

РАБОТА № 4  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАШИННОГО  
УСИЛИТЕЛЯ ПОПЕРЕЧНОГО ПОЛЯ**

*Оглавление*

1.	Цель работы .....	2
2.	Программа работы .....	2
3.	Основы теории ЭМУ .....	3
4.	Экспериментальное исследование .....	3
4.1.	Характеристики холостого хода .....	3
4.1.1.	Характеристика холостого хода первой ступени .....	4
4.1.2.	Характеристика холостого хода второй ступени .....	4
4.1.3.	Результатирующая характеристика холостого хода .....	5
4.2.	Исследование ЭМУ под нагрузкой .....	5
4.2.1.	Настройка компенсации .....	5
4.2.2.	Внешние характеристики .....	6
4.2.3.	Коэффициент усиления ЭМУ .....	7
5.	Содержание отчета .....	9
6.	Контрольные вопросы .....	9
	<b>Рис. 4.1.</b> Схема включения ЭМУ для снятия характеристик холостого хода .....	10
	<b>Рис. 4.2.</b> Схема включения ЭМУ для снятия характеристик при нагрузке .....	11
	<b>Рис. 4.3.</b> Передняя (приборная) панель стенда “Электромашинный усилитель” (ФОТО) .....	12
	<b>Рис. 4.4.</b> Общий вид стенда “Электромашинный усилитель” (ФОТО) .....	13

## **1. Цель работы**

Изучить устройство, принцип действия и основные характеристики электромашинного усилителя (ЭМУ).

## **2. Программа работы**

1. Познакомиться с устройством ЭМУ, схемой соединения обмоток и паспортными данными.

2. Снять характеристику холостого хода каждой ступени.

Определить величину э.д.с.  $E_{3r}$  на рабочих (продольных) щетках 1A1 и 1A2, индуцированную остаточным магнитным потоком.

3. Настроить нормальную компенсацию реакции якоря путем подбора величины сопротивления  $RR_k$ , шунтирующего компенсационную обмотку.

4. Снять внешние характеристики ЭМУ для возрастающей нагрузки при токе управления, соответствующем номинальному напряжению при холостом ходе и  $n = n_N$  для различной степени компенсации:

- нормальная компенсация,
- недокомпенсация,
- перекомпенсация.

5. Определить коэффициент усиления ЭМУ  $k_y$ , соответствующий нормальной компенсации.

### 3. Основы теории ЭМУ

Электромашинный усилитель представляет собой видоизмененную машину постоянного тока, обычно двухполюсную, в которой используется поперечная реакция якоря. Чаще он работает в генераторном режиме, тогда его якорь вращается каким-либо двигателем с постоянной скоростью  $n = \text{const}$ . В работе в качестве приводного двигателя использован асинхронный двигатель.

Электромашинные усилители применяются для автоматического управления работой электрических машин в различных производственных и транспортных установках. *Усиление мощности в ЭМУ при этом происходит за счет мощности, получаемой от приводного двигателя.*

*Номинальная выходная мощность современных ЭМУ достигает 100 кВт, а мощность цепи управления колеблется от долей ватта до нескольких ватт.*

Электромашинные усилители – это генераторы постоянного тока с коэффициентом усиления 1000...10000.

Самыми распространенными являются *двухступенчатые* ЭМУ поперечного поля. В таких ЭМУ объединены два генератора независимого возбуждения, которые составляют две ступени усиления: *первая ступень* – обмотка управления ОУ с током  $I_1$  и поперечный короткозамкнутый контур в цепи якоря (щетki 2A1 и 2A2); *вторая ступень* – поперечный короткозамкнутый контур с током возбуждения  $I_2$  и выходная цепь (щетki 1A1 и 1A2) – ток  $I_3$  и напряжение  $U_3$  (рис. 4.1 и 4.2).

.....  
.....

