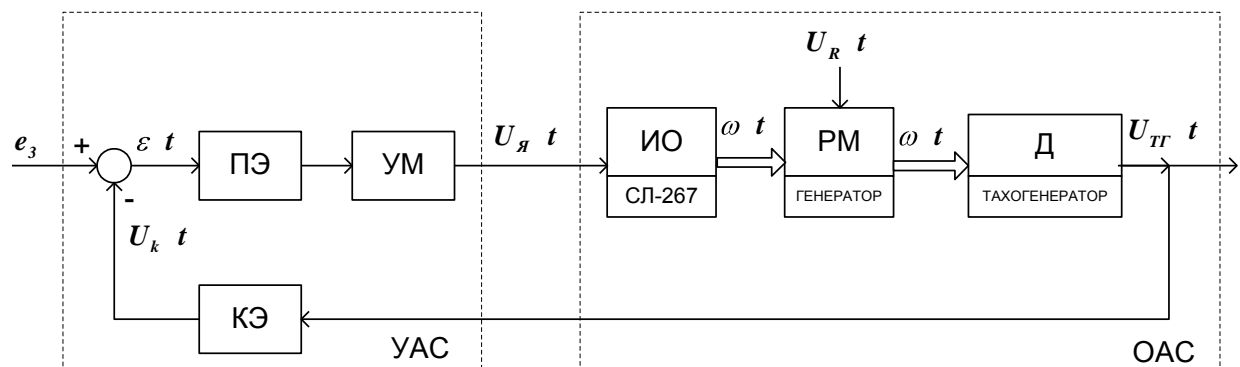


Рисунок 5.1 – Функциональная схема лабораторной САС

Структурная схема лабораторной САС угловой скорости рабочего механизма изображена на рис. 5.2.

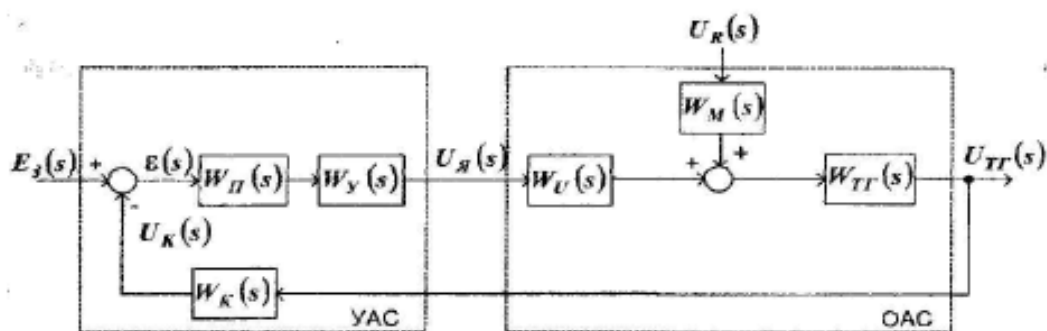


Рисунок 5.2 – Структурная схема лабораторной САС

В последние годы широкое распространение в теории и практике автоматического управления получила ПИД-структура преобразовательного элемента. На стенде ПИД – регуляторы реализуются с помощью операционных усилителей (рис. 5.3).

