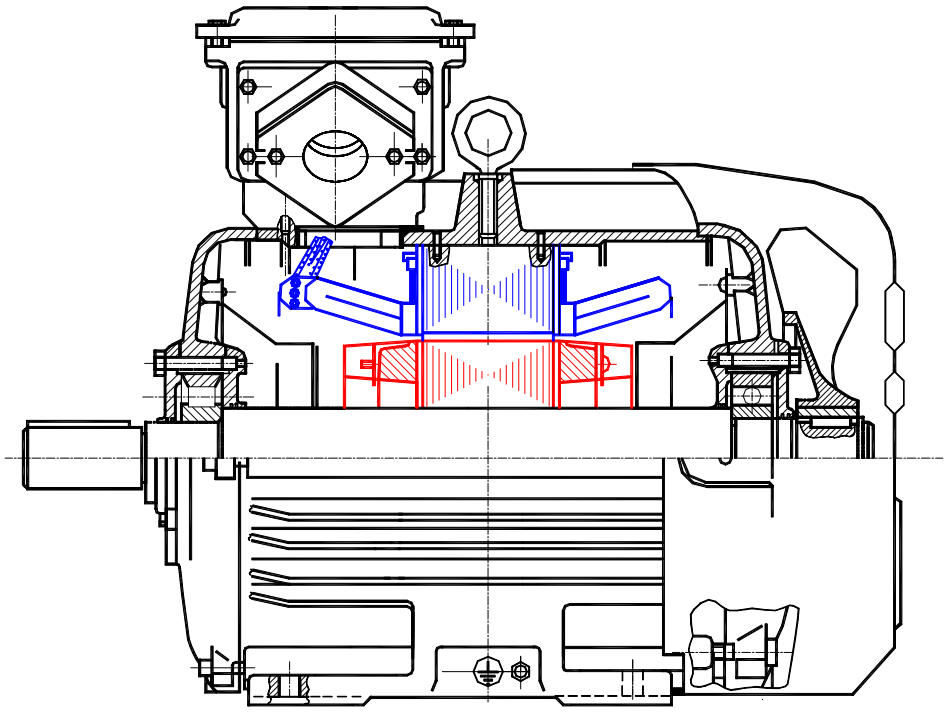
Е.И. Забудский

Институт механики и энергетики

Кафедра Электропривода и электротехнологий



Электрические машины

Часть 2. АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

Лабораторная работа #1

МОСКВА * 2014

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ С НЕПОДВИЖНЫМ РОТОРОМ

Оглавление

1. Цель работы 3

2. Программа работы 3

3. Основы теории .....

4. Экспериментальные исследования 4

4.1. Исследование индукционного регулятора (ИР) 4

4.1.1. Проверка симметрии ИР и определение ЭДС обмотки статора 4

4.1.2. Определение зависимости вторичного напряжения от углового положения ротора 6

4.1.2.1. Определение зависимости U'_2 по данным эксперимента 6

4.1.2.2. Определение зависимости $U'_{2.гр}$ по векторной диаграмме 6

4.1.2.3. Определение зависимости $U'_{2.р}$ на основе аналитического расчета . 8

4.1.3. Внешняя характеристика 8

4.2. Исследование регулируемой реактивной катушки (РРК) 8

4.2.1. Зависимость тока РРК от углового положения ротора 9

5. Содержание и оформление отчета 10

6. Контрольные вопросы 10

Рис. 1.1. Схема лабораторной установки для исследования индукционного регулятора 5

Рис. 1.2. Векторная диаграмма напряжений ИР 7

Рис. 1.3. Схема лабораторной установки для исследования регулируемой реактивной катушки 9

Рис. 1.4. Фотография приборной панели лабораторного стенда для исследования трехфазной асинхронной машины с неподвижным ротором 12

1.Цель работы

Ознакомиться с особенностями использования асинхронной машины в качестве индукционного регулятора (ИР) и регулируемой реактивной катушки (РРК), схемами соединения ее обмоток, освоить методику экспериментального получения характеристик, уяснить основные свойства машины, работающей в качестве ИР и РРК.

2.Программа работы

Исследование индукционного регулятора

2.1. Записать паспортные данные машины, обосновать выбор обмотки ротора в качестве первичной.

2.2. Проверить симметрию первичных и вторичных напряжений.

