

**Кафедра автоматизированного электропривода  
и электротехники**

# **ЭЛЕКТРОПРИВОД**

## **ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ**

**Санкт-Петербург  
2014**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ РАСТИТЕЛЬНЫХ  
ПОЛИМЕРОВ»**

---

**Кафедра автоматизированного электропривода  
и электротехники**

# **ЭЛЕКТРОПРИВОД**

## **ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ**

**Санкт-Петербург  
2014**

Электропривод: лабораторные работы / В.И. Королев, В.П. Николаев - СПб.: СПбГТУРП, 2014. -43с.

Настоящие лабораторные работы составлены применительно к условиям работы в лаборатории электропривода СПбГТУРП в соответствии с программой курса «Электропривод» для студентов институтов: «Энергетика и автоматизация», «Технология» специальностей: 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника» и 151000.62 «Технологические машины и оборудование» для студентов СПбГТУРП.

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент, кафедры автоматизированного электропривода и электротехники Санкт-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров В.К.Пономаренко;

канд. техн. наук, доцент, ведущий инженер ООО НПО «СПб ЭК» Е.Н. Ковалев

Подготовлены и рекомендованы к печати кафедрой автоматизированного электропривода и электротехники Санкт-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров (протокол № 5 от 20.12.2013 г.).

Утверждены к изданию методической комиссией факультета автоматизированных систем управления технологическими процессами (протокол № 4 от 16.01. 2014 г.).

© Королев В.И., Николаев В.П.,  
2014

© Санкт-Петербургский  
государственный технологический  
университет растительных полимеров,  
2014

## Содержание

|                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Лабораторная работа № 1.</b> Исследование механических характеристик системы генератор-двигатель.....                                                     | 4  |
| <b>Лабораторная работа №2.</b> Исследование характеристик системы электропривода тиристорный преобразователь- двигатель (ТП-Д).....                          | 11 |
| <b>Лабораторная работа № 3.</b> Опытное определение характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в двигательном и тормозном режимах..... | 19 |
| <b>Лабораторная работа № 4.</b> Исследование системы электропривода магнитный усилитель- асинхронный двигатель с обратной связью по скорости.....            | 26 |
| <b>Лабораторная работа № 5.</b> Исследование системы многодвигательного электропривода БМ с общим преобразователем...                                        | 33 |
| <b>Лабораторная работа № 6.</b> Автоматический пуск двигателя постоянного тока параллельного возбуждения в функции тока.....                                 | 38 |

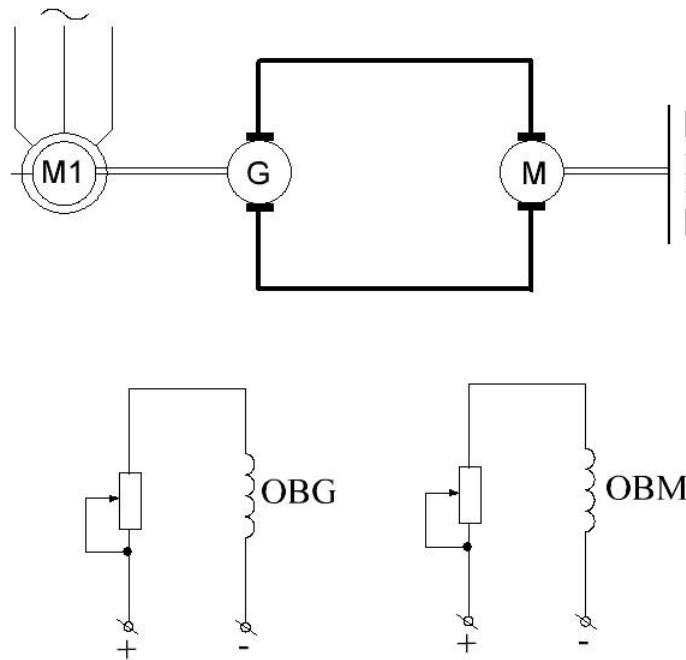
# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

## Исследование механических характеристик системы генератор-двигатель

**Цель работы :** экспериментальное изучение регулировочных свойств двигателя постоянного тока с независимым возбуждением в системе генератор-двигатель (Г-Д).

### Основные теоретические сведения

На рис. 1 показана упрощенная принципиальная схема системы, которая позволяет в широких пределах регулировать скорость двигателя с независимым возбуждением.



**Рис.1. Функциональная схема системы Г-Д**

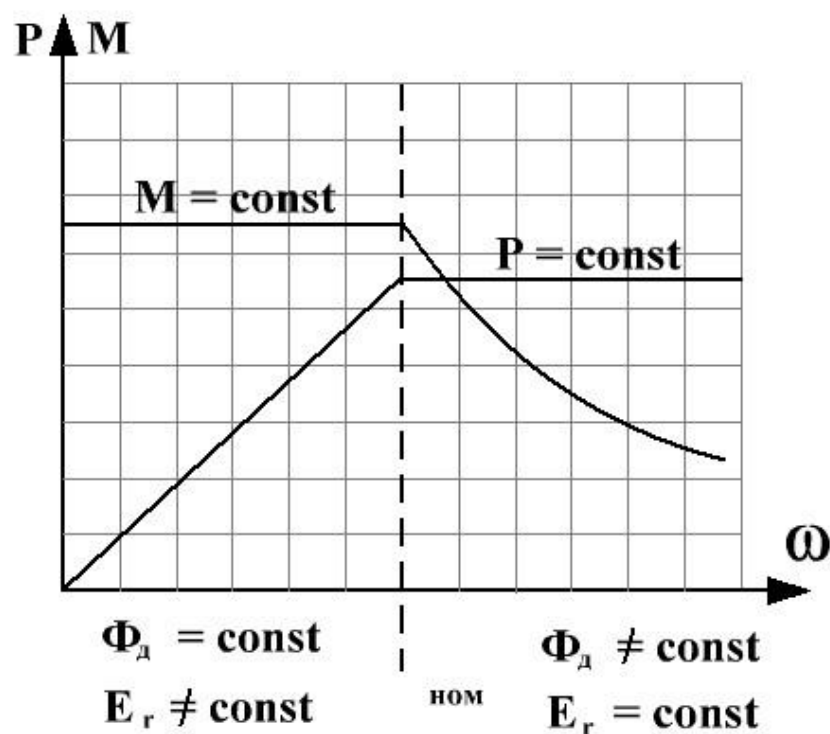
Генератор  $G$ , вращаемый асинхронным двигателем  $M_1$ , питает двигатель  $M$ ; обмотки возбуждения генератора ( $OBG$ ) и двигателя ( $OBM$ ) получают питание от сети постоянного тока.

Уравнение электромеханической характеристики, то есть, зависимость скорости двигателя  $\omega$  от тока якоря  $I_{я}$  в такой системе:

$$\omega = \frac{E_{\Gamma}}{k\Phi} - \frac{R_{яц}}{k\Phi} I_{я},$$

где  $E_r$  – ЭДС генератора;  $k$  – конструктивная постоянная двигателя;  $\Phi$  – магнитный поток обмотки возбуждения двигателя;  $R_{яц} = R_{яг} + R_{яд} + R_{пр}$  – сопротивление якорной цепи, включающее сопротивление якоря генератора  $R_{яг}$ ; сопротивление якоря двигателя –  $R_{яд}$  и сопротивление соединительных проводов –  $R_{пр}$ . Приведенное уравнение показывает, что скорость двигателя можно регулировать как изменением ЭДС генератора, так и изменением магнитного потока двигателя.

Регулирование скорости изменением ЭДС генератора выполняется при неизменном значении магнитного потока возбуждения двигателя. При неизменном значении тока якоря двигателя  $I_{я}$  такое регулирование обеспечивает постоянство момента, развиваемого двигателем, поскольку электромагнитный момент двигателя равен  $M = k\Phi I_{я}$ . Регулирование скорости изменением магнитного потока выполняется при неизменном значении ЭДС генератора. Поэтому при  $I_{я} = const$  такое регулирование обеспечивает постоянство мощности, развиваемой двигателем, так как  $P = U_{я} I_{я} = const$ . Примерный вид зависимостей мощности и момента от скорости при  $I_{я} = const$  показан на рис. 2.

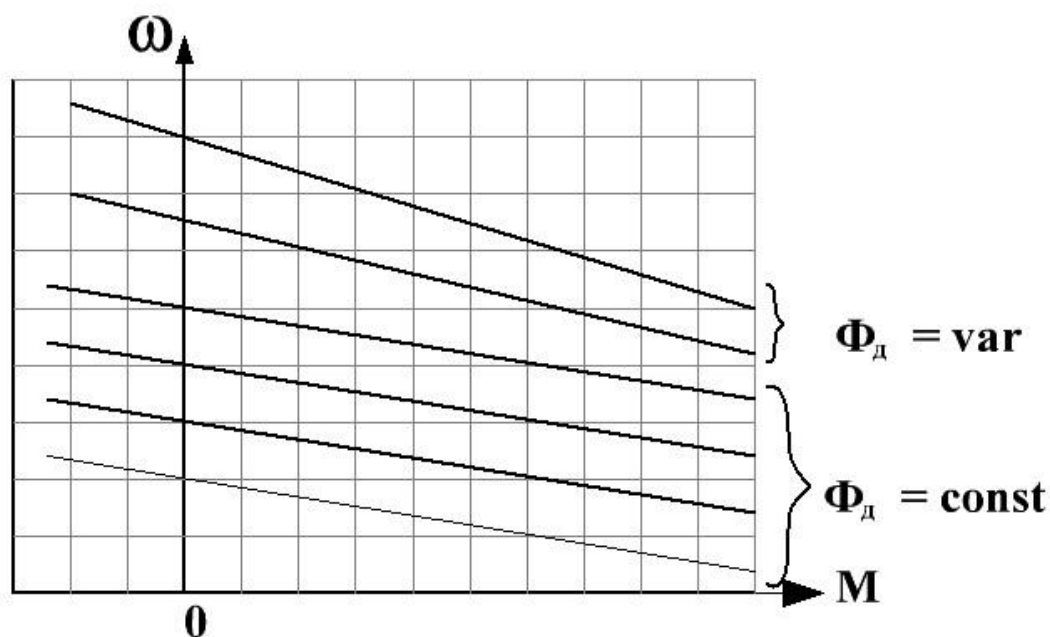


**Рис.2. Графики зависимости  $P = f(\omega)$  и  $M = f(\omega)$**

Уравнение механической характеристики двигателя в системе генератор-двигатель

$$\omega = \frac{E_r}{k\Phi} - \frac{R_{яц}}{k^2\Phi^2} M.$$

График механических характеристик  $\omega = f(M)$  показан на рис.3.



**Рис.3. Механические характеристики двигателя в системе Г-Д**

Уравнение механической характеристики и графики на рис.3 показывают, что наклон механических характеристик зависит от сопротивления цепи  $R_{яц}$  и значения магнитного потока возбуждения двигателя  $\Phi$ .

### **Описание лабораторной установки**

Принципиальная схема лабораторной установки для исследования системы генератор-двигатель показана на рис. 4. В качестве нагрузки двигателя используется электромагнитный тормоз  $YA$ , катушка возбуждения которого как и обмотки возбуждения генератора и двигателя питается постоянным напряжением от выпрямительного моста  $V1 \div V4$ .

Пуск системы производится в такой последовательности: включается автомат  $QF1$  и устанавливается максимальный ток в обмотке возбуждения двигателя и минимальный ток в обмотке возбуждения генератора; рубильник  $Q2$  должен находиться в разомкнутом положении. Нажатием кнопки пуск «П» подключается к сети асинхронный двигатель  $M1$ , и при минимальном напряжении на зажимах якоря генератора замыкается рубильник  $Q1$ , соединяющий цепь якоря генератора и двигателя. Увеличивая ток обмотки возбуждения генератора (реостат  $R1$ ), повышают ЭДС генератора и устанавливают необходимую скорость двигателя в пределах до номинального



значения. Увеличение скорости больше номинальной достигается уменьшением тока обмотки возбуждения двигателя (реостат R2).

Изменение нагрузки двигателя достигается изменением тока в обмотке электромагнитного тормоза реостатом R3 (после замыкания рубильника Q2).

## Порядок выполнения работы

### 1. Опытное определение зависимостей $M = f(\omega)$ и $P = f(\omega)$ .

После пуска двигателя до скорости, равной, примерно 20 %  $\omega_{\text{ном}}$ , замыкается рубильник Q2 и по указанию преподавателя с помощью реостата R3 устанавливается ток в цепи якоря двигателя, равный  $(0,3 \div 0,5) I_{\text{ном}}$ . Величина тока якоря в процессе проведения опыта должна поддерживаться неизменной. При неизменном значении тока возбуждения двигателя с помощью реостата R1 увеличивают ток возбуждения генератора, а стало быть ЭДС генератора и скорость двигателя. Такое регулирование скорости, когда изменяется только ЭДС генератора при неизменном магнитном потоке двигателя, соответствует работе двигателя при постоянном моменте.