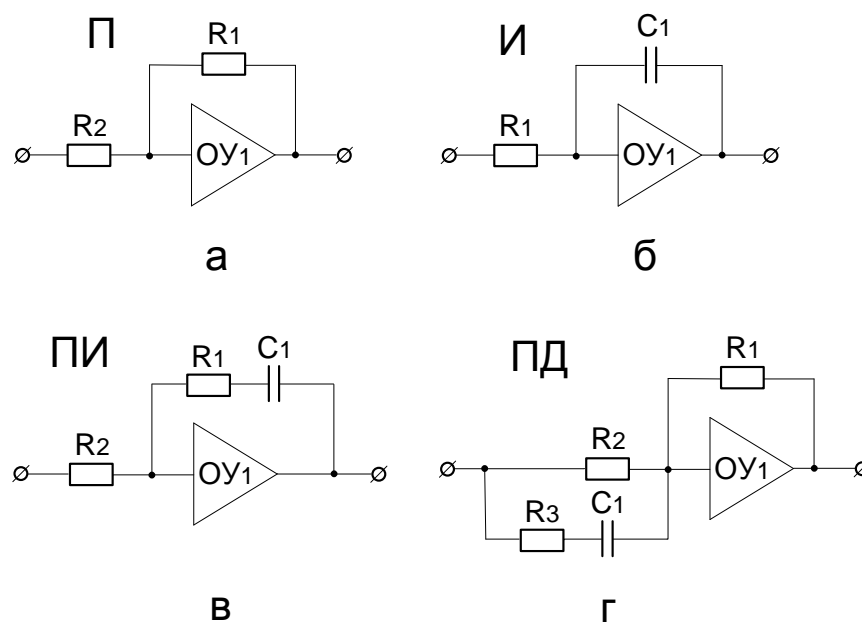


Рисунок 5.3 – Реализация законов управления с помощью операционных усилителей

Передаточная функция П-регулятора (рис. 5.3 а):

$$W_{\Pi}(s) = K_{\Pi} = \frac{R_1}{R_2}.$$

Передаточная функция И-регулятора (рис. 5.3 б):

$$W_I(s) = \frac{K_I}{s} = \frac{1}{sC_1R_1},$$

откуда коэффициент передачи И-регулятора:  $K_I = \frac{1}{C_1R_1}$ .

Передаточная функция ПИ-регулятора (рис. 5.3 в):

$$W_{PI}(s) = \frac{K_{PI}(Ts + 1)}{s} = \frac{(C_1R_1s + 1)}{C_1R_2s},$$

откуда коэффициент передачи ПИ-регулятора  $K_{PI} = \frac{1}{C_1R_2}$ ,  $T = C_1R_1$ .

Ввиду того, что режим дифференцирования при моделировании на операционных усилителях не используется из-за сильного влияния высокочастотных помех и наводок, вместо передаточной функции ПД-регулятора  $W_{PD}(s) = K_{PD}(T_Ds + 1)$  используется передаточная функция ПД-регулятора с замедлением (рис. 5.3 г):

$$W_{PD}(s) = \frac{K_{PD}(T_Ds + 1)}{T_1s + 1} = \frac{R_1(C_1(R_3 + R_2)s + 1)}{R_2(R_3C_1s + 1)},$$

откуда  $K_{PD} = \frac{R_1}{R_2}$ ,  $T_D = C_1(R_3 + R_2)$ ,  $T_1 = R_3C_1$ .

Передаточные функции регуляторов, используемых в лабораторной работе

Передаточная функция П-регулятора:

$$W_P(s) = K_P = 2.$$

Передаточная функция ПИ-регулятора:

$$W_{PI}(s) = \frac{K_{PI}(Ts + 1)}{s} = \frac{4(0,1s + 1)}{s}.$$

Передаточная функция ПД-регулятора:

$$W_{PD}(s) = \frac{K_{PD}(T_Ds + 1)}{T_1s + 1} = \frac{2(0,5s + 1)}{(0,01s + 1)}.$$

## Выполнение работы

Для сборки схем моделирования выполнить следующие шаги

### 1 Привести стенд в исходное состояние

### 2 Проверка проводников на работоспособность:

- а) включить тумблер «Сеть»;
- б) предел измерения вольтметра V2 поставить на 100В (тумблер, расположенный справа сверху от вольтметра, перевести в верхнее положение);
- в) полярность вольтметра V2 поставить на «+» (тумблер, расположенный справа внизу от вольтметра, перевести в правое положение);
- г) один конец проверяемого проводника вставить в гнездо V2, а второй в гнездо «+100В»;
- д) если стрелка вольтметра отклонилась вправо, то проводник цел и его можно использовать для набора схемы;
- е) отобрать таким образом 15 исправных проводников;
- ж) неисправные проводники откладывать в сторону и в конце пары отдать ответственному по лабораториям.

### 3 Сборка схемы

Схема сборки замкнутой САС с П-регулятором представлена на рис. 5.1.

Примечание: при сборке схемы использовать линейки, расположенные максимально близко от гнезд, которые с ними соединяются.