2.3. Измерить фазную ЭДС обмотки статора.

2.4. Провести опыт холостого хода регулятора, построить зависимость вторичного напряжения U'_2 регулятора от угла поворота ротора, $U'_2 = f(\beta^\circ \text{ эл.})$.

2.5. Построить векторную диаграмму напряжений регулятора для одной фазы и на ее основании построить зависимость $U'_{2.гр} = f(\beta^\circ \text{ эл.})$.

2.6. Определить эту же характеристику $U'_{2.р} = f(\beta^\circ \text{ эл.})$ аналитически.

2.7. Провести опыт нагрузки регулятора, построить внешнюю характеристику $U'_2 = f(I_2)$.

Исследование регулируемой реактивной катушки

2.8. Провести опыт и построить зависимость тока регулируемой реактивной катушки от угла поворота ротора $I = f(\beta^\circ \text{ эл.})$.

3. Основы теории

……

4. Экспериментальные исследования

Индукционный регулятор (ИР) и регулируемая реактивная катушка (РРК) представляют собой асинхронную машину с фазным ротором, ротор которой заторможен посредством самотормозящийся червячной передачи. При вращении червячной передачи, ротор плавно поворачивается относительно статора.

4.1. Исследование индукционного регулятора

Определение. Индукционным регулятором называется асинхронная машина с фазным ротором, предназначенная для плавного регулирования напряжения переменного тока за счет поворота ротора. (ГОСТ 27471-87. Машины электрические вращающиеся. Термины и определения).

Наряду с термином индукционный регулятор в литературе используется также термин потенциал-регулятор.

Схема для исследования индукционного регулятора приведена на рис. 1.1 На рис. 1.4. – фотография приборной панели лабораторного стенда. В качестве первичной использована обмотка ротора, которая подсоединена к питающей электросети параллельно. Обмотка статора – вторичная и включена последовательно между сетью и нагрузкой. Обмотки статора и ротора соединены между собой на щетках.

Ротор поворачивается вручную посредством червячной передачи. Угол поворота ротора, выраженный в электрических градусах, в p раз больше угла поворота ротора, измеренного в геометрических градусах; 1° эл. = 1° геом./p, где p – число пар полюсов обмоток.

4.1.1. Проверка симметрии ИР и определение ЭДС обмотки статора

Осуществить опыт при холостом ходе ИР в следующей последовательности.

1) Пакетный выключатель *QS1* установить в положение *“Отключено“*: нагрузочный реостат $RR_{нг}$ отключен, ИР переведен на холостой ход;

2) Включить автомат *QF2*: на обмотки ИР подано напряжение электросети $U_1 = 127$ В;

3) Посредством червячной передачи выставить ротор в положение, при котором линейное напряжение U'_2 на выходе регулятора равно линейному напряжению U_1 на его входе, $U'_2 = U_1 = 127$ В (вольтметр *PV1*) {см. точку *D* на рис. 1.2}.

4) Измерить и записать в табл. 1.1 значения:

а) линейных напряжений сети на входе ИР (начала фаз *U1*, *V1*, *W1* обмотки статора или начала фаз *K*, *L*, *M* обмотки ротора);

б) линейных напряжений на выходе регулятора (концы фаз *U2*, *V2*, *W2* обмотки статора);

в) фазной ЭДС $E_{2ф}$ обмотки статора.