После достижения двигателем номинальной скорости дальнейшее ее увеличение обеспечивается с помощью реостата R2 уменьшением магнитного потока обмотки возбуждения двигателя при неизменных значениях ЭДС генератора и тока якоря. При этом мощность двигателя остается приблизительно постоянной.

По данным опыта заполняется таблица 1.

Определение зависимостей  $M = f(\omega)$  и  $P = f(\omega)$

Таблица 1

| Опытные данные |                |       |       |        | Расчетные данные |                 |                               |     |     |
|----------------|----------------|-------|-------|--------|------------------|-----------------|-------------------------------|-----|-----|
| $U$            | $I_{\text{я}}$ | $i_1$ | $i_2$ | $n$    | $\omega$         | $UI_{\text{я}}$ | $I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}}$ | $P$ | $M$ |
| В              | А              | А     | А     | об/мин | рад/с            | Вт              | Вт                            | Вт  | Нм  |
|                |                |       |       |        |                  |                 |                               |     |     |

### 2. Опытное определение механических характеристик $\omega = f(M)$ .

Механические характеристики  $\omega = f(M)$  должны быть сняты для двух значений ЭДС генератора (по указанию преподавателя) при номинальном потоке возбуждения двигателя и одна механическая характеристика с ослабленным потоком возбуждения.

По данным опыта заполняется таблица 2.

### Определение механических характеристик

Таблица 2

| Опытные данные |                |       |       |        | Расчетные данные |                 |                               |     |     |
|----------------|----------------|-------|-------|--------|------------------|-----------------|-------------------------------|-----|-----|
| $U$            | $I_{\text{я}}$ | $i_1$ | $i_2$ | $n$    | $\omega$         | $UI_{\text{я}}$ | $I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}}$ | $P$ | $M$ |
| В              | А              | А     | А     | об/мин | рад/с            | Вт              | Вт                            | Вт  | Нм  |
|                |                |       |       |        |                  |                 |                               |     |     |

#### Обработка результатов опыта

Для каждой точки наблюдений по опытными данным определяется электромагнитная мощность и электромагнитный момент.

Электромагнитный момент в Нм определяется по формуле:

$$M = \frac{P}{\omega},$$

где  $P$  – электромагнитная мощность, Вт;  $\omega = \pi n / 30$  – скорость двигателя, рад/с.

Электромагнитная мощность определяется по формуле:

$$P = UI_{\text{я}} - I_{\text{я}}^2 R_{\text{я}},$$

где  $U, I_{\text{я}}$  – напряжение и ток двигателя;  $R_{\text{я}} = 0,95$  Ом - сопротивление якоря двигателя.

### Содержание отчета

В отчете должна быть представлена принципиальная электрическая схема лабораторной установки системы генератор- двигатель. По опытными и расчетными данным в табл. 1 на графике 12 построить зависимости  $M = f(\omega)$  и  $P = f(\omega)$ . По опытными и расчетными данным табл. 2 на графике 2 построить механические характеристики системы генератор- двигатель.

В отчете должны быть приведены номинальные данные используемых машин и параметры измерительных приборов.

### Вопросы для самоподготовки

1. Как производится пуск двигателя в системе генератор- двигатель?
2. Как можно регулировать скорость двигателя в системе генератор- двигатель?
3. Как создается момент нагрузки двигателя в исследуемой установке?

4. Как выполнить регулирование скорости при неизменном моменте нагрузки?
5. Как выполнить регулирование скорости при неизменной мощности нагрузки?
6. Что называют механической характеристикой двигателя?
7. Как нужно понимать зависимости  $M = f(\omega)$  и  $P = f(\omega)$  для системы генератор-двигатель?
8. Как по данным опыта определить электромагнитную мощность двигателя?
9. Как по данным опыта определить электромагнитный момент двигателя?
10. Что произойдет со скоростью двигателя, если уменьшить сопротивление  $R_1$ ?
11. Что произойдет со скоростью двигателя, если уменьшить сопротивление  $R_2$ ?
12. Что произойдет со скоростью двигателя, если уменьшить сопротивление  $R_3$ ?

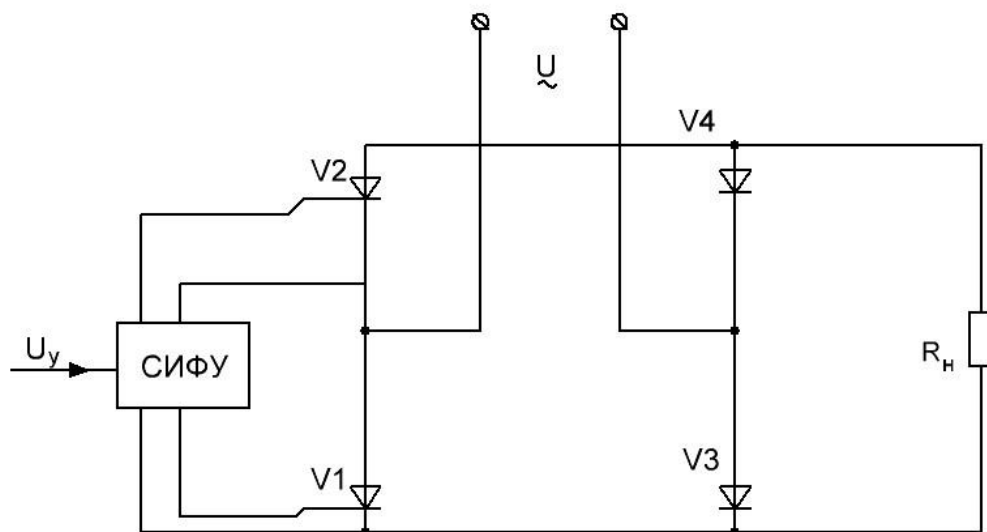
## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### Исследование характеристик системы электропривода тиристорный преобразователь- двигатель (ТП-Д)

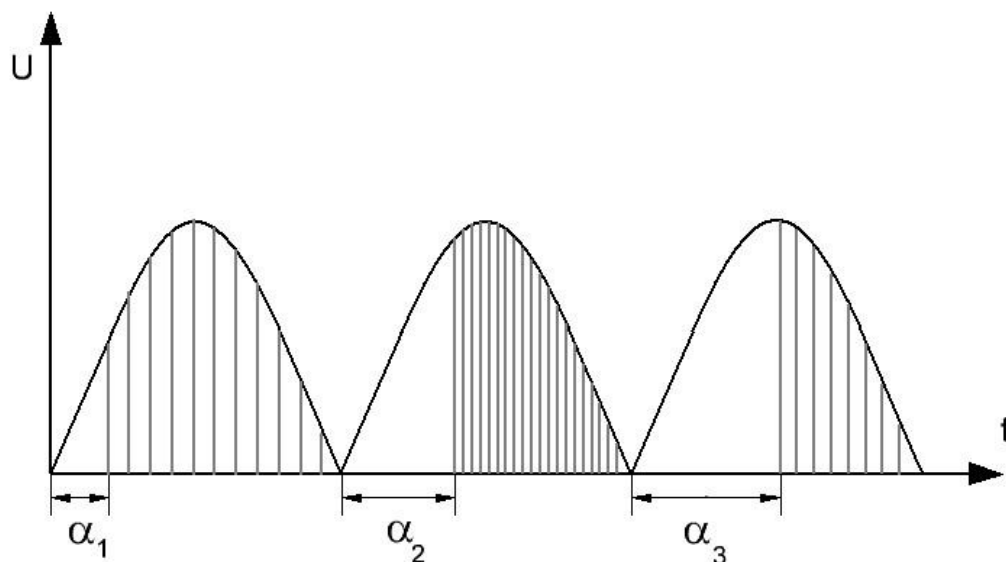
**Цель работы:** изучение влияния обратной связи по скорости на жесткость механических характеристик двигателя постоянного тока (ДПТ).

#### Основные теоретические сведения

Основным типом преобразователей, применяемых в регулируемом электроприводе постоянного тока, являются полупроводниковые статические преобразователи. Они представляют собой управляемые реверсивные или нереверсивные выпрямители, собранные по нулевой или мостовой однофазной или трехфазной схеме. Упрощение схемы управления преобразователем и уменьшение стоимости мостовых схем достигается включением тиристора только в одно плечо моста, в другое плечо моста включаются диоды. Такие схемы получили название несимметричных или полууправляемых. На рис.5 показана однофазная мостовая несимметричная схема тиристорного преобразователя, в качестве нагрузки преобразователя показано активное сопротивление  $R_H$ . Преобразователь имеет два тиристора  $V1$  и  $V2$ , два диода  $V3$  и  $V4$  и систему импульсно-фазового управления тиристорами – СИФУ. Среднее значение напряжения преобразователя регулируется изменением угла регулирования –  $\alpha$ , представляющего собой угол задержания открытия тиристоров  $V1$  и  $V3$  относительно момента их естественного открытия (рис.6).



**Рис.5. Схема однофазного полууправляемого выпрямителя**



**Рис.6. Временная диаграмма работы управляемого выпрямителя**



**Рис.7. Механические характеристики ДПТ**

Зависимость среднего значения напряжения преобразователя от угла регулирования тиристоров –  $\alpha$  имеет вид:

$$U_d = U_{d0} \frac{1 + \cos \alpha}{2},$$

где  $U_{d0} = 2\sqrt{2}U/\pi$

$U$  - напряжение питающей сети.

Изменение угла регулирования и, следовательно, выходного напряжения преобразователя достигается изменением напряжения управления -  $U_y$ , воздействующего на СИФУ.

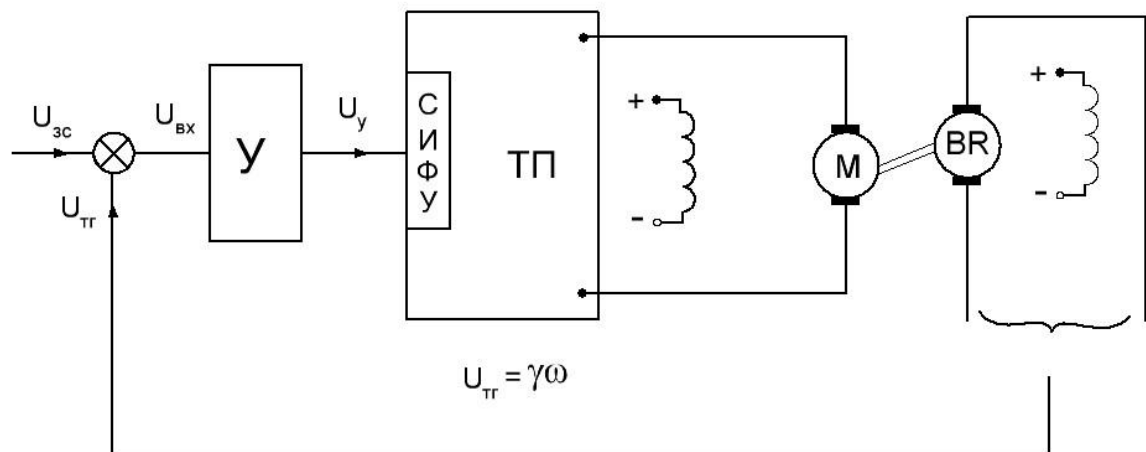
При питании двигателя постоянного тока ДПТ независимого возбуждения от тиристорного преобразователя уравнение механической характеристики будет:

$$\omega = \frac{U_d}{K\Phi} - \frac{R_{яц}}{R^2\Phi^2}M,$$

где  $U_d$  - среднее значение напряжения преобразователя, зависящее от угла регулирования;  $R_{яц} = R_{я} + R_{п}$  - сопротивление якорной цепи, включающее в  $R_{я}$  - сопротивление якоря двигателя и  $R_{п}$  - сопротивление преобразователя;  $K$  - конструктивная постоянная двигателя;  $\Phi$  - магнитный поток обмотки возбуждения двигателя.

Примерный вид механических характеристик двигателя при различных углах регулирования  $\alpha$  показан на рис. 7. Механические характеристики имеют относительно невысокую жесткость ввиду большого сопротивления якорной цепи -  $R_{яц}$ .

Более жесткие механические характеристики двигателя могут быть получены в системе тиристорный преобразователь – двигатель (ТП-Д) при использовании обратных связей по току, напряжению или скорости.