### 4. Экспериментальное исследование

На рис. 4.1 приведена электрическая схема, используемая при проведении испытаний ЭМУ. Электромашинный усилитель имеет несколько обмоток управления, предназначенных для суммирования сигналов и других целей (уничтожение остаточного магнитного потока, стабилизация и т. д.). При снятии характеристик для удобства их сравнения рекомендуется использовать одну и ту же обмотку управления ОУ. Нормально замкнутые внутри машины поперечные щетки 2A1 и 2A2 усилителя замыкают через амперметр PA4.

#### 4.1. Характеристики холостого хода

Магнитную цепь ЭМУ, как и в машинах нормального типа, исследуют по характеристике холостого хода.

Наличие в ЭМУ поперечного поля двух ступеней усиления входного сигнала приводит к необходимости снятия трех характеристик холостого хода:

- а) *первой* ступени  $E_2 = f(I_1)$  при  $I_2 = 0$  и  $I_3 = 0$ ;
- б) *второй* ступени  $E_3 = f(I_2)$  при  $I_3 = 0$ ;
- в) *результатирующей*  $E_3 = f(I_1)$  при  $I_3 = 0$ .

Для всех характеристик снимают *восходящую и нисходящую* ветви в первой четверти при постоянной номинальной скорости вращения  $n = \text{const}$ . В качестве приводного использован трехфазный асинхронный двигатель.

#### 4.1.1. Характеристика холостого хода первой ступени

Характеристику холостого хода первой ступени - зависимость э.д.с.  $E_2$  на поперечных щетках 2A1 и 2A2 от тока  $I_1$  в обмотке управления ОУ - снимают при разомкнутых продольных щетках 1A1 и 1A2 ( $I_2 = 0$  и  $I_3 = 0$ ), при изменении тока  $I_1$  от нуля до номинального значения и обратно. Схема опыта для снятия характеристики холостого хода первой ступени представлена на рис. 4.1,а. Ток  $I_1$  регулируют с помощью потенциометра  $RP$ . Перед началом опыта автомат  $QF1$  включают приводной двигатель  $M$ . Результаты опыта (6...8) точек заносят в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Ветвь характеристики	$I_1$	А								
Восходящая	$E_2$	В								
Нисходящая	$E_2$	В								

#### 4.1.2. Характеристика холостого хода второй ступени

Характеристику холостого хода второй ступени - зависимость э.д.с.  $E_3$  на продольных щетках 1A1 и 1A2 от тока поперечной оси  $I_2$  - снимают при замкнутой цепи поперечных щеток 2A1 и 2A2. Схема опыта для снятия характеристики холостого хода второй ступени представлена на рис. 4.1,б. Перед началом опыта автомат  $QF1$  включают приводной двигатель  $M$ . Предварительно измеряют э.д.с.  $E_{3r}$ , наведенную остаточным магнитным потоком при разомкнутой цепи управления (автомат  $QF2$  в положении «Отключено»,  $I_1 = 0$ ) и номинальной скорости вращения. Затем переводят автомат  $QF2$  в положение «Включено» и снимают характеристику. Величину тока возбуждения  $I_2$  второй ступени регулируют изменением тока  $I_1$  в обмотке управления ОУ с помощью потенциометра  $RP$ . Снимают восходящую и нисходящую ветви характеристики до максимального значения  $E_3 = (1,2...1,3)U_N$ . Результаты опыта (6...8) точек заносят в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Ветвь характеристики	$I_2$	А								
Восходящая	$E_3$	В								
Нисходящая	$E_3$	В								

### 4.1.3. Результирующая характеристика холостого хода

Результирующую характеристику холостого хода - зависимость э.д.с.  $E_3 = f(I_1)$  на продольных щетках 1A1 и 1A2 от тока  $I_1$  в обмотке управления ОУ снимают также в соответствии со схемой, представленной на рис. 4.1,б. Регулируя потенциометром  $RP$  ток управления  $I_1$ , снимают восходящую и нисходящую ветви характеристики в пределах  $E_3 = (1,2...1,3)U_N$ . Результаты опыта (6...8) точек заносят в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Ветвь характеристики	$I_1$	А							
Восходящая	$E_3$	В							
Нисходящая	$E_3$	В							

Опыты по снятию характеристики холостого хода второй ступени и результирующей можно объединить, фиксируя одновременно значения токов  $I_1$  и  $I_2$ .