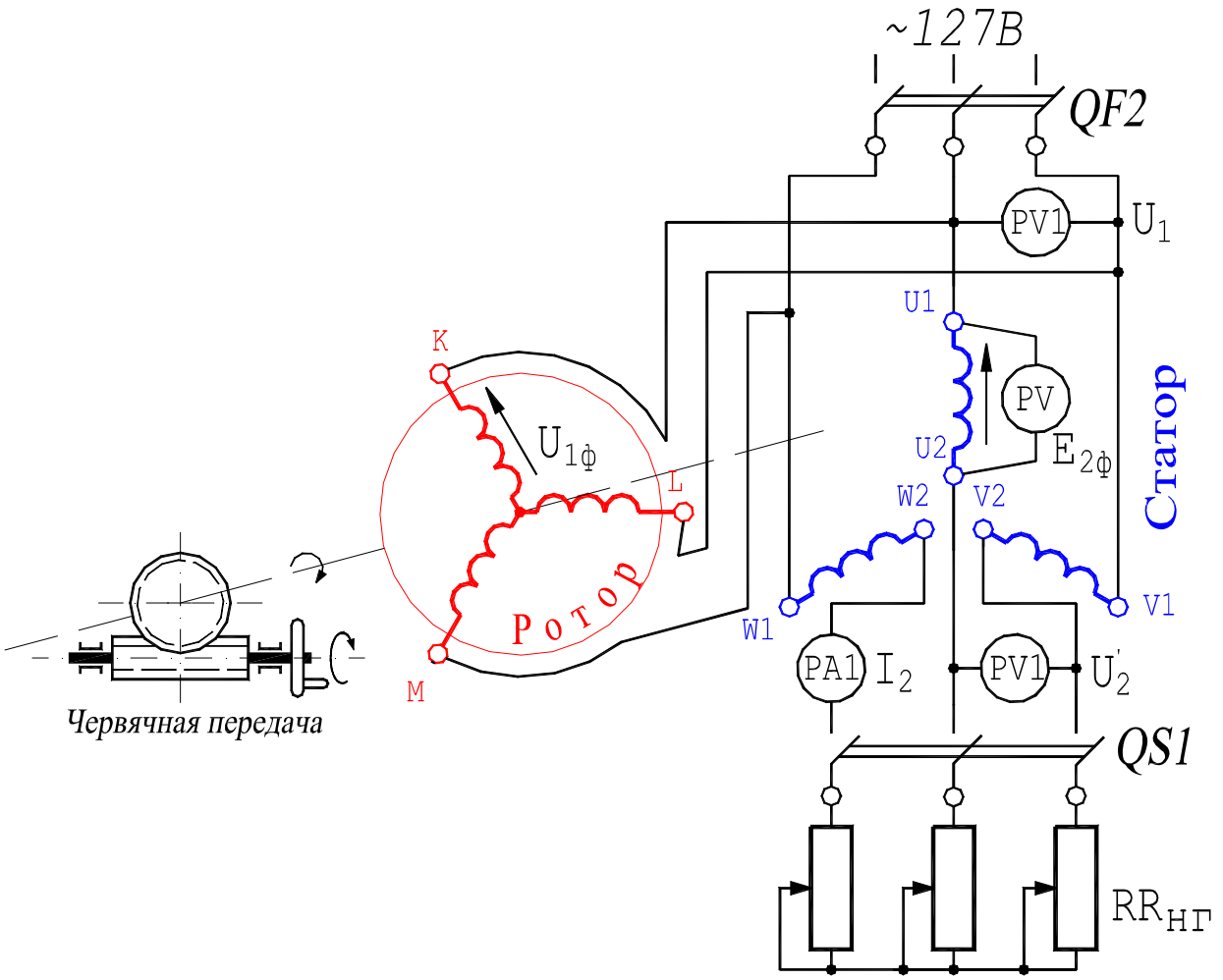


Рис. 1.1. Схема лабораторной установки для исследования ИР
(обмотки соединены встречно; ротор заторможен; щетки и контактные кольца не показаны)

Таблица 1.1

Линейные напряжения						Коэффициенты несимметрии напряжений			Фазная ЭДС обмотки статора
На входе ИР			На выходе ИР						
$U_{U1\text{-}V1}$	$U_{V1\text{-}W1}$	$U_{W1\text{-}U1}$	$U_{U2\text{-}V2}$	$U_{V2\text{-}W2}$	$U_{W2\text{-}U2}$	α_1	α_2	α_3	$E_{2ф} = U_{U1\text{-}U2}$
В	В	В	В	В	В	-	-	-	В

Коэффициенты несимметрии напряжений, обусловленной регулятором, определить по формулам:

$\alpha_1 = (U_{U1\text{-}V1} - U_{U2\text{-}V2})/U_{U1\text{-}V1}$;

$\alpha_2 = (U_{V1\text{-}W1} - U_{V2\text{-}W2})/U_{V1\text{-}W1}$;

$\alpha_1 = (U_{W1\text{-}U1} - U_{W2\text{-}U2})/U_{W1\text{-}U1}$.

От углового положения ротора зависит фаза ЭДС $E_{2ф}$, действующее значение её остается без изменений.