**Рис.8. Функциональная схема системы ТП-Д**

Функциональная схема системы ТП-Д с обратной связью по скорости показана на рис. 8. Якорь двигателя  $M$  получает питание от тиристорного преобразователя ТП, с валом двигателя соединены тахогенератор –  $BR$ , напряжение которого пропорционально скорости –  $U_{тг} = \gamma\omega$ . Разность напряжения задания скорости –  $U_{зс}$  и напряжения тахогенератора –  $U_{тг}$  подается на вход усилителя –  $У$ ,  $U_{вх} = U_{зс} - U_{тг}$ .

Напряжение на выходе усилителя –  $U_y$  воздействует через СИФУ на выходное напряжение тиристорного преобразователя (напряжение двигателя).

Без обратной связи напряжение преобразователя зависит от задающего напряжения  $U_{zc}$  и не регулируется при изменении момента на валу двигателя и, следовательно, его скорости вращения. С обратной связью по скорости увеличение момента на валу двигателя приводит, как и без обратной связи к уменьшению скорости вращения двигателя и, следовательно, к уменьшению напряжения техогенератора –  $U_{тг}$ .

Это, в свою очередь, приводит к увеличению сигнала рассогласования на входе усилителя  $U_{вх} = U_{zc} - U_{тг}$ , увеличению напряжения на выходе усилителя  $U_y$  и увеличению напряжения на выходе тиристорного преобразователя ТП. При этом скорость двигателя стремится восстановить свое прежнее значение. Однако новое значение скорости будет несколько меньше, чем до увеличения момента. Отклонение скорости от первоначального значения  $\Delta\omega_3$  будет тем меньше, чем больше коэффициент усиления системы. В системе ТП-Д с обратной связью по скорости можно записать:

$$U_{вх} = U_{zc} - U_{тг} = U_{zc} - \gamma\omega;$$

$$U_y = K_y U_{вх} = K_y U_{zc} - K_y \gamma \omega;$$

$$U_d = K_n K_y U_{вх} - K_n K_y \gamma \omega.$$

Подставляя полученное значение  $U_d$  в уравнение механической характеристики двигателя, после несложных преобразований получим:

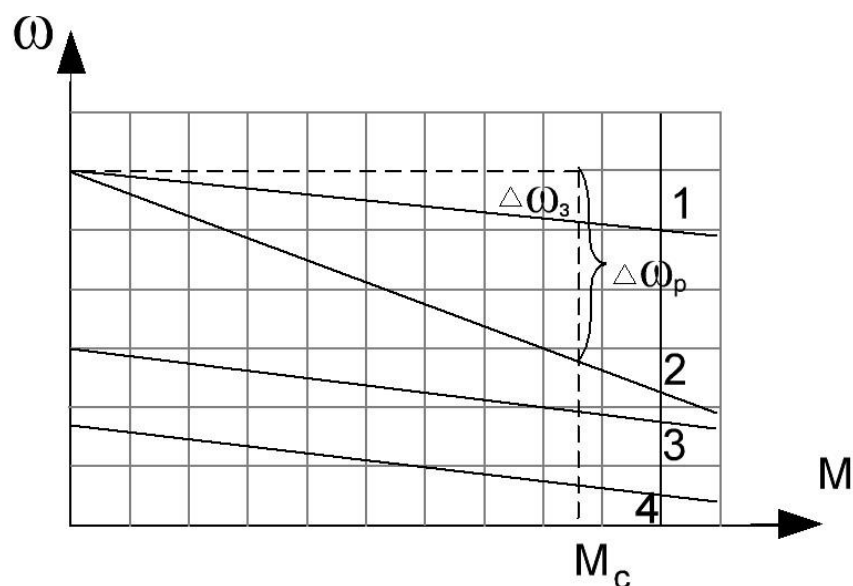
$$\omega = \frac{K_n K_y U_{zc}}{(1 + K_c) K \Phi} - \frac{\Delta\omega_p}{1 + K_c},$$

где  $\Delta\omega_p = R_{яц} / R^2 \Phi^2 M$  – изменение скорости вращения двигателя без обратной связи;

$K_c = K_n K_y \gamma / K \Phi$  – коэффициент усиления системы;

$K_n$  – коэффициент усиления преобразователя.

На рис. 9 показаны механические характеристики двигателя в системе ТП-Д без обратной связи (кривая 2) и с обратной связью (кривая 1), там же показаны характеристики при меньшем значении сигнала  $U_{zc}$  (кривая 3 и 4).



**Рис.9. Механические характеристики ДПТ в системе ТП-Д**

### **Описание лабораторной установки**

Принципиальная схема лабораторной установки для исследования характеристик системы ТП-Д показана на рис. 10. Двигатель  $M$  получает питание от тиристорного преобразователя (ТП), собранного по несимметричной мостовой схеме на двух тиристорах  $V1$  и  $V2$  и двух диодах  $V3$  и  $V4$ . Управление тиристорным преобразователем осуществляется системой импульсно- фазового управления (СИФУ) через усилитель  $У$ . Задание выходного напряжения ТП и, следовательно, скорости двигателя  $M$  осуществляется делителем напряжения  $R1$ , питаемого от стабилизированного источника  $U_{ст}$ .

С валом двигателя  $M$  соединены тахогенератор  $BR$  и нагрузочный генератор  $G$ . Напряжение тахогенератора пропорционально скорости вращения двигателя  $U_{тг} = \gamma\omega$ , оно показывается вольтметром  $P\omega$ , и, кроме того, подается на вход усилителя  $У$  последовательно с задающим напряжением  $U_{зс}$ . Якорь нагрузочного генератора  $G$  замыкается выключателем  $QF2$  на сопротивление нагрузки  $R_n$ . Обмотки возбуждения: двигателя –  $OBG$  получают питание от сети переменного тока через понижающий трансформатор  $T_p$  и выпрямитель  $B$ , собранный по мостовой схеме. Ток обмотки возбуждения нагрузочного генератора  $OBG$  регулируется с помощью делителя напряжения  $R2$ , чем создается различная нагрузка двигателя  $M$ .

Контактор  $K$  служит для подключения тиристорного преобразователя к сети переменного тока. Автоматический выключатель  $QF1$  защищает ТП от недопустимых токов. Защита цепей возбуждения осуществляется плавными предохранителями  $FU$ .

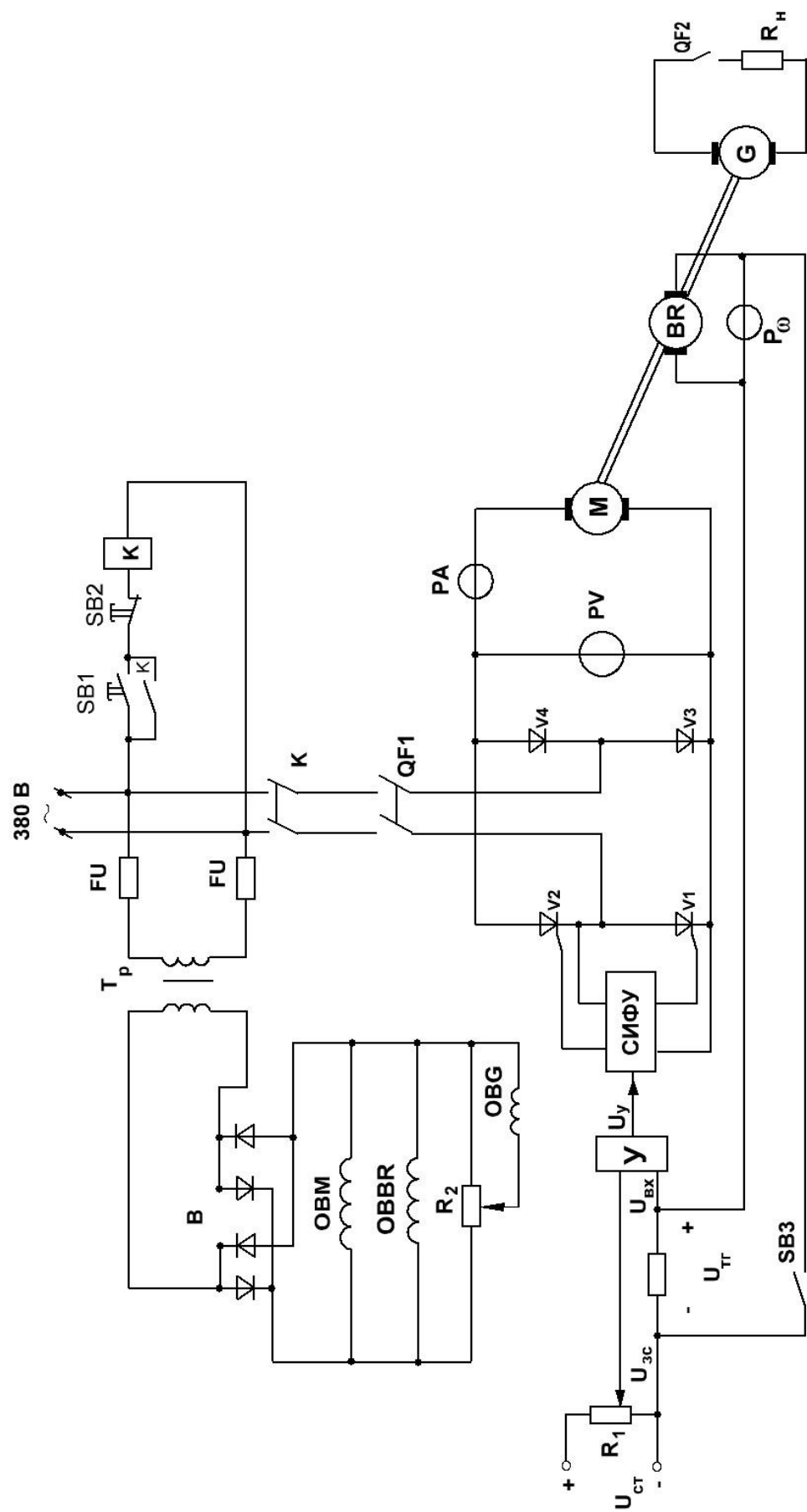


Рис.10. Принципиальная схема установки

## Порядок выполнения работы

1. Опытное определение механических характеристик  $\omega = f(M)$  без обратной связи по скорости.

В этом опыте выключатель  $SB3$  должен оставаться в разомкнутом положении. Движок делителя напряжения  $R1$  установить в нулевое положение (по схеме – нижнее положение); движок делителя  $R2$  – в положении, обеспечивающим минимальную нагрузку двигателя (по схеме – крайне правое положение).

Включить выключатель  $QF1$ ; нажатием кнопки пуск  $SB1$  подключить схему к сети 380 В. Изменяя положение делителя напряжения  $R1$ , установить по указанию преподавателя значение скорости двигателя и записать показания всех приборов в табл. 3. После замыкания выключателя  $QF2$ , изменяя положение делителя напряжения  $R2$ , записать показания измерительных приборов для 6-8 значений тока якоря двигателя.

Механическая характеристика снимается для двух значений скорости по указанию преподавателя.

Таблица 3

| Опытные данные |     |          | Расчетные данные |              |     |          |     | Примечание         |
|----------------|-----|----------|------------------|--------------|-----|----------|-----|--------------------|
| $U$            | $I$ | $U_{тг}$ | $U$              | $I^2 R_{яц}$ | $P$ | $\omega$ | $M$ |                    |
| В              | А   | В        | Вт               | Вт           | Вт  | рад/с    | Нм  |                    |
|                |     |          |                  |              |     |          |     | без обратной связи |
|                |     |          |                  |              |     |          |     | с обратной связью  |

2. Опытное определение механических характеристик с обратной связью.

Включить выключатель  $SB3$ , остальное как в п. 1.

Механические характеристики с обратной связью по скорости снимаются для тех же исходных значений скорости, что и без обратной связи. Данные наблюдений записываются в табл. 3.

## Обработка результатов опыта

Для каждой точки наблюдений опытных данных подсчитывается электромагнитная мощность и электромагнитный момент. Электромагнитный момент в Нм подсчитывается по формуле:

$$M = P / \omega,$$

где  $P$  – электромагнитная мощность, Вт;  $\omega$  – скорость вращения двигателя, рад/с.

Электромагнитная мощность рассчитывается по формуле:

$$P = UI - I^2 R_{яц},$$

где  $U$  – напряжение на зажимах якоря двигателя;  $I$  – ток якоря;  $R_{яц} = 3,0$  Ом – сопротивления якорной цепи.

1 В тахогенератора соответствует скорости – 1,32 рад/с.

## Содержание отчета

В отчете должна быть представлена принципиальная схема установки; по опытным и расчетным данным построить механические характеристики системы ТП-Д.

В отчете должны быть приведены номинальные данные приборов и электрических машин.