По данным опытов строят характеристики холостого хода, которые в пределах номинального напряжения прямолинейны, так как магнитная система ЭМУ в отличие от нормальных машин ненасыщенна.

Малое насыщение магнитной системы ЭМУ необходимо для обеспечения высокого коэффициента усиления, а также пропорциональности между входным сигналом ( $I_1$  или  $U_1$ ) и выходной величиной ( $E_3$ ).

## 4.2. Исследование ЭМУ под нагрузкой

### 4.2.1. Настройка компенсации

Исследование ЭМУ под нагрузкой производится в соответствии со схемой, представленной на рис. 4.2.

Степень компенсации ЭМУ характеризуется величиной отношения м.д.с.  $F_K$  компенсационной обмотки КО к м.д.с.  $F_{ad}$  продольной реакции якоря

$$k_K = F_K / F_{ad} = I_K W_K / I_3 W_a, \quad (4.1)$$

где  $W_K = 127$  – число витков компенсационной обмотки на один полюс;  $W_a = 332,5$  – число витков обмотки якоря на один полюс.

При *полной или нормальной* компенсации, когда  $k_K = 1$  и ток управления  $I_1 = \text{const}$ , магнитный поток по продольной оси машины в условиях меняющейся нагрузки остается постоянным и, следовательно, ток  $I_2$  в поперечной цепи не зависит от рабочего тока  $I_3$ . Поэтому *для нормальной компенсации необходимо подобрать такое значение шунтирующего*

сопротивления  $RR_k$ , при котором изменение рабочего тока  $I_3$  от нуля до номинального не вызывало бы изменения тока  $I_2$  в поперечной цепи,  $I_2 = \text{const}$ .

При *недокомпенсации*, когда  $k_k < 1$  значение  $RR_k$  должно быть меньше, чем при нормальной компенсации.

При *перекомпенсации*, когда  $k_k > 1$  значение  $RR_k$  должно быть больше, чем при нормальной компенсации.

Опыт по настройке нормальной компенсации ЭМУ рекомендуется начинать с малого значения сопротивления  $RR_k$  (с недокомпенсации) при токе возбуждения  $I_1$  обеспечивающем номинальное напряжение  $U_3 = E_3 = U_N = 115$  В. при холостом ходе.

#### 4.2.2. Внешние характеристики

Внешние характеристики ЭМУ так же, как и для нормальных машин, представляют зависимость напряжения на продольных щетках 1A1 и 1A2 от тока нагрузки  $U_3 = f(I_3)$  при постоянной скорости вращения. Внешние характеристики ЭМУ снимают при трех степенях компенсации: *нормальной*  $k_k = 1$ , *недокомпенсации*  $k_k < 1$  и *перекомпенсации*  $k_k > 1$ . Схема опыта для снятия внешних характеристик представлена на рис. 4.2.

Порядок проведения опытов во всех трех случаях одинаков. Вначале рекомендуется снимать внешнюю характеристику при нормальной компенсации. Установив при *холостом ходе* номинальное напряжение  $U_N = 115$  В, постепенно увеличивают ток нагрузки  $I_3$  до номинального значения, не меняя настройки компенсации и поддерживая неизменным значение тока возбуждения  $I_1 = \text{const}$ , а также скорость вращения якоря. В процессе опытов фиксируют также ток  $I_2$  в цепи короткозамкнутых щеток. При переходе к режиму *недокомпенсации* уменьшают шунтирующее сопротивление  $RR_k$  (по сравнению с его величиной при нормальной компенсации), вследствие чего уменьшается ток компенсационной обмотки ( $F_k < F_{ad}$ ). Режим *перекомпенсации* получают *незначительным увеличением* шунтирующего сопротивления  $RR_k$  по сравнению с его величиной при нормальной компенсации, *чтобы избежать возможного самовозбуждения и значительной перегрузки ЭМУ*.