4.1.2. Определение зависимости вторичного напряжения от углового положения ротора

4.1.2.1. Определение зависимости U'_2 по данным эксперимента

Осуществить опыт при холостом ходе ИР в следующей последовательности.

1) Пакетный выключатель *QS1* установить в положение "*Отключено*": нагрузочный реостат $RR_{нг}$ отключен, ИР переведен на холостой ход;

2) Включить автомат *QF2*: на обмотки ИР подано напряжение электросети $U_1 = 127$ В;

3) Посредством червячной передачи выставить ротор в положение, при котором линейное напряжение на выходе регулятора равно максимальному, $U'_2 = U_{max}$ (вольтметр *PV1*; в этом положении *стрелка на шкале* червячной передачи расположена на "U_{max}"). Принять, что это положение ротора соответствует началу отсчета угла поворота ротора, то есть $\beta = 0°$ (угол β измеряется между осями пар соответствующих фаз обмоток статора и ротора: *U* и *K*, *V* и *L*, *W* и *M*,);

4) **Плавно** поворачивать ротор {**0°** <= (β° геом.) <= **180°**} и через каждые 15 геометрических градусов (см. шкалу на червячной передаче) измерять и записывать в табл. 1.2 значения:

а) линейного напряжения $U_1 = U_{U1\text{-}V1}$ на входе регулятора;

б) линейного напряжения $U'_2 = U_{U2\text{-}V2}$ на выходе регулятора.

Рассчитать и записать в табл. 1.2 дискретное значение углов β поворота ротора в электрических градусах, учитывая, что $\beta°\ эл. = p \cdot \beta°\ геом.$

Построить экспериментальную зависимость $U'_2 = f(\beta°\ эл.)$ линейного напряжения на выходе регулятора от углового положения ротора.

Таблица 1.2

β° геом.		**0**	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	**180**
β° эл.														
U_1	В													
U'_2	В													
$U'_{2.гр}$	В													
$U'_{2.р}$	В													

4.1.2.2. Определение зависимости $U'_{2.гр}$ по векторной диаграмме

Линейное значение напряжения $\mathring{U}'_{2.гр}$ на выходе регулятора может быть определено графически на основе векторной диаграммы, которая строится в соответствии с уравнением

$$\mathring{U}'_{2.гр} = \sqrt{3} \cdot \mathring{U}'_{2.гр.ф} = \sqrt{3} \cdot (\mathring{U}_{1ф} + \mathring{E}_{2ф}). \qquad (1)$$

Порядок построения диаграммы (рис. 1.2).

1) Принять масштаб напряжения $m_u = 12$ В/см: в этом масштабе строится диаграмма;

2) Изобразить вертикально отрезок AB, соответствующий фазному напряжению $U_{1ф} = U_1/\sqrt{3}$ на входе регулятора (численное значение линейного напряжения U_1 – см. табл. 1.2), длина отрезка составляет $|U_{1ф}|/m_u$;

3) Провести окружность с центром в точке B: ее радиус BC соответствует в масштабе m_u фазной ЭДС $E_{2ф}$ обмотки статора, $BC = |E_{2ф}|/m_u$ (численное значение $E_{2ф}$ – см. табл. 1.1); отрезок AC в масштабе соответствует фазному напряжению $U'_{2.гр.ф}$ на выходе регулятора;

4) Сделать на окружности засечки, соответствующие значениям угла β° эл., приведенным в табл. 1.2. Каждой засечке соответствует текущее положение точки C, а также положение отрезков BC и AC. Искомое напряжение на выходе регулятора определяется по выражению $U'_{2.гр} = \sqrt{3}\cdot m_u \cdot AC$.

5) Определить значения линейного напряжения $U'_{2.гр} = \sqrt{3}\cdot m_u \cdot AC$ для всех дискретных значений угла (β° эл.) и записать в табл. 1.2.