## Вопросы для самоподготовки

1. Для какой цепи в системе привода используется тиристорный преобразователь?
2. Как выполнена обратная связь по скорости двигателя?
3. Какое влияние оказывает обратная связь по скорости на механические характеристики двигателя?
4. Как регулируется скорость вращения двигателя в исследуемой системе?
5. Как производится опытное определение механической характеристики?
6. Как производится изменение загрузки двигателя?
7. Как по опытным данным определяется электромагнитный момент двигателя?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### Опытное определение характеристики асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в двигательном и тормозном режимах

**Цель работы:** экспериментальное воспроизведение режимов работы асинхронного двигателя (АД) и построение механической характеристики по экспериментальным данным.

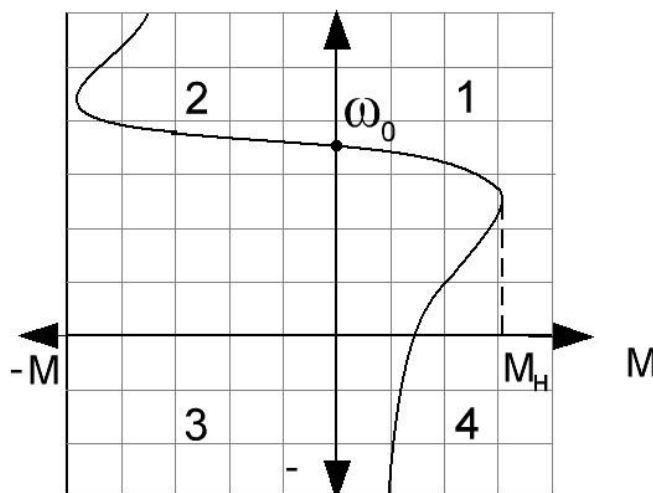
#### Основные теоретические сведения

Механическая характеристика асинхронного двигателя представляет зависимость скорости вращения ротора  $\omega$  от момента на валу  $M$ ,  $\omega = f(M)$ . Примерный вид механической характеристики показан на рис. 11.

Синхронная скорость  $\omega_0$  (скорость вращающегося магнитного поля определяется частотой питающей сети  $f$  и числом пар полюсов  $P$ ):

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{P} \cdot \text{с}^{-1}.$$

В 1-м квадранте [ $\omega_0 > \omega > 0$ ] механическая характеристика соответствует двигательному режиму. Скорость ротора двигателя определяется в зависимости от момента на валу.



**Рис.11. Механические характеристики АД**

При вращении ротора двигателя со скоростью больше синхронной, что может быть обеспечено, например, опускаемым грузом в подъемнике или вспомогательной машиной, асинхронный двигатель переходит в генераторный режим — режим рекуперативного торможения (часть характеристики, лежащая во 2-м квадранте). При работе в этом режиме

направление электромагнитного момента изменяется на обратное по отношению к двигательному режиму. Физически это объясняется тем, что скорость вращения поля статора становится меньше скорости вращения ротора и, следовательно, ЭДС и активная составляющая тока ротора, создающая при взаимодействии с магнитным потоком статора электромагнитный момент, меняет знак. Вследствие этого изменяется знак электромагнитного момента, то есть он действует против направления вращения.

Часть характеристики, расположенная в 4-м квадранте, соответствует режиму противовключения. Этот режим возникает при вращении ротора двигателя в направлении, обратном вращению магнитного поля статора, например, в механизмах подъема, когда груз перетягивает двигатель, включенный на подъем, и начинает его вращать в направлении спуска, или при торможении двигателя путем переключения на обратное вращение (при реверсе двигателя) в той части характеристики для обратного вращения, которая расположена по 2-м квадранте.

### **Описание лабораторной установки**

Для снятия механической характеристики двигателя используется установка, принципиальная схема которой показана на рис. 12.

Испытуемый асинхронный двигатель  $M1$  подключается к сети переменного тока через понижающий автотрансформатор АТр, служащий для уменьшения напряжения питания статора, а, следовательно, и токов обмотки статора.

Реостат  $R1$  и делитель напряжения  $R2$  служат для изменения токов в обмотке возбуждения  $M3$  и  $M4$  и, следовательно, для изменения напряжений на зажимах якорей машин  $M3$  и  $M4$ .

Контакты  $K1$  и  $K2$  служат для подключения обмоток статора двигателей  $M1$  и  $M2$  к трехфазной сети. Автоматические выключатели  $QF1$  и  $QF2$ , включенные в обмотки статора двигателей  $M1$  и  $M2$ , защищают двигатели от недопустимых перегрузок.

Рубильник  $Q$  используется для замыкания цепи якорей вспомогательных машин  $M3$  и  $M4$ ; переключатель  $S1$  – для изменения направления тока в обмотке возбуждения машины  $M4$ , переключатель  $S2$  – для измерения значений напряжений якорных цепей машин  $M3$  и  $M4$  при разомкнутом рубильнике  $Q$ .

Машины постоянного тока  $M3$  и  $M4$  и асинхронный двигатель  $M2$  являются вспомогательными и обеспечивают различные режимы работы испытуемого двигателя. При опытном определении механической характеристики машины, входящие в установку, работают в различных режимах. Так, в режиме рекуперативного торможения испытуемый двигатель, работая генератором, отдает энергию в сеть; вращается он вспомогательной машиной  $M3$ , работающей в режиме двигателя со скоростью большей, чем синхронная скорость испытуемого двигателя. При

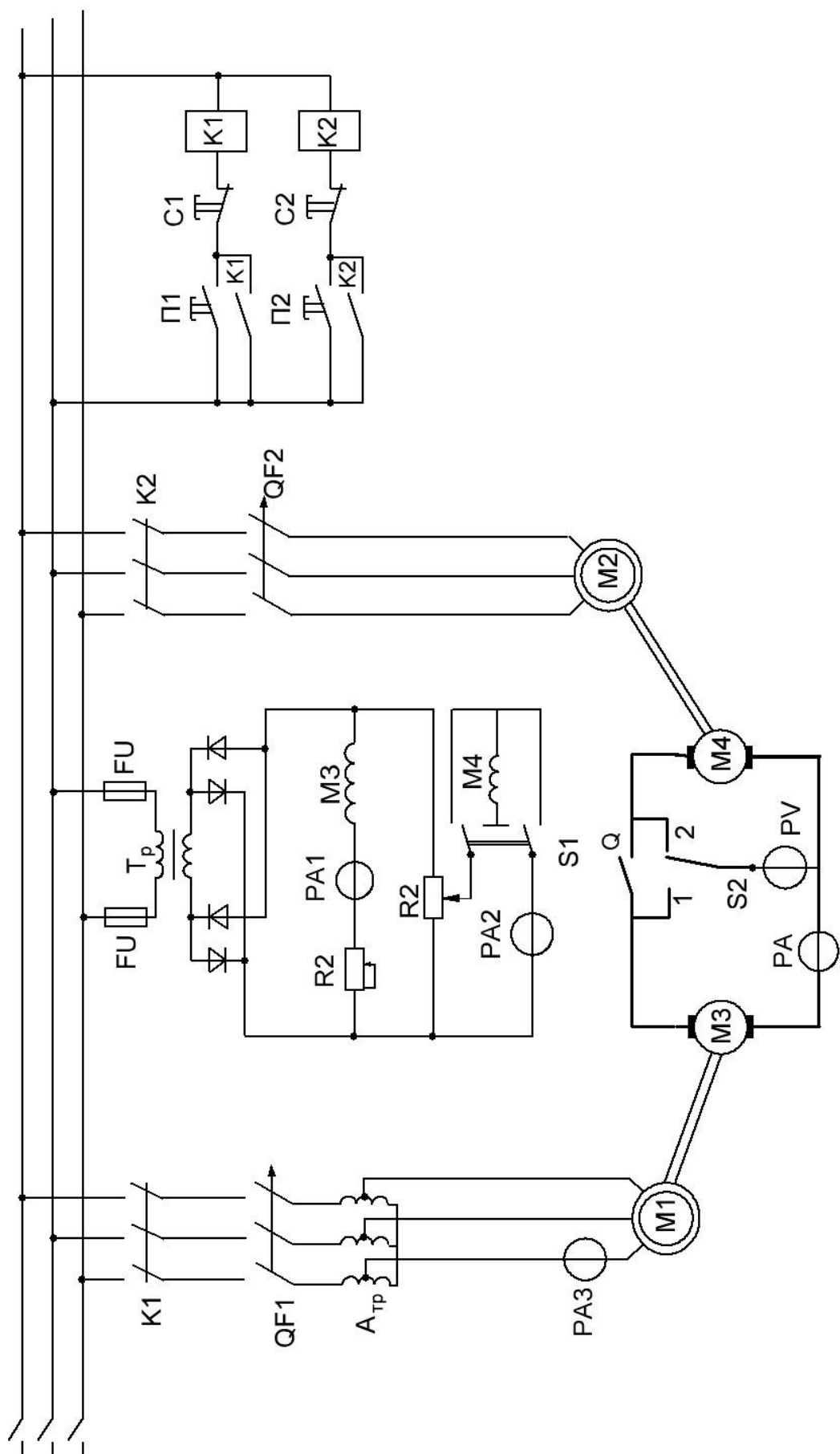


Рис.12. Принципиальная схема установки

этом вспомогательная машина  $M4$ , работая генератором, вращается машиной  $M2$ , работающей в режиме двигателя.

В двигательном режиме испытуемый двигатель  $M1$ , работая двигателем, вращает вспомогательную машину  $M3$ , которая, работая генератором, отдает энергию вспомогательной машине  $M4$ . Вспомогательная машина  $M2$  работает в генераторном режиме.

В режиме торможения противовключением ротор испытуемого двигателя  $M1$  вращается вспомогательной машиной  $M3$ , работающей двигателем, против направления вращения магнитного поля машины  $M1$ . Вспомогательная машина  $M4$ , работая генератором, вращается машиной  $M2$ , работающей в режиме двигателя.

Перевод испытуемой машины из одного режима работы в другой достигается изменением значения и направления тока возбуждения – машины  $M4$  при неизменном токе возбуждения машины  $M3$ . При изменении значения и направления тока возбуждения изменяется значение и направление ЭДС соответствующей машины. В зависимости от соотношения значений и направлений ЭДС машин  $M3$  и  $M4$  ток в цепи якорей машин  $M3$  и  $M4$  протекает в ту или другую сторону, этим и определяется режим работы машин  $M3$  и  $M4$  и, следовательно, режим работы испытуемого двигателя.

### Порядок выполнения работы

Подключить статор двигателя  $M1$  к сети переменного тока нажатием кнопки пуск П1. Убедившись, что агрегат  $M1 – M3$  вращается, воздействуя на реостат  $R1$ , установить напряжение машины  $M3$ , равное номинальному. При этом переключатель  $S2$  должен быть в положении I. Затем подключить статор двигателя  $M2$  к сети переменного тока нажатием кнопки пуск П2 и убедиться, что агрегат  $M2 – M4$  вращается. Установить переключатель  $S2$  в положение 2, переключатель  $S1$  – в верхнее или нижнее положение в зависимости от направления отклонения стрелки вольтметра  $PV$  (для

Таблица 4

| Режимы<br>работы                     | Опытные данные |     |       |       |     |        | Расчетные данные |      |                    |    |     |     |  |
|--------------------------------------|----------------|-----|-------|-------|-----|--------|------------------|------|--------------------|----|-----|-----|--|
|                                      | $I_{\text{в}}$ | $I$ | $I_1$ | $I_2$ | $U$ | $n$    | $\omega$         | $UI$ | $I^2 R_{\text{я}}$ |    | $P$ | $M$ |  |
|                                      | А              | А   | А     | А     | В   | об/мин | рад/с            | Вт   | Вт                 | Вт | Вт  | Нм  |  |
| Рекуператив-<br>ное<br>торможение    |                |     |       |       |     |        |                  |      |                    |    |     |     |  |
| Двигательный                         |                |     |       |       |     |        |                  |      |                    |    |     |     |  |
| Торможение<br>противовклю-<br>чением |                |     |       |       |     |        |                  |      |                    |    |     |     |  |
|                                      |                |     |       |       |     |        |                  |      |                    |    |     |     |  |

обеспечения одинаковых полярностей напряжений машин  $M3$  и  $M4$  стрелка вольтметра должна отклоняться в одну и ту же сторону в положении 1 и 2 переключателя  $S2$ ). Изменяя положение делителя напряжения  $R2$ , установить по вольтметру  $PV$  величину напряжения, равную величине напряжения машины  $M3$ .

После этого можно произвести опытное определение механической характеристики испытуемой машины. Данные опыта занести в табл.4.

Опытное снятие механической характеристики производится в следующей последовательности.

### ***Рекуперативное торможение***

Увеличивая ток возбуждения  $I_2$  в обмотке возбуждения  $M4$  при неизменном положении движка сопротивления  $R2$ , установить по амперметру  $PA$  якорный ток, равный 30 А. Зафиксировать в табл. 4 показания всех приборов и скорость машин  $M1$  по тахометру, при этом скорость  $n$  должна составлять 1,2-1,3 от синхронной скорости.