Результаты опыта для каждой степени компенсации (6...8) точек заносят в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Степень компенсации	нормальная	$U_3$	В							
		$I_3$	А							
		$I_2$	А							
		$I_1$	А							
	недокомпенсация	$U_3$	В							
		$I_3$	А							
		$I_2$	А							
		$I_1$	А							
	перекомпенсация	$U_3$	В							
		$I_3$	А							
		$I_2$	А							
		$I_1$	А							

Падение напряжения в якорной цепи ЭМУ определяет падающий характер внешней характеристики при нормальной компенсации. При недокомпенсации характеристика получается более резко падающая вследствие некоторой недокомпенсации реакции якоря. При перекомпенсации внешние характеристики могут получаться разными в зависимости от установки величины шунтирующего сопротивления  $RR_K$ . При незначительной перекомпенсации характеристика падающая. При соответствующей величине шунтирующего сопротивления характеристика может быть горизонтальной, тогда  $U_3 = \text{const}$ . В этом случае намагничивающая сила компенсационной обмотки компенсирует реакцию якоря и падение напряжения в якорной цепи ЭМУ при любом токе нагрузки  $I_3$ . Значительная перекомпенсация, дающая возрастающую внешнюю характеристику, на практике не применяется из-за возможного в этом случае самовозбуждения ЭМУ даже при отсутствии тока возбуждения (управления)  $I_1$ . При самовозбуждении нарушается управление работой ЭМУ и возможна значительная перегрузка машины.

### 4.2.3. Коэффициент усиления ЭМУ

Коэффициент усиления ЭМУ, представляющий отношение выходной полезной мощности  $P_3$  к мощности управления  $P_1$ , определяют для режима нормальной компенсации.

Обычно  $k_y \leq 10000$ , в специальных случаях  $k_y$  достигает значений 100000.

*Расчет коэффициента усиления  $k_y$  при изменении нагрузки и нормальной компенсации, построение зависимости  $k_y = f(P_3)$ .*

Коэффициент усиления определяют по формуле

$$k_y = P_3 / P_1, \quad (4.2)$$

где  $P_3 = U_3 I_3$ ;  $P_1 = I_1^2 R_1$ ;  $R_1 = 1860$  Ом - сопротивление обмотки управления.

На величину коэффициента усиления ЭМУ влияют величина нагрузки, степень компенсации, насыщение магнитной системы и другие факторы. Влияние величины нагрузки можно установить по внешней характеристике при нормальной компенсации.

Таблица 1.5

Нормальная компенсация	Измерение	$U_3$	В							
		$I_3$	А							
		$I_2$	А							
		$I_1$	А							
	Расчет	$P_3$	Вт							
		$P_1$	Вт							
		$k_y$	-							

Таблица 1.5 заполняется по данным табл. 1.4 для нормальной компенсации. Расчет значений  $P_3$ ,  $P_1$  и  $k_y$  выполняется по (4.2). По данным расчета строится зависимость  $k_y = f(P_3)$ .

Коэффициент усиления повышается при перекомпенсации и понижается при недокомпенсации. Магнитная система ЭМУ выполняется слабонасыщенной. Это делается для того, чтобы повысить коэффициент усиления  $k_y$  и получить линейные связи между входными и выходными величинами. Повышение коэффициента усиления при малом насыщении магнитопровода ЭМУ объясняется тем, что МДС и мощность  $P_1$  обмотки управления, необходимые для получения заданных значений выходного напряжения  $U_3$  и выходной мощности  $P_3$ , будут меньше, чем при насыщенном магнитопроводе.

Однако повышение коэффициента усиления  $k_y$  при слабом использовании ЭМУ в магнитном отношении приводит к тому, что при одной и той же номинальной мощности и частоте вращения габариты и масса ЭМУ будут больше.



## **5. Содержание отчета**

Отчет должен содержать программу выполнения работы, паспортные данные исследуемого ЭМУ и приводного асинхронного двигателя, схему испытаний, таблицы с результатами опытов и расчетов, графическое представление характеристик ЭМУ: три характеристики холостого хода; три внешние характеристики, которые должны быть построены в одних осях; зависимость  $k_y = f(P_3)$ .