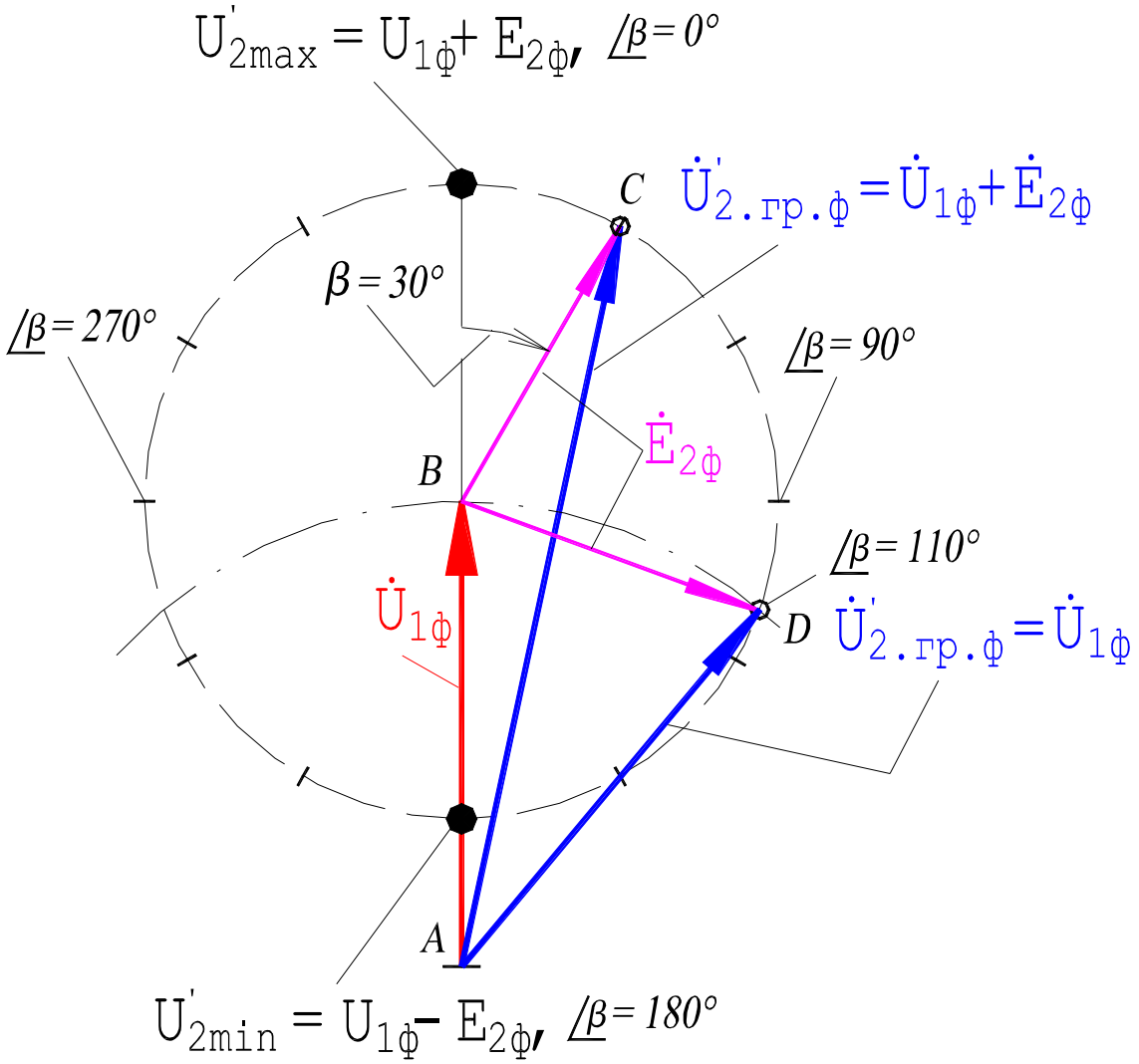


Рис. 1.2. Векторная диаграмма напряжений ИР
(диаграмма построена для числа пар полюсов $p = 2$;
в исследуемом регуляторе p может быть другим)

4.1.2.3. Определение зависимости $U'_{2.р}$ на основе аналитического расчета

Значение линейного напряжения на выходе регулятора можно рассчитать по формуле:

$$U'_{2.р} = \sqrt{3}\cdot\{(U_1/\sqrt{3} + E_{2ф}\cdot\cos\beta)^2 + (E_{2ф}\cdot\sin\beta)^2\}^{1/2}, \qquad (2)$$

где U_1 - линейное напряжение на входе регулятора (табл. 1.2); $E_{2ф}$ - фазная ЭДС обмотки статора (табл. 1.1); угол β измерен в электрических градусах.

Рассчитать по формуле (2) значения линейного напряжения $U'_{2.р}$ для всех дискретных значений угла ($\beta°$ эл.) и записать в табл. 1.2.