Уменьшая ток возбуждения  $I_2$  делителем напряжения  $R2$  поочередно устанавливая по амперметру  $PA$  токи, равные 25,20,15,10,5 А, фиксируя показания всех приборов и тахометра в табл. 4.

### ***Двигательный режим***

Уменьшая ток возбуждения  $I_2$  делителем напряжения  $R2$  при неизменном токе возбуждения  $I_1$ , уменьшать значения, напряжения генератора  $M4$  ступенями по 5 В. При уменьшении  $U$  до 0 установить переключатель  $S1$  в противоположное положение и изменять сопротивление делителя напряжения  $R2$  до тех пор, пока двигатель  $M1$  не остановится. Показания приборов записать в табл. 4.

### ***Торможение противовключением***

Продолжать изменять в ту же сторону сопротивление делителя  $R2$ . Обратить внимание на изменение направления вращения машины  $M1$ . Записать показания всех приборов при увеличении значения напряжения ступенями от 5 до 40 В.

После снятия всех показаний уменьшить токи возбуждения машин  $M3$  и  $M4$  сопротивлением  $R1$  и делителем  $R2$  и отключить все рубильники. Опытные данные показать преподавателю.

## **Обработка результатов опыта**

Для каждой точки наблюдений по опытными данным определяется электромагнитная мощность  $P$  испытуемого двигателя

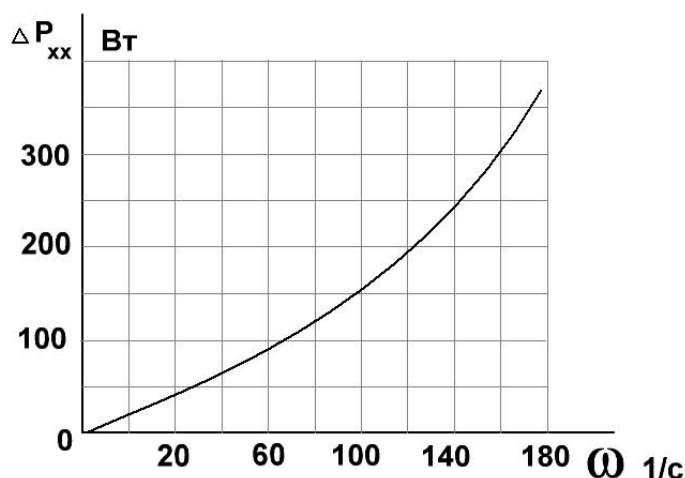
$$P = (\pm U)(\pm I) + I^2 R_{\text{я}} + \Delta P_{\text{хх}}, \text{ Вт},$$

где  $I^2 R_{\text{я}}$  – мощность, идущая на нагрев обмотки якоря испытуемой машины ( $R_{\text{я}} = 0,25 \text{ Ом}$ );  $\Delta P_{\text{xx}}$  – механические потери агрегата  $M1 - M3$  и потери в стали машины  $M3$  (определяются по кривой зависимости  $\Delta P_{\text{xx}} = f(\omega)$ , показанной на рис. 13). Знаки при  $U, I$  и  $\omega$  зависят от режима работы испытуемого двигателя (табл.5).

Электромагнитный момент  $M$  испытуемого двигателя вычисляется по формуле:

$$M = \frac{P}{\omega} K_{\text{АТ}}^2, \text{ Нм},$$

где  $\omega = \pi n / 30$ , рад/с - угловая скорость испытуемого двигателя;  $K_{\text{АТ}} = 3,8$  – коэффициент трансформации автотрансформатора.



**Рис. 13. Механические потери агрегата**

Таблица 5

| Режим работы  | Рекуперативное торможение | Двигательный | Торможение<br>противо-<br>включением |
|---------------|---------------------------|--------------|--------------------------------------|
| Знак $U$      | +                         | +            | -                                    |
| Знак $I$      | -                         | +            | +                                    |
| Знак $\omega$ | +                         | +            | -                                    |

## Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Принципиальную схему электроустановки для снятия механической характеристики асинхронного двигателя.

2. Построенную по опытным и расчетным данным механическую характеристику  $\omega = f(M)$ . На характеристике указать участки, соответствующие различным режимам работы асинхронного двигателя.

3. Номинальные данные испытуемого двигателя и параметры измерительных приборов.

### **Вопросы для самоподготовки**

1. Что называют механической характеристикой асинхронного двигателя?

2. Что представляет собой рекуперативное торможение? При каких условиях оно возникает?

3. Что входит в состав электроустановки для снятия механической характеристики асинхронного двигателя?

4. Как осуществить в электроустановке перевод асинхронного двигателя из одного режима в другой?

5. Для чего в схеме электроустановки включен реостат  $R_1$ ?

6. Для чего в схеме электроустановки включен делитель  $R_2$ ?

7. В какой последовательности следует включать электроустановку в работу?

8. Как вычисляется электромагнитная мощность испытуемого двигателя?

9. Как вычисляется электромагнитный момент испытуемого двигателя?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### Исследование системы электропривода магнитный усилитель- асинхронный двигатель с обратной связью по скорости

**Цель работы:** изучение свойств и характеристик асинхронного двигателя при изменении индуктивного сопротивления в цепи статора с обратной связью по скорости. Опытное определение механических характеристик системы электромагнитный усилитель- двигатель.

#### Основные теоретические сведения

Асинхронный двигатель (АД) нашел широкое применение в промышленности благодаря простоте своей конструкции, малых эксплуатационных затрат и небольшой первоначальной стоимости.

Включение в цепь статора двигателя регулируемого индуктивного сопротивления позволяет регулировать скорость двигателя в достаточно широких пределах. В качестве такого сопротивления используется магнитный усилитель (реактор с подмагничиванием), выполненный по 3-фазной схеме в виде самостоятельного блока.

Принцип действия магнитного усилителя (МУ) основан на изменении магнитной проницаемости и, следовательно, индуктивного сопротивления обмоток переменного тока при изменении напряженности магнитного поля в сердечнике, т.е. при изменении постоянного тока в обмотке управления.

Индуктивность обмотки переменного тока магнитного усилителя определяется как

$$L_{\text{МУ}} = \frac{w^2}{l} S \mu,$$

где  $w$  — число витков в обмотке переменного тока;  $S$  — площадь поперечного сечения магнитопровода;  $l$  — средняя длина магнитной силовой линии в сердечнике;  $\mu = B/H$  — магнитная проницаемость;  $B$  — индукция;  $H$  — напряженность магнитного поля.

Полное сопротивление обмотки переменного тока магнитного усилителя  $z = \sqrt{R_{\text{МУ}}^2 + x_{\text{МУ}}^2}$ ,  $x_{\text{МУ}} = \omega L_{\text{МУ}}$ .

Как правило, активное сопротивление обмотки переменного тока мало по сравнению с индуктивным, и поэтому им можно пренебречь, положив  $z \cong x_{\text{МУ}}$ .

При изменении тока в обмотке управления, т.е. при изменении напряженности магнитного поля, будет изменяться индуктивное сопротивление, поскольку кривая намагничивания сердечника нелинейна. Характер изменения индуктивного сопротивления обмотки переменного тока в зависимости от тока обмотки управления показан на рис.14. Индуктивное сопротивление, включаемое в цепь обмотки статора, влияет на критический

(максимальный) момент  $M_K$  и критическое скольжение  $S_K$ . С небольшим допущением  $M_K$  и  $S_K$  могут быть определены по следующим выражениям:

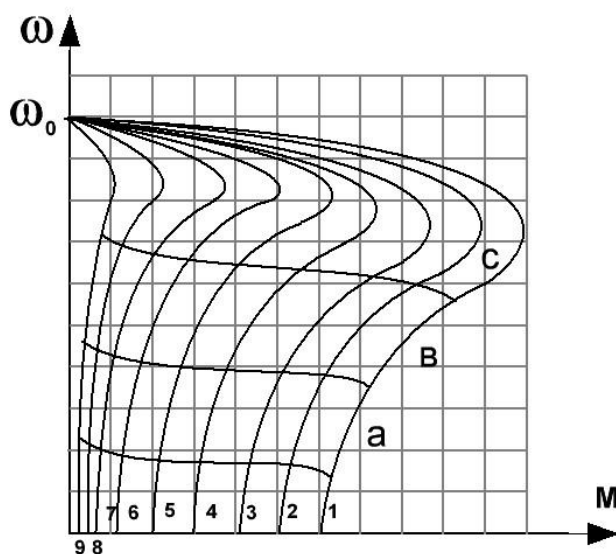
$$M_K = \frac{3U^2}{2\omega_0(x_1 + x'_2 + x_{\text{МУ}})}, \quad S_K = \frac{R'_2}{x_1 + x'_2 + x_{\text{МУ}}},$$

где  $U$  — фазное напряжение;  $\omega_0 = 2\pi f/p$  — синхронная угловая скорость;  $f$  — частота питающей сети;  $p$  — число пар полюсов двигателя;  $x_1$  — индуктивное сопротивление обмотки статора;  $x'_2$  — приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление ротора;  $x_{\text{МУ}}$  — индуктивное сопротивление магнитного усилителя.



**Рис.14. Кривая изменения индуктивного сопротивления МУ от тока управления**

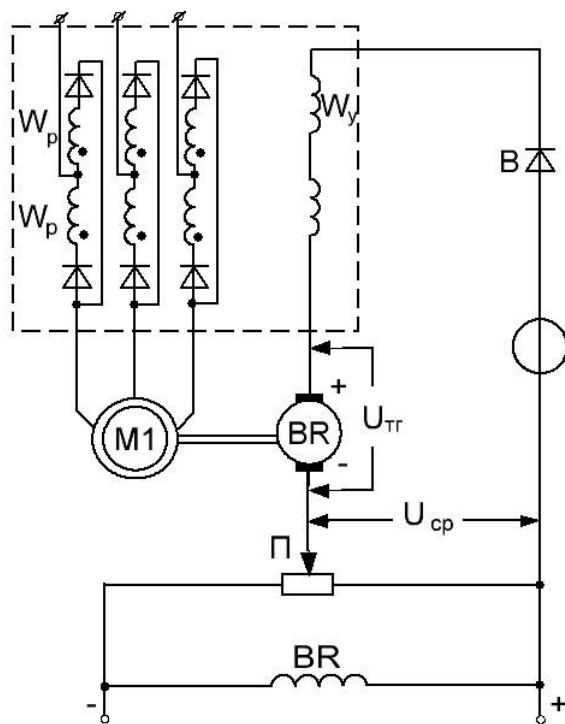
Примерный вид механических характеристик асинхронного двигателя при различных индуктивных сопротивлениях в цепи статора показан на рис. 15 тонкими линиями.



**Рис.15. Механические характеристики АД**

Как правило, система электропривода магнитный усилитель-асинхронный двигатель используется с обратной связью по скорости. Для этой цели с валом асинхронного двигателя соединен тахогенератор постоянного тока, ЭДС которого при неизменном потоке возбуждения пропорциональна скорости вращения.