## **6. Контрольные вопросы**

1. Каковы особенности конструкции ЭМУ поперечного поля?
2. Объясните принцип действия ЭМУ?
3. Объясните способ настройки компенсации ЭМУ?

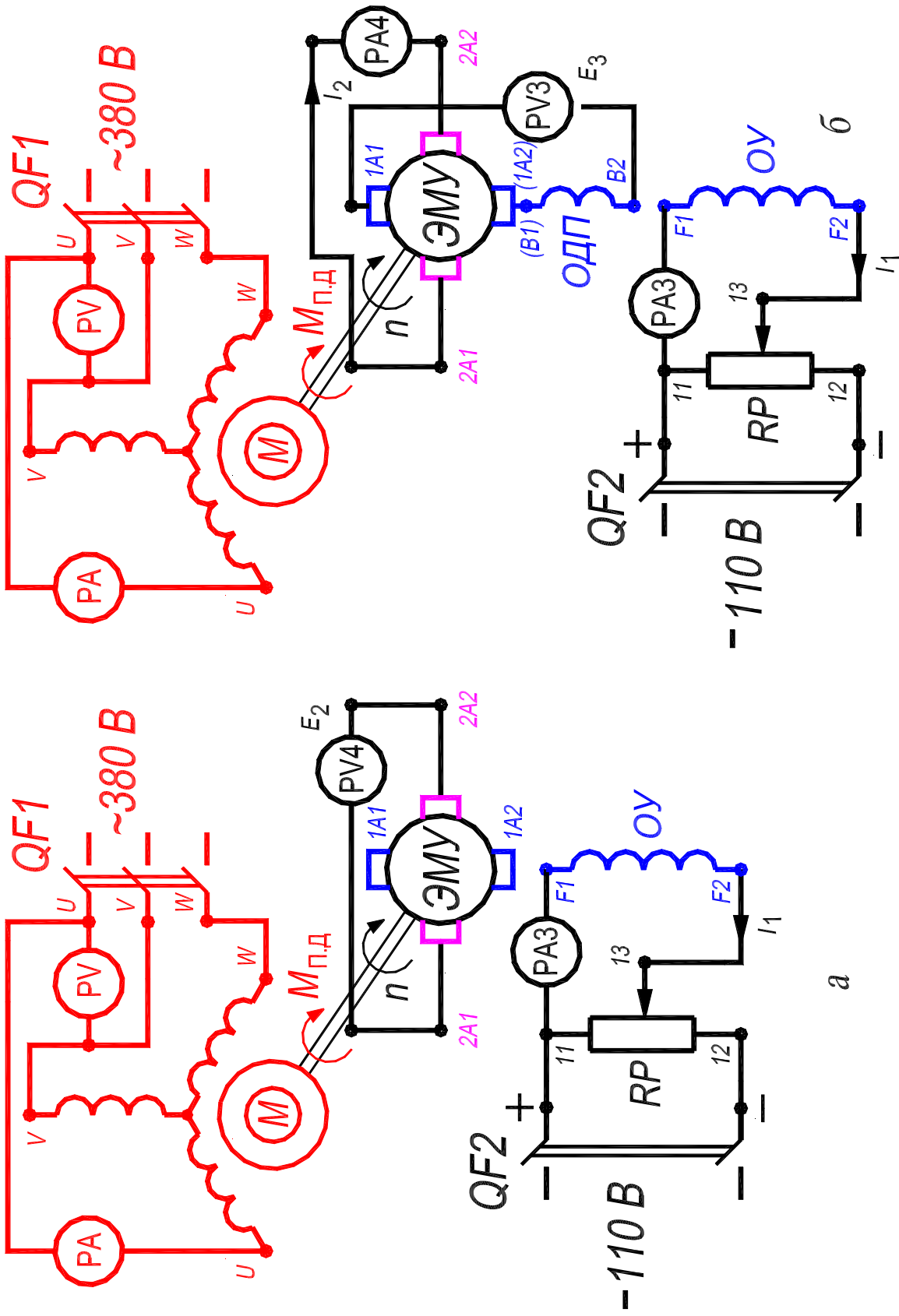


Рис. 4.1. Схема включения ЭМУ для снятия характеристик холодного хода:  
**a** – первой ступени; **б** – второй ступени и регулирующей