При сопоставлении, представленных в табл. 1.2, значений напряжения U'_2, $U'_{2.гр}$ и $U'_{2.р}$ на выходе регулятора, необходимо принять во внимание, что при построении векторной диаграммы не учитывалось падение напряжения в обмотке ротора регулятора.

4.1.3. Внешняя характеристика

Внешняя характеристика индукционного регулятора $U'_2 = f(I_2)$ представляет зависимость вторичного напряжения на выходе регулятора U'_2 от тока нагрузки I_2 при постоянных значениях: напряжения на входе регулятора, $U_1 = \text{const}$; угла поворота ротора, $\beta = \text{const}$; коэффициента мощности нагрузки, $\cos\varphi_2 = \text{const}$.

Осуществить опыт при нагрузке в следующей последовательности (рис. 1.1).

1) Пакетный выключатель *QS1* установить в положение "Отключено": регулятор установлен на холостой ход;

1) Включить автомат *QF2*: на обмотки ИР подано напряжение электросети $U_1 = 127$ В;

2) Посредством червячной передачи выставить ротор в положение, при котором линейное напряжение U'_2 на выходе регулятора равно линейному напряжению U_1 на его входе, $U'_2 = U_1 = 127$ В (вольтметр *PV1*; см. точку *D* на рис. 1.2). Ток нагрузки $I_2 = 0$. Записать значения U'_2 и I_2 в табл. 3. *В процессе опыта положение ротора не изменять*;

3) Пакетный выключатель *QS1* установить в положение "Включено": к выходу регулятора подсоединён нагрузочный реостат $RR_{нг}$; нагрузка активная, $\cos\varphi_2 = 1.0$;

4) Переключая пакетные выключатели нагрузочного реостата $RR_{нг}$ увеличивать ток I_2 до значения примерно равного $1{,}2\cdot I_{2ном}$ обмотки статора. Записать значения напряжения и тока, соответствующие 5…7 точкам, в табл.1.3 и построить внешнюю характеристику индукционного регулятора $U'_2 = f(I_2)$.

Таблица 1.3

U'_2	В								
I_2	А								

4.2. Исследование регулируемой реактивной катушки

Определение. Регулируемой реактивной катушкой (РРК) называется асинхронная машина с фазным ротором, предназначенная для плавного регулирования величины переменного тока за счет изменения угла поворота ротора.

Схема для исследования РРК приведена на рис. 1.3. В схеме, представленной на рисунке, обмотки статора и ротора соединены (на щетках) последовательно.

4.2. 1. Зависимость тока РРК от углового положения ротора

Осуществить опыт в следующей последовательности.

1) Автомат *QF2* установить в положение “Отключено”;

2) Посредством червячной передачи выставить ротор в положение, при котором *стрелка на шкале* червячной передачи расположена на “U_{max}”. При этом положении ротора ток в обмотках РРК *должен иметь* минимальное значение, $I = I_{min}$;

3) Включить автомат *QF2*: на обмотки РРК подано напряжение электросети $U_1 = 127$ В. Уточнить положение ротора, соответствующее $I = I_{min}$ (амперметр *PA1*). Принять, что это положение ротора соответствует началу отсчета угла поворота ротора, то есть $\beta = 0°$;

4) **Плавно** поворачивать ротор по часовой стрелке {0° <= (β° геом.) <= 90°} и через каждые 15 геометрических градусов измерять и записывать в табл. 1.4 значения тока *I*;