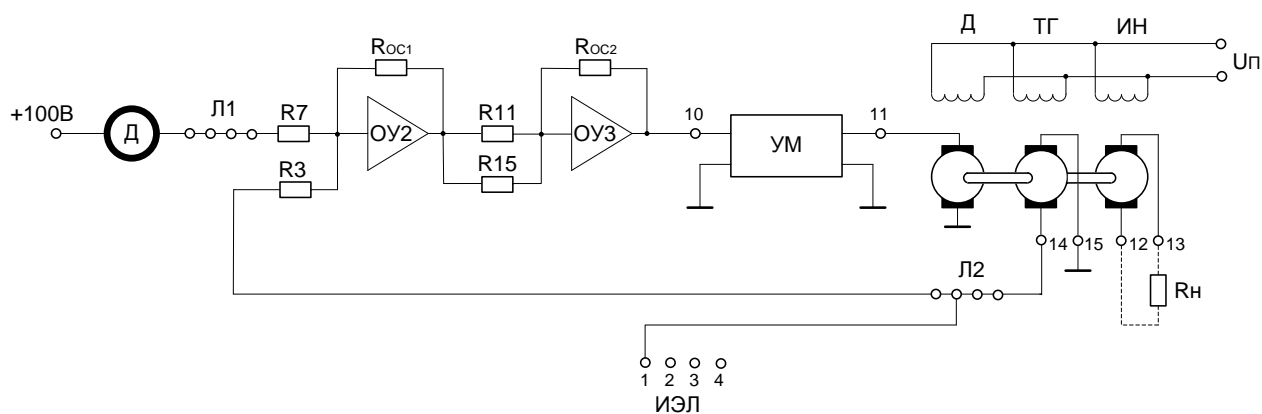


Рисунок 5.4 – Схема сборки замкнутой САС с П-регулятором

Алгоритм сборки схемы:

- а) соединить гнездо «+100В» со входом делителя;
- б) соединить выход делителя с линейкой 1 (Л1);
- в) соединить Л1 со входом резистора 7 (гнездо 7 в квадрате гнезд «ВХОДЫ»);
- г) выход резистора 7 соединить со входом операционного усилителя 2 (ОУ2);
- д) проверить, чтобы в обратной связи ОУ2 был подключен резистор 1МОм;
- е) выход ОУ2 соединить со входом резистора 11 (гнездо 11 в квадрате гнезд «ВХОДЫ»);
- ж) выход резистора 11 соединить со входом операционного усилителя 3 (ОУ3);
- з) выход ОУ2 соединить со входом резистора 15 (гнездо 15 в квадрате гнезд «ВХОДЫ»);
- и) выход резистора 15 соединить со входом операционного усилителя 3 (ОУ3);
- й) проверить, чтобы в обратной связи ОУ3 был подключен резистор 1МОм;

к) соединить выход ОУ3 со входом усилителя мощности (гнездо 10 «ВНЕШНЯЯ АППАРАТУРА»);

л) гнездо 15 «ВНЕШНЯЯ АППАРАТУРА» соединить с землей;

м) гнездо 14 «ВНЕШНЯЯ АППАРАТУРА» соединить с линейкой 2 (Л2);

н) соединить Л2 со входом резистора 3;

о) выход резистора 3 соединить со входом ОУ2;

п) линейку Л2 соединить с первым входом осциллографа.

#### **4 Подготовка вольтметра к измерению напряжения:**

а) выход ОУ12 соединить со входом вольтметра V2;

б) проверить, чтобы в обратной связи ОУ12 был подключен резистор 1МОм;

в) выход резистора 47 соединить со входом ОУ12;

г) вход резистора 47 теперь будет измерительным входом вольтметра (гнездо 47 в квадрате гнезд «ВХОДЫ»). Для измерения напряжения в какой-либо точке наборного поля необходимо соединить ее со входом резистора 47.

д) предел измерения вольтметра V2 поставить на 10В (тумблер, расположенный справа вверху от вольтметра, перевести в нижнее положение);

е) полярность вольтметра V2 поставить на «-» (тумблер, расположенный справа внизу от вольтметра, перевести в левое положение).

### **5 Проведение экспериментов**

#### **5.1 Подготовка:**

а) включить усилитель мощности (тумблер «УМ» перевести в верхнее положение);

б) соединить вход резистора 47 с Л1 для измерения заданного напряжение;



в) задать с помощью ручек делителя напряжение рабочей точки. Значение взять из ЛРН<sub>3</sub>.