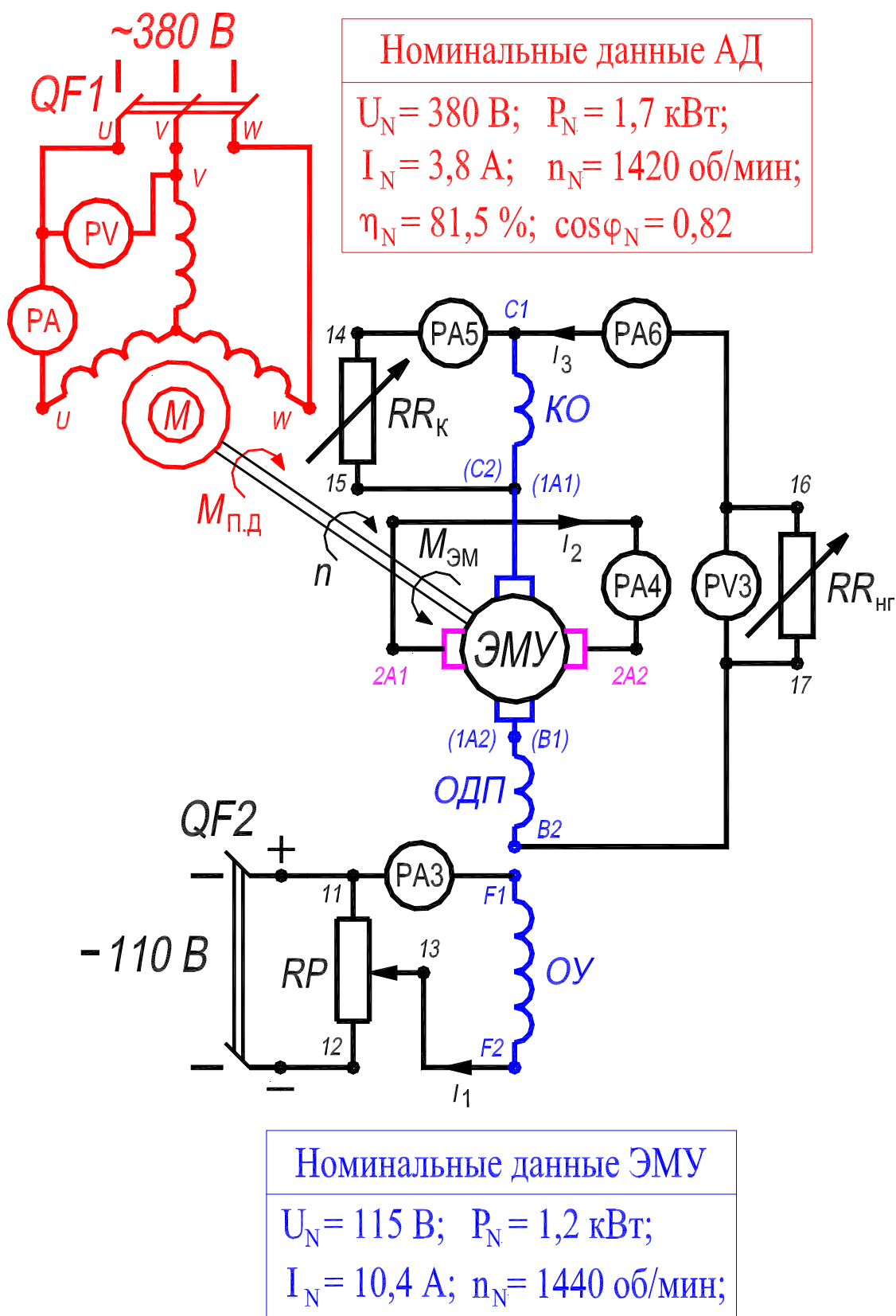


Рис. 4.2. Схема включения ЭМУ для снятия характеристик при нагрузке