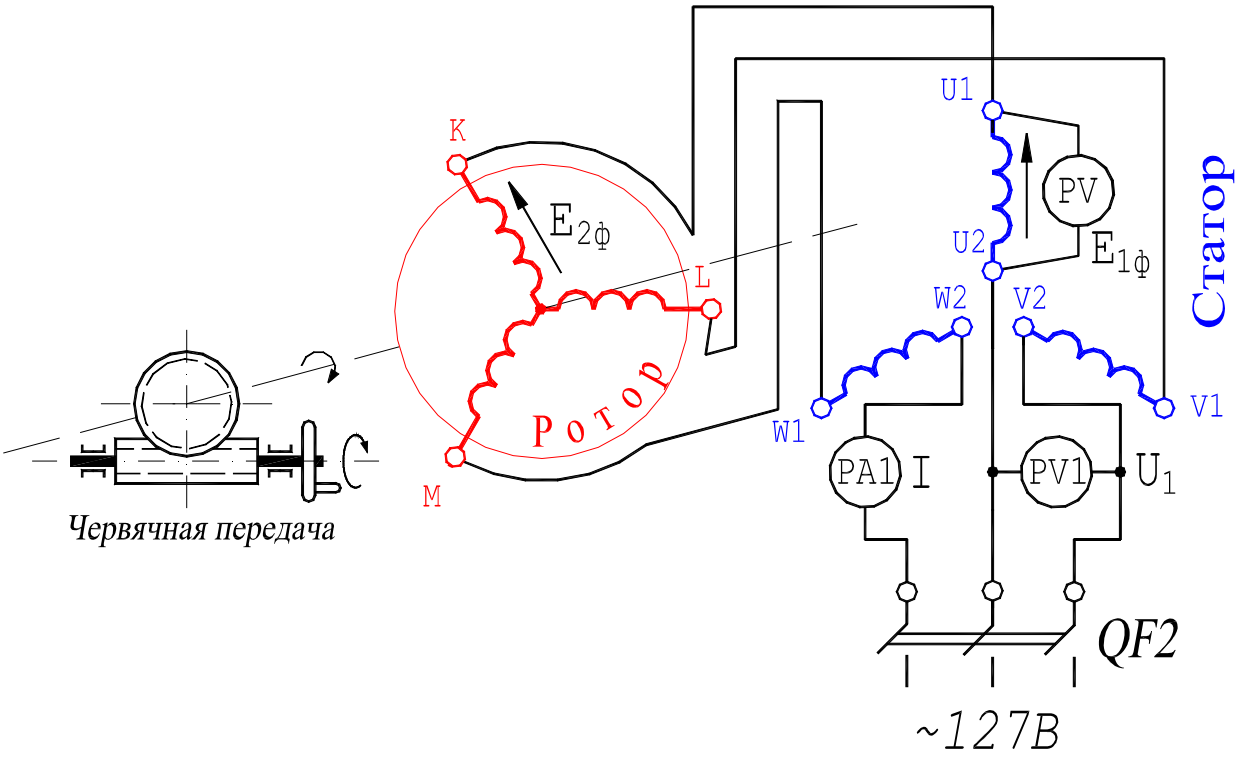


Рис. 1.3. Схема лабораторной установки для исследования РРК
(обмотки соединены встречно; ротор заторможен; щеки и контактные кольца не показаны)

5) Вернуть ротор в исходное положение, соответствующее углу $\beta = 0°$;

6) **Плавно** поворачивать ротор против часовой стрелки {–90° <= (β° геом.) <= 0°} и через каждые 15 геометрических градусов измерять и записывать в табл. 1.4 значения тока *I*;
Рассчитать и записать в табл. 1.4 дискретное значение углов β поворота ротора в электрических градусах, учитывая, что β° эл. = $p \cdot$ β° геом.

Построить зависимость $I = f(\beta°\ эл.)$.

Таблица 1.4

β° геом.	–90	–75	–60	–45	–30	–15	0	15	30	45	60	75	90
β° эл.													
I, А													

5. Содержание и оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Оглавление.
3. Программу лабораторной работы.
4. Номинальные данные асинхронного двигателя с фазным ротором.
5. Номинальные данные индукционного регулятора.
6. Схемы испытаний ИР и РРК.
7. Результаты опытов и расчетов, представленных в таблицах 1.1…1.4; ниже каждой таблицы приводятся формулы для расчета величин. Затем размещаются графические зависимости (п.п. 8.1…8.4), соответствующие таблице.
8. Экспериментальные и расчетные графические зависимости:
   - 8.1 $U'_2 = f(\beta^\circ \text{ эл.})$ – график зависимости напряжения на выходе ИР от углового положения ротора;
   - 8.2. Векторная диаграмма индукционного регулятора;
   - 8.3. $U'_2 = f(I_2)$ – внешняя характеристика индукционного регулятора;
   - 8.4. $I = f(\beta^\circ \text{ эл.})$ – график зависимости тока РРК от углового положения ротора.

Текст отчета оформить в текстовом процессоре *MS Word* (шрифт *Times New Roman*, 12 пт.). Графики строить в интерактивном графическом пакете *Grapher*. Схему опыта вычертить в интерактивном графическом пакете *AutoCAD*. Отчет подшить в простую папку-скоросшиватель. Листы отчета в файл / файлы не вставлять.