### **5.2 Настройка осциллографа:**

а) включить на осциллографе тумблер «Сеть» (перевести его в верхнее положение);

б) включить тумблер «Коммутация»;

в) дождаться появления светлой бегущей точки (луча) на экране осциллографа;

г) используя ручки «Смещение X» и «Масштаб X» добиться того, чтобы луч перемещался от крайнего левого конца экрана к правому крайнему концу;

д) используя две ручки, расположенные под надписью «время развертки сек.» добиться того, чтобы луч перемещался по горизонтали со скоростью 1 клетка в секунду. Для этого выставить левый переключатель в положение «1..10» и плавно изменяя положение правого регулятора достичь нужной скорости перемещения луча;

е) используя ручку «Смещение Y» сместить луч на верхнюю линию сетки экрана осциллографа;

з) измерить вольтметром V2 напряжение тахогенератора –  $U_{ТГ}$  (соединить вход резистора 47 с выходом Л2);

и) используя ручку «Масштаб Y» добиться того, чтобы на экране осциллографа количество клеток по вертикали между двумя лучами соответствовало измеренному значению  $U_{ТГ}$ . Таким образом выставляется масштаб по вертикали 1 Вольт на клетку.

### **5.3 Снятие переходных процессов по управлению и возмущению с П-регулятором:**

а) отключить гнездо «+100В» от входа делителя;

б) соединить гнездо «+100В» со входом делителя;

- в) зарисовать на миллиметровке график переходного процесса по управлению, полученный на осциллографе;
- г) подключить нагрузку (резистор нагрузки подключить к гнездам 12, 13 «ВНЕШНЯЯ АППАРАТУРА»);
- д) зарисовать на миллиметровке график переходного процесса по возмущению, полученный на осциллографе;
- е) отключить нагрузку (отсоединить резистор нагрузки);
- з) показатели качества переходных процессов занести в таблицу (см. табл. 5.1 в эталонном отчете по лабораторной работе №5)

#### 5.4 Снятие переходных процессов замкнутой САС по управлению и возмущению с ПИ-регулятором:

Схема сборки замкнутой САС с ПИ-регулятором представлена на рис. 5.5.

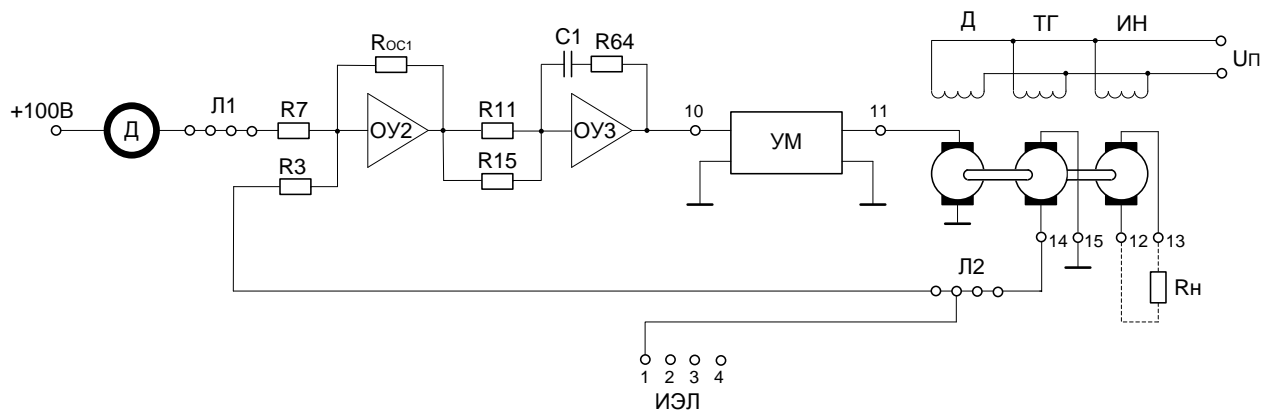


Рисунок 5.5 – Схема сборки замкнутой САС с ПИ-регулятором

Алгоритм изменения схемы и проведения экспериментов:

- а) выключить тумблер «УМ»;
- б) вытянуть скобу из обратной связи ОУ3;
- в) соединить вход ОУ3 с конденсатором 0,5 мкФ в крайней правой части наборного поля (гнездо 55);

- г) соединить второй конец используемого конденсатора с резистором 0,2 МОм в крайней правой части наборного поля (гнездо 64);
- д) соединить второй конец резистора 0,2 МОм с выходом ОУ3;
- е) включить тумблер «УМ»;
- ж) получить графики переходных процессов по управлению и возмущению, используя п. 5.3.