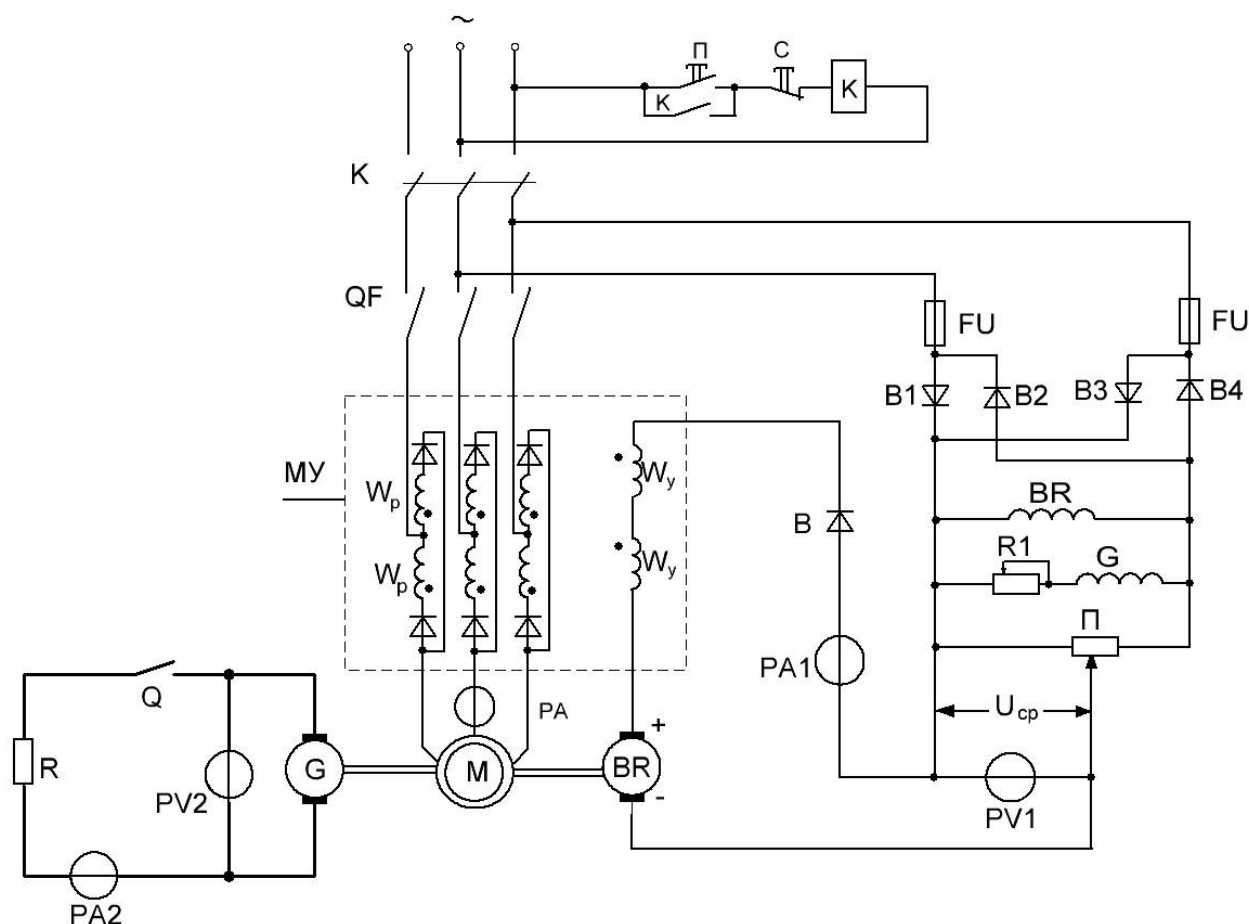
Принципиальная схема исследуемой системы показана на рис. 16. В цепь статора двигателя включены обмотки переменного тока магнитного усилителя  $W_p$ . С валом асинхронного двигателя  $M$  соединен тахогенератор  $BR$ , обмотка возбуждения которого подключена к сети постоянного тока с неизменным напряжением. В качестве эталонного напряжения используется напряжение источника постоянного тока. Эталонное напряжение  $U_{cp}$  необходимо для задания уровня скорости двигателя. Разность напряжений  $U_{cp}$  и  $U_{тг}$  подается на обмотку управления магнитного усилителя  $W_y \cdot \Delta U = U_{cp} - U_{тг}$ . При этом напряжение сравнения должно быть больше напряжения тахогенератора.



**Рис.16. Функциональная схема системы МУ-АД**

Рассмотрим работу систему привода при изменении момента на валу двигателя. При заданной скорости и небольшом моменте на валу двигателя под действием разности напряжений  $\Delta U = U_{cp} - U_{тг}$  по обмотке управления магнитного усилителя протекает ток  $I_y$ , который подмагничивает магнитный усилитель. В этом случае в цепь статора включено относительно большое индуктивное сопротивление и двигатель работает на характеристике 9 в точке I (рис. 15). При увеличении момента на валу скорость его и ЭДС тахогенератора уменьшаются, что приводит к увеличению разности напряжений  $\Delta U = U_{cp} - U_{тг}$  и увеличению тока обмотки управления  $I_y$  и,

следовательно, к уменьшению индуктивного сопротивления в цепи статора. При этом двигатель переходит на характеристику с меньшим сопротивлением в цепи статора. Дальнейшее увеличение момента приводит к переходу двигателя на характеристику с ещё меньшим индуктивным сопротивлением в цепи статора. Результирующие характеристики двигателя при изменяющемся моменте на валу для различных начальных скоростей показаны кривыми а, в, с рис. 15.



**Рис.17. Принципиальная схема установки**

### Описание лабораторной установки

Принципиальная схема лабораторной установки показана на рис. 17. Рабочие обмотки  $W_p$  магнитного усилителя МУ включены последовательно с обмотками статора асинхронного двигателя М. Для контроля тока статора в одной фазе включен амперметр РА.

С валом асинхронного двигателя М соединен тахогенератор BR и нагрузочная машина G, работающая в режиме генератора. Якорь нагрузочной машины через рубильник Q подключается к сопротивлению нагрузки R.

Регулирование загрузки асинхронного двигателя достигается изменением тока возбуждения нагрузочной машины G с помощью реостата  $R_1$ .

Обмотки возбуждения машин (нагрузочной и тахогенератора), а также потенциометр П, позволяющий регулировать напряжение сравнения  $U_{ср}$ , питаются от выпрямителя В1- В4, собранного по мостовой схеме. Обмотка управления магнитного усилителя  $W_y$  подключается на разность напряжений сравнения  $U_{ср}$  и тахогенератора  $U_{тг}$ .

Выпрямитель В в цепи обмотки управления обеспечивает прохождение тока при  $U_{ср} > U_{тг}$ .

### Порядок выполнения работы

1. Опытное определение регулировочной характеристики (рубильник Q в цепи якоря нагрузочной машины должен оставаться в разомкнутом положении).

Движок потенциометра П установить в положение, обеспечивающее наименьшее значение напряжения сравнения. Нажатием кнопки пуск П подать напряжение на обмотки статора двигателя. В цепь статора асинхронного двигателя в этом случае включается большое индуктивное сопротивление рабочих обмоток магнитного усилителя. По цепи статора проходит небольшой ток и ротор двигателя остается неподвижным.

Постепенно увеличивая напряжение сравнения, устанавливают различные его значения и фиксируют значения скорости двигателя и соответствующее ему значение  $U_{ср}$ . Увеличение тока в обмотке управления магнитного усилителя приводит к уменьшению индуктивного сопротивления рабочих обмоток и, следовательно, к увеличению скорости.

Для 5- 8 положений делителя напряжений в табл. 6 записать значения напряжения сравнения и скорости двигателя.

Таблица 6

|                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $U_{ср}, В$     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $n, об/мин$     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $\omega, рад/с$ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

2. Опытное определение механических характеристик  $\omega = f(M)$ .

Для двух значений скорости по указанию преподавателя снять механическую характеристику  $\omega = f(M)$ . После пуска двигателя до заданной скорости замыкается рубильник Q в цепи якоря нагрузочной машины и устанавливаются различные загрузки двигателя. Для 6- 8 значений тока нагрузки двигателя в табл.7 записать показания измерительных приборов.

Таблица 7

| Опытные данные  |       |       |       |     |        | Расчетные данные |           |                      |                  |     |     | Примечание |
|-----------------|-------|-------|-------|-----|--------|------------------|-----------|----------------------|------------------|-----|-----|------------|
| $U_{\text{ср}}$ | $I_y$ | $U_2$ | $I_2$ | $I$ | $n$    | $\omega$         | $U_2 I_2$ | $I_2^2 R_{\text{я}}$ | $P_{\text{мех}}$ | $P$ | $M$ |            |
| В               | А     | В     | А     | А   | об/мин | рад/с            | Вт        | Вт                   | Вт               | Вт  | Нм  |            |

### Обработка результатов опыта

По опытным данным определяется электромагнитная мощность и электромагнитный момент. Электромагнитный момент в Нм определяется по формуле:

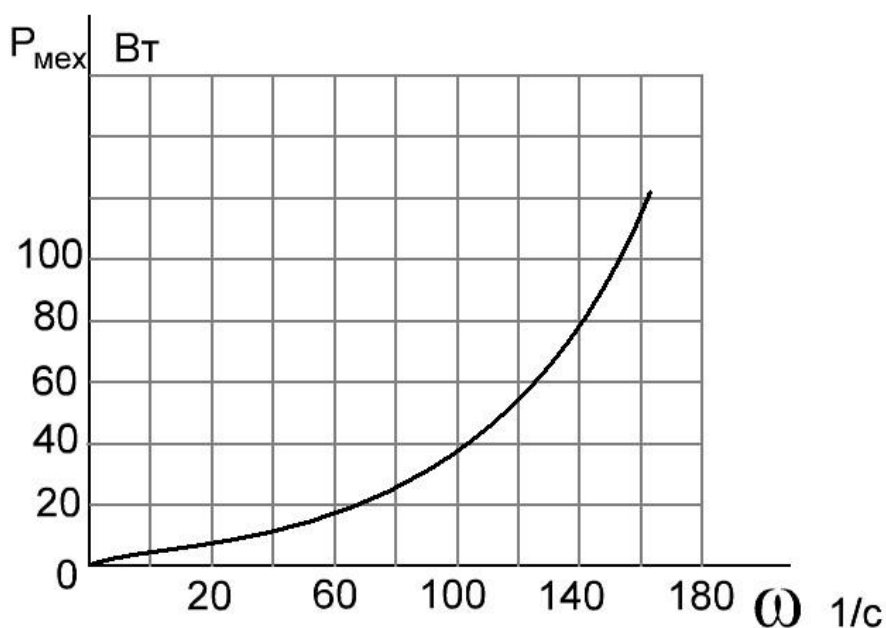
$$M = \frac{P}{\omega},$$

где  $P$  – электромагнитная мощность;  $\omega$  – скорость вращения, рад/с.  
Электромагнитная мощность определяется по формуле:

$$P = U_2 I_2 + I_2^2 R_{\text{я}} + P_{\text{мех}}, \text{ Вт},$$

где  $U_2 I_2$  – напряжение и ток якоря нагрузочной машины;  $R_{\text{я}} = 1,87 \text{ Ом}$  – сопротивление якоря нагрузочной машины;  $P_{\text{мех}}$  – потери в стали нагрузочной машины и механические потери агрегата.

Зависимость  $P_{\text{мех}} = f(\omega)$  представлена на рис. 18.



**Рис.18. Механические потери агрегата**

## Содержание отчета

В отчете должна быть представлена принципиальная схема лабораторной установки.

На основании опытных данных табл. 6 на графике 1 построить регулировочную характеристику  $\omega = f(U_{cp})$ . По опытным и расчетным данным табл. 7 на графике 2 построить механические характеристики привода  $\omega = f(M)$ .

В отчете должны быть приведены номинальные данные машин, аппаратов и параметров измерительных приборов.

## Вопросы для самоподготовки

1. Как регулируется скорость асинхронного двигателя в схеме рис 17?
2. Что входит в электроустановку, позволяющую регулировать скорость асинхронного двигателя?
3. Как создаются различные загрузки асинхронного двигателя?
4. Как снимается регулировочная характеристика?
5. Как по данным опыта определить электромагнитную мощность двигателя?
6. Как по данным определить электромагнитный момент двигателя?
7. Как задается желаемая скорость двигателя?
8. Что называют механической характеристикой двигателя?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

### Исследование системы многодвигательного электропривода БМ с общим преобразователем

**Цель работы:** исследование влияния регулирования соотношения скоростей смежных секций в многодвигательном электроприводе с общим преобразователем.

#### Основные теоретические сведения

В процессе производства бумаги обрабатываемое полотно претерпевает технологические удлинения и усадки как в поперечном, так и в продольном направлении. Последние имеют существенное значение для работы автоматизированного электропривода. Так, принимая во внимание, что деформации полотна различны на отдельных секциях, скорости секций БМ не одинаковы, а увеличиваются от сеточной части к накату. Обычно скорости соседних секций отличаются друг от друга не более, чем на 3 %. Чаще всего разность между скоростями равна  $0,5 \div 1,5$  %. Для обеспечения заданного технологического режима установленные скорости секций должны поддерживаться неизменными с погрешностью  $\pm 0,05 \div 0,1$  % при возможных возмущениях: изменение момента на валу двигателя, изменение напряжения и частоты питающей сети и др.

В процессе работы БМ и возможных технологических отклонений от нормального режима предусматривается ручное изменение скорости секций:  $\pm 7 \div 8$  % в мокрой части и  $3 \div 5$  % в сухой части машины.

В многодвигательном электроприводе с общим преобразователем соотношение скоростей смежных секций обеспечивается системой автоматического регулирования соотношения скоростей (САРСС), воздействующей на возбуждение двигателей.

Регулирование скорости секционных двигателей обеспечиваются общим преобразователем, от которого питаются якорные цепи всех двигателей.

#### Описание лабораторной установки

Принципиальная схема лабораторной установки показана на рис. 19.