6. Контрольные вопросы

1. Назначение, устройство и электрическая схема: 1) индукционного регулятора; 2) регулируемой реактивной катушки.
2. Принцип действия: 1) индукционного регулятора; 2) регулируемой реактивной катушки.
3. Достоинства и недостатки индукционного регулятора.
4. Причина более частого использования в качестве первичной обмотки ИР обмотки ротора.
5. Понятие об электрическом угле поворота ротора.
6. Причина изменения выходного напряжения ИР при изменении величины его нагрузки.

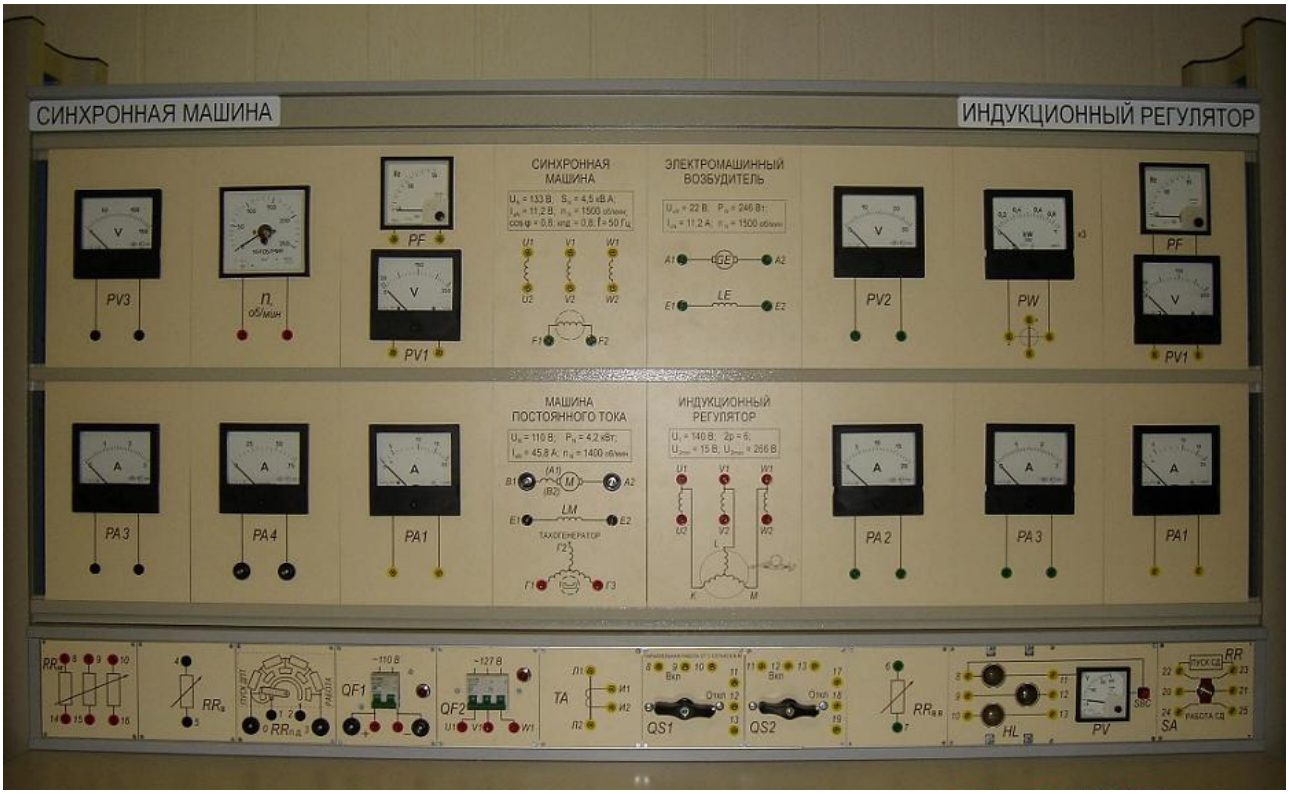


Рис. 1.4. Фотография приборной панели лабораторного стенда для исследования трехфазной асинхронной машины с неподвижным ротором**:**
индукционный регулятор и регулируемая рективная катушка