### 5.5 Снятие переходных процессов замкнутой САС по управлению и возмущению с ПД-регулятором:

Схема сборки замкнутой САС с ПД-регулятором представлена на рис. 5.6.

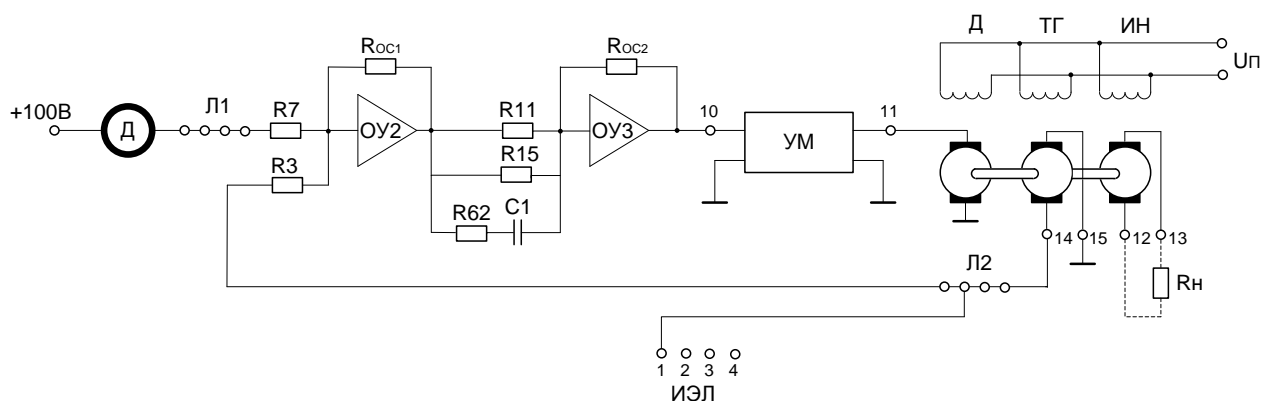


Рисунок 5.6 – Схема сборки замкнутой САС с ПД-регулятором

Алгоритм изменения схемы и проведения экспериментов:

- а) выключить тумблер «УМ»;
- б) отсоединить конденсатор из обратной связи ОУ3;
- в) отсоединить резистор 0,2 МОм от конденсатора и от входа ОУ3;
- г) подключить в обратную связь ОУ3 резистор 1МОм;
- д) соединить выход ОУ2 с резистором 0,02 МОм в крайней правой части наборного поля (гнездо 62);
- е) соединить второй вывод резистора 0,02 МОм с конденсатором 0,5 мкФ;

- ж) соединить второй вывод конденсатора 0,5 мкФ со входом ОУЗ;
- з) включить тумблер «УМ»;
- и) получить графики переходных процессов по управлению и возмущению, используя п. 5.3.

По проведенным экспериментам заполнить таблицу 5.1

Таблица 5.1 – Оценка показателей качества функционирования САС

Тип регулятора	$t_{\text{пп}}^u, \text{с}$	$\sigma^u, \%$	$\square^u, \text{В}$	$t_{\text{пп}}^f, \text{с}$	$\sigma^f, \%$	$\square^f, \text{В}$
П						
ПИ						
ПД						

### Расчетная часть

Получить передаточные функции **разомкнутой** САС с разными типами регуляторов (П, ПИ, ПД) и для каждой из них построить ЛАЧХ и ЛФЧХ. Все ЛАЧХ строить асимптотическим методом. По полученным характеристикам для каждого случая определить частоту среза, полосу пропускания, запасы устойчивости по амплитуде и по фазе.

*Показатели качества необходимо оформить в виде таблицы, приведенной ниже. (табл. 5.2)*

Таблица 5.2 – Показатели качества функционирования САС

Тип регулятора	Запас по фазе Фз, град	Запас по амплитуде Лз, дБ	Полоса пропускания $\omega_{\text{пр}}$ , рад/с	Частота среза $\omega_{\text{ср}}$ , рад/с
П				
ПИ				
ПД				