Двигатели постоянного тока независимого возбуждения М1 и М2 питаются от тиристорного преобразователя, собранного по трехфазной схеме с нулевым выводом на тиристорах  $V_1, V_2, V_3$ . Управление выходным напряжением тиристорного преобразователя выполняется через систему импульсно-фазового управления (СИФУ) и усилитель У делителем

напряжения  $R_1$ . Обмотки возбуждения двигателя М2 – ОВМ2, тахогенераторов – ОВ ВР<sub>1</sub> и ОВ ВР<sub>2</sub> и нагрузочного генератора ОВГ питаются постоянным напряжением от выпрямительного моста  $V_4 \div V_7$ .

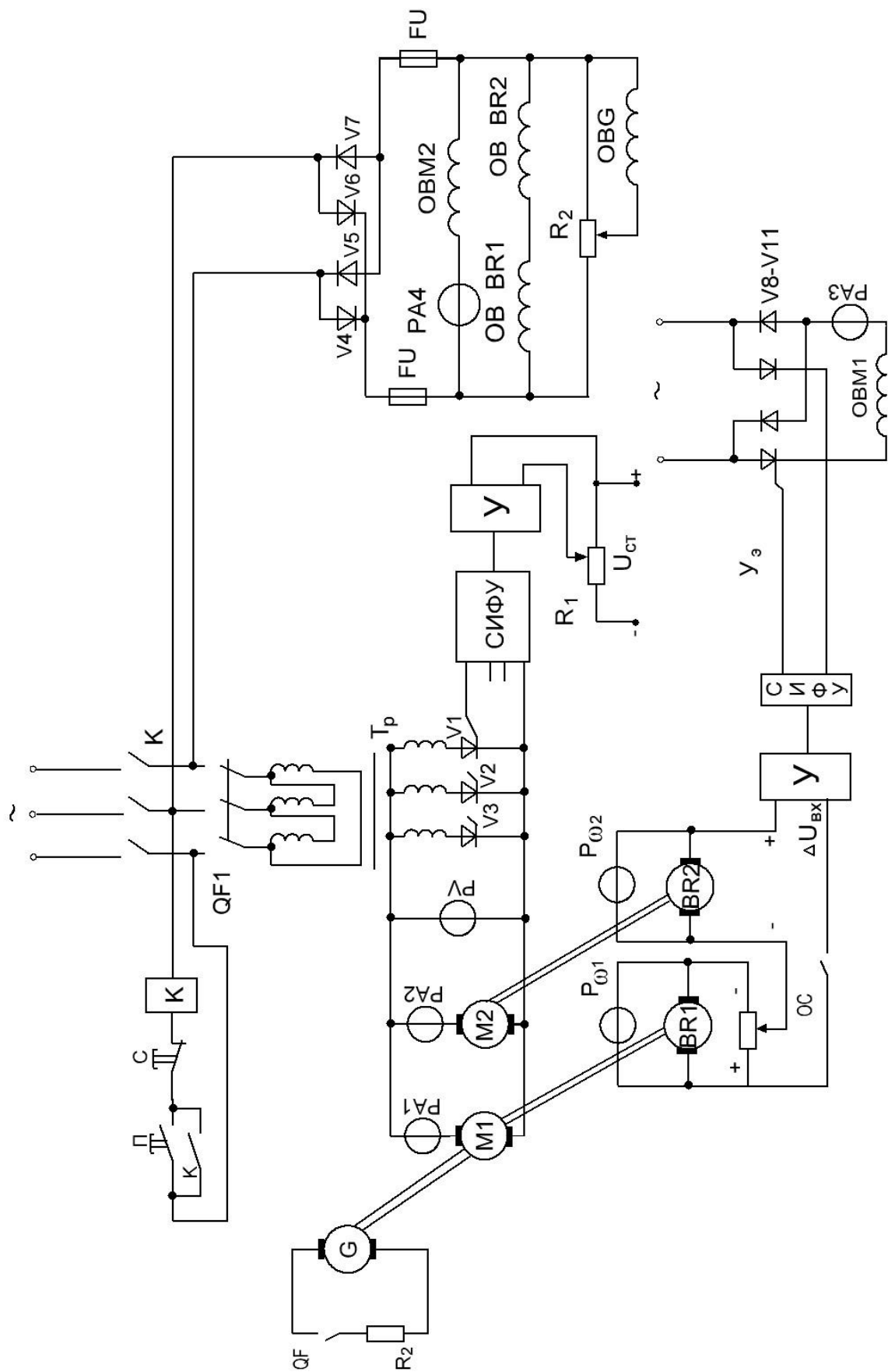
Обмотка возбуждения двигателя М1 – ОВМ1 получает питание от выпрямительного моста  $V_8 \div V_{11}$ , в одно плечо которого включен тиристор, позволяющий регулировать выходное напряжение и ток обмотки возбуждения ОВМ1.

При работе системы электропривода с регулированием соотношения скоростей секций (выключатель ОС замкнут). Изменение тока в обмотке возбуждения ОВМ1 выполняется СИФУ через усилитель У, на вход которого подается разность напряжений тахогенераторов  $\Delta U_{\text{вх}} = U_{\text{тг2}} - U_{\text{тг1}}$ .

Напряжение тахогенераторов показывается вольтметрами  $P\omega_1$  и  $P\omega_2$ . Для более точного измерения скорости вращения двигателей и их разности в установке используется цифровой вольтметр и переключатель (на рис. 19 они не показаны), позволяющие измерять напряжение тахогенераторов и их разность.

Загрузка двигателя М1 выполняется с помощью нагрузочного генератора Г изменением тока в его обмотке возбуждения ОВГ делителем напряжения  $R_2$  после включения автоматического выключателя  $QF$  в цепи якоря генератора Г.

Подключение лабораторной установки к источнику питания выполняется контактором К нажатием кнопки «пуск» - П.



**Рис.19. Принципиальная схема установки**

## Порядок выполнения работы

1. Работа системы электропривода производится без регулятора соотношения скоростей (выключатель ОС должен быть в отключенном положении).
  - 1.1. Установить движки делителей напряжения  $R_1$  и  $R_2$  в нулевое положение.
  - 1.2. Замкнуть автоматический выключатель  $QF_1$ .
  - 1.3. Нажатием кнопки «Пуск» подать питание на лабораторную установку.
  - 1.4. Изменяя положение делителя  $R_1$  установить по заданию преподавателя скорости двигателей М1 и М2.
  - 1.5. Замкнуть автоматический выключатель  $QF$  в цепи нагрузочного генератора  $G$  и, изменяя положение делителя  $R_2$  в цепи  $OBG$ , записать в табл. 8 показания всех измерительных приборов для 5-6 значений тока нагрузки двигателя М1.
  - 1.6. Установить делитель  $R_2$  в нулевое положение и отключить автоматический выключатель  $QF$ .

Таблица 8

| Опытные данные |       |       |          |          |                  |                  |            | Расчетные данные                                                      |     |            |                          |
|----------------|-------|-------|----------|----------|------------------|------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------|-----|------------|--------------------------|
| $U$            | $I_1$ | $I_2$ | $i_{b1}$ | $i_{b2}$ | $U_{\text{тг1}}$ | $U_{\text{тг2}}$ | $\Delta U$ | $\Delta\omega_{\%} = \frac{\Delta U_{\text{тг}}}{U_{\text{тг1}}} 100$ | $P$ | $\omega_1$ | $M = \frac{P}{\omega_1}$ |
| В              | А     | А     | А        | А        | В                | В                | В          | %                                                                     | Вт  | 1/с        | Нм                       |
|                |       |       |          |          |                  |                  |            |                                                                       |     |            |                          |

2. Работа электропривода с автоматическим регулированием возбуждения.
  - 2.1. Замкнуть выключатель ОС.
  - 2.2. Установить прежнее значение скоростей двигателей М1 М2 как и в п. 1.4.
  - 2.3. Повторить п. 1.5.
  - 2.4. Повторить п. 1.6 и отключить установку.

## Обработка результатов опыта

Для каждой точки наблюдений по опытным данным определяется электромагнитная мощность и электромагнитный момент нагружаемого двигателя.

Электромагнитная мощность  $P = UI_1 - I_1^2 r_{\text{я}}$ , сопротивление якорной цепи  $r_{\text{я}} = 3 \text{ Ом}$ , электромагнитный момент  $M = P/\omega_1$ ,  $\omega_1 = \delta U_{\text{тг1}}$ ;  $U_{\text{тг1}}$  напряжение тахогенератора, В;  $\delta = 1,32 \text{ 1/с / В}$ .

## **Содержание отчета**

В отчете должна быть представлена принципиальная схема лабораторной установки. По опытным и расчетным данным в табл. 8 на графике построить зависимость  $\Delta\omega_{\%} = f(M)$  для разомкнутой и замкнутой систем электропривода.

## **Вопросы для самоподготовки**

1. Как задается желаемая скорость двигателей в исследуемой установке?
2. С какой целью в системе используется поддержание заданного соотношения скоростей двигателей M1 и M2?
3. Как выполнена система автоматического регулирования скоростей двигателей M1 и M2?
4. Как создается различная нагрузка двигателя M1?
5. Как по опытным данным вычисляются электромагнитная мощность и электромагнитный момент двигателя?
6. В какой последовательности производится пуск исследуемой системы привода?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

### Автоматический пуск двигателя постоянного тока параллельного возбуждения в функции тока

**Цель работы:** изучение схемы автоматического пуска двигателя в функции тока. Сборка схемы.

#### Основные теоретические сведения

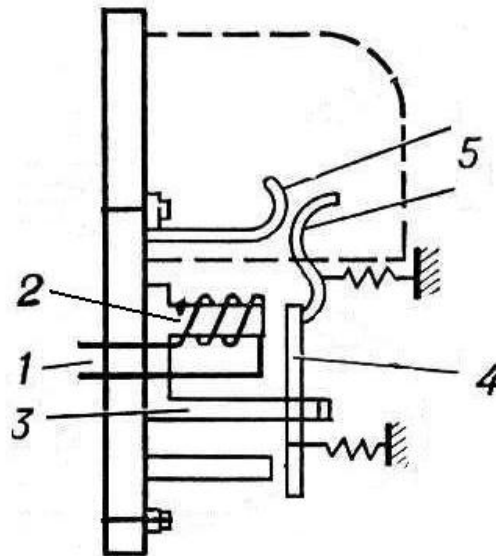
Для двигателей постоянного тока применяют два основных способа пуска:

- С помощью сопротивлений в цепи якоря (так называемый реостатный пуск)
- Изменением напряжения источника питания, к которому подключен якорь двигателя.

Первый способ применяется для двигателей, питающихся от сети неизменного напряжения; второй – для двигателей, питающихся от отдельного преобразователя (электромашинного или тиристорного) с регулируемым напряжением. Как правило, такой пуск применяется для двигателей с независимым возбуждением.

При автоматизированном реостатном пуске в большинстве случаев используются контакторы – электромагнитные аппараты, предназначенные для дистанционного включения и отключения цепей. Контактор постоянного тока состоит из катушки; магнитопровода; главных контактов, производящих включение и отключение в силовых цепях; дугогасительной системы и блок-контактов, предназначенных для коммутации вспомогательных цепей.

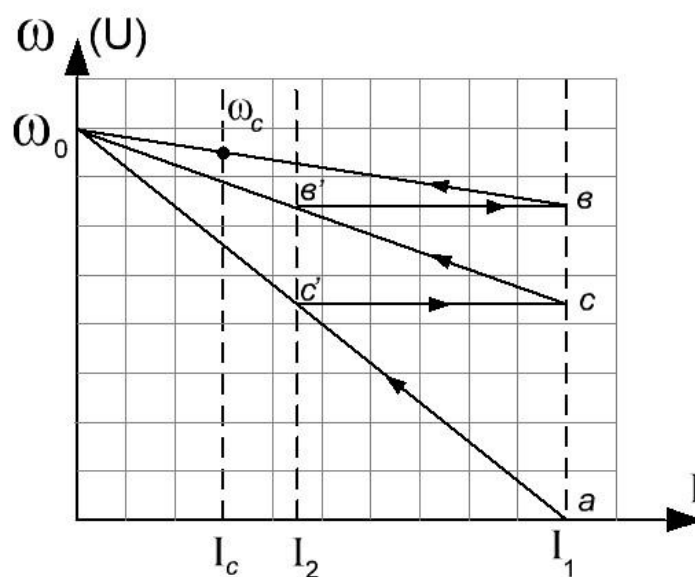
Принцип действия контактора (рис. 20) основан на следующем. Ток, проходящий по катушке 1, создает магнитный поток  $\Phi$ , при прохождении которого, по сердечнику 2, ярму 3, якорю 4 и воздушному зазору возникает тяговое усилие, и якорь, поворачиваясь, притягивается к сердечнику. При этом происходит замыкание главных контактов 5.



**Рис.20. Упрощенная конструкция контактора**

При обесточивании катушки якорь возвращается в исходное положение под действием пружины.

Наряду с контакторами в схемах автоматического управления используются различного рода реле: тока, напряжения, времени, промежуточные и пр. Реле представляет собой автоматический аппарат, замыкающий или размыкающий свои контакты в цепях управления под действием электротехнических, тепловых, механических или других импульсов или воздействий. По своему устройству реле во многом похоже на контакторы, но их контакты рассчитаны на замыкания и размыкание цепей с малыми токами и поэтому реле, как правило, имеют меньшие габариты, чем контакторы.



**Рис.21. Механические характеристики ДПТ при пуске в функции тока**

Кратковременное максимально допустимое значение тока якоря двигателей постоянного тока принимается равным  $I_{\text{доп}} = (2 \div 2.5)I_{\text{ном}}$ . Исходя из этого, для ограничения тока двигателя при пуске последовательно с якорем двигателя включается добавочное сопротивление  $R_n$ , значение которого может быть определено из выражения  $R_n = \frac{U_{\text{ном}}}{I_1} - r_{\text{я}}$ , где  $I_1$  – значение пускового тока двигателя ( $I_1 \leq I_{\text{доп}}$ );  $r_{\text{я}}$  – сопротивление якоря двигателя;  $U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение двигателя.

Электромеханическая характеристика двигателя (рис.21) и схема установки (рис. 22)  $\omega = f(I_{\text{я}})$ , соответствующая сопротивлению  $R_n$ , проходит через точки  $\omega_0, a$  (рис. 21). По мере разгона двигателя его ЭДС растет, и ток якоря уменьшается. Когда ток уменьшается до значения  $I_2$  (точка  $\acute{c}$ ), отключается первая ступень пускового сопротивления  $R_1$  (рис. 22). При этом ток двигателя мгновенно возрастает, а его скорость остается неизменной. Значение сопротивления первой ступени  $R_1$  (рис. 22) выбирается таким образом, чтобы значение возросшего тока было равно  $I_1$ . Тогда электромеханическая характеристика, соответствующая оставшемуся сопротивлению, будет проходить через точки  $\omega_0, c$ . На этой характеристике двигатель будет разгоняться до точки  $\acute{b}$ , в которой ток снова будет равен  $I_2$ . В этой точке отключается 2-я (и последняя в нашем случае) ступень пускового сопротивления  $R_2$  (рис. 22), и двигатель переходит на естественную электромеханическую характеристику, по которой он разгоняется до скорости  $\omega_c$ , определяемой током нагрузки  $I_c$ . Значение тока  $I_2$  обычно принимается равным  $(1,1 - 1,2) I_c$ .

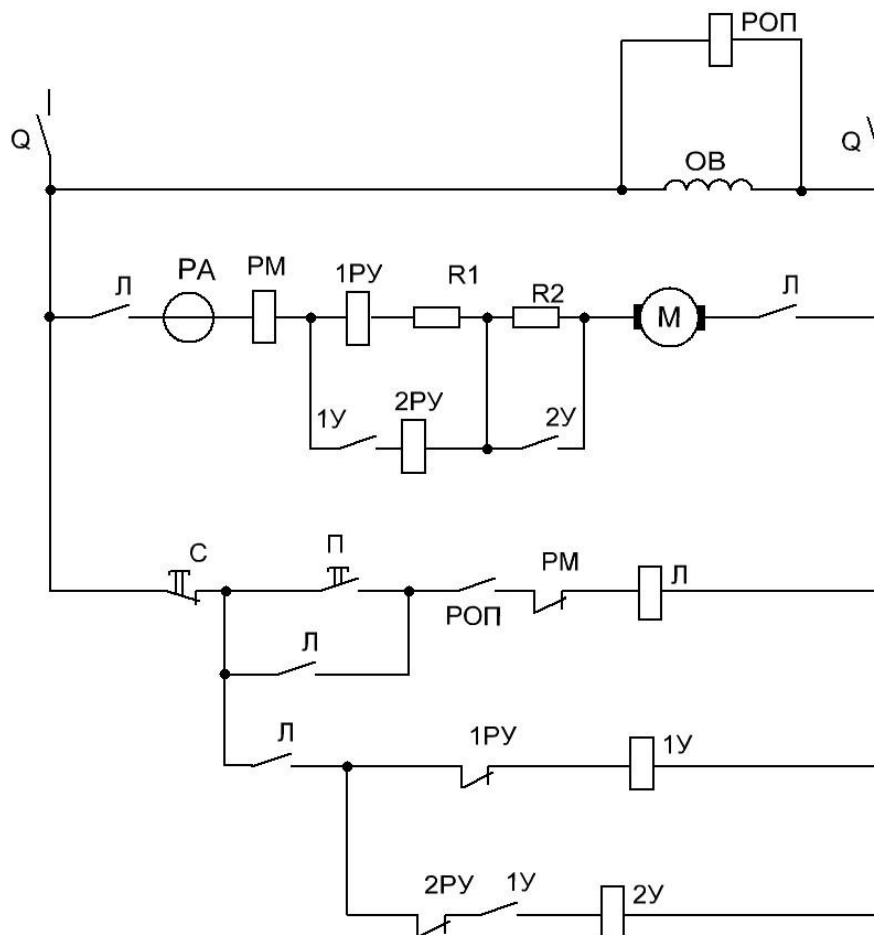
### Описание лабораторной установки

Принципиальная схема автоматического пуска двигателя показана на рис. 22. В схеме приняты следующие обозначения: М – якорь двигателя; ОВ – обмотка возбуждения; Л – линейный контактор; 1У, 2У – контакторы ускорения; 1РУ, 2РУ – реле минимального тока (контакты реле 1РУ, 2РУ будут находиться в нормально замкнутом состоянии при прохождении по их катушкам токов меньше  $I_2$ , если ток катушки превысит значение тока  $I_2$  контакты реле размыкаются); РМ – реле максимального тока, контакты которого размыкаются при прохождении по его катушке, включенной последовательно с якорем двигателя, недопустимых токов для двигателя, т.е. токов более  $(2 \div 2,5)I_{\text{ном}}$ ;  $R_1, R_2$  – пусковые сопротивления; П, С – кнопки «пуск», «стоп»; РА – амперметр; РОП- реле обрыва поля, которое запрещает включение схемы без напряжения на обмотке возбуждения двигателя.

При замыкании рубильника  $Q$  получает питание только обмотка возбуждения двигателя ОВ. Контакты реле РМ, 1РУ, 2РУ находятся в замкнутом состоянии.

При замыкании контактов кнопки «Пуск» создается цепь для питания катушки линейного контактора Л, контактор включается. Его главные контакты в якорной цепи подключают двигатель к сети. Один из блок-

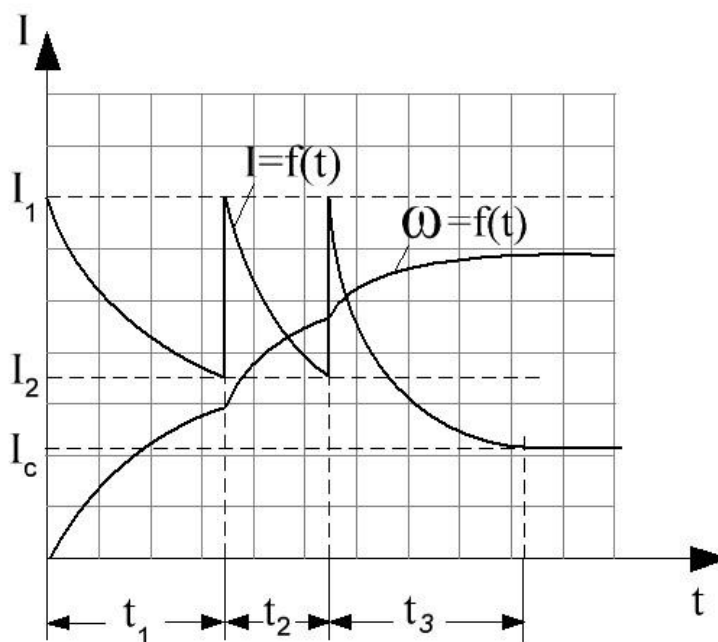
контактов Л, замыкаясь, шунтирует контакты кнопки «Пуск», другой – подготавливает цепь питания катушек контакторов ускорения 1РУ, 2РУ. При подключении двигателя к сети ток якорной цепи мгновенно возрастает до значения  $I_1$ , ограниченного пусковыми сопротивлениями  $R_1$  и  $R_2$  (рис. 23). При этом значении тока  $I_1$ , контакты реле 1РУ в цепи катушки 1У разомкнутся, так как по катушке реле проходит ток более  $I_2$ .



**Рис.22. Принципиальная схема установки**

По мере разгона двигателя увеличивается его ЭДС, и ток якоря уменьшается. Когда значение тока якорной цепи уменьшится до значения  $I_2$ , контакты реле 1РУ в цепи катушки контактора 1У придут в свое нормально замкнутое состояние. При этом создается цепь питания катушки контактора 1У. Контактор срабатывает, его главные контакты 1У в якорной цепи шунтируют первую ступень пускового сопротивления  $R_1$ , ток якоря двигателя возрастает до значения  $I_1$ , проходя через замкнувшиеся контакты 1У и катушку реле 2РУ. Реле 2РУ срабатывает и размыкает свои нормально замкнутые (н.з.) контакты в цепи катушки контактора 2У. По мере увеличения скорости – уменьшается ток якорной цепи до значения  $I_2$ , при котором контакты реле 2РУ приходят в свое нормально- замкнутое состояние и составляют цепь питания катушки контактора 2У. Контактор 2У

срабатывает, его контакты в якорной цепи шунтируют 2-ю ступень пускового сопротивления  $R_2$ . При этом ток якоря возрастает до значения  $I_1$  и затем, по мере увеличения скорости, уменьшается до значения  $I_c$ , определяемого нагрузкой двигателя.



**Рис.23. Пусковая диаграмма**

При прохождении по якорной цепи тока больше допустимого  $I \gg (2 \div 2.5)I_{ном}$ , реле максимального тока РМ разомкнет свои н.з. контакты в цепи катушки линейного контактора Л, катушка потеряет питание, контакты разомкнутся и тем самым отключат двигатель от питающей сети.

### Порядок выполнения работы

1. По заданным токам  $I_1$  и  $I_2$  (задаются преподавателям) и паспортным данным двигателя построить электромеханические характеристики двигателя. По характеристикам определить значение пусковых сопротивлений:

$$R_1 = R_{\pi} \cdot \frac{ac}{ab}; R_2 = R_{\pi} \cdot \frac{bc}{ab}; R_{\pi} = R_1 + R_2 = \frac{U_{ном}}{I_1} - r_{я}; r_{я} = 0,20 \text{ Ом.}$$

2. Установить численные значения пусковых сопротивлений, используя для измерения мост постоянного тока.

3. Собрать схему. После проверки схемы преподавателем опробовать ее работу.

4. Записать изменение токов в процессе пуска двигателя.

5. Замерить интервалы времени  $t_1, t_2, t_3$  работы двигателя на отдельных ступенях.

6. Отключить рубильник Q. После предъявления данных замеров преподавателю разобрать схему.

### **Содержание отчета**

Отчет должен содержать:

1. Принципиальную схему автоматического пуска двигателя и краткое описание ее работы.
2. Пусковую диаграмму  $\omega = f(I)$ , по которой вычислить значения пусковых сопротивлений  $R_1, R_2$ .
3. Построенную по замеренным токам  $I_1$  и  $I_2$  и промежуткам времени  $t_1, t_2, t_3$  диаграммы  $I = f(t)$  и  $\omega = f(t)$ .
4. Номинальные данные двигателя и измерительных приборов.

### **Вопросы для самоподготовки**

1. С какой целью при пуске двигателя в цепь якоря включаются дополнительные сопротивления?
2. Почему нельзя включить двигатель в сеть без дополнительных (пусковых) сопротивлений?
3. Каким образом определить значение пускового сопротивления и его ступеней?
4. Почему автоматический пуск двигателя называется «пуском в функции тока»?
5. Для какой цепи в схеме используются реле 1РУ и 2РУ?
6. Чем определяется значение установившегося тока  $I_c$ ?
7. Как выполнена защита двигателя от недопустимых токов (перегрузок)?

**Владимир Иванович Королев  
Виктор Петрович Николаев**

# **ЭЛЕКТРОПРИВОД**

## **ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ**

Редактор и корректор Смирнова Т.А.

Техн. редактор Титова Л.Я.

Темплан 2014 г., поз. 136

---

Подп. к печати 15.12.14. Формат 60x84/16. Бумага тип №1.

Печать офсетная. Объем печ.л.3,0; уч. – изд.л.3,0. Тираж 300 экз.

Изд.№. 136. Цена «С». Заказ

---

Ризограф Санкт - Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров, 198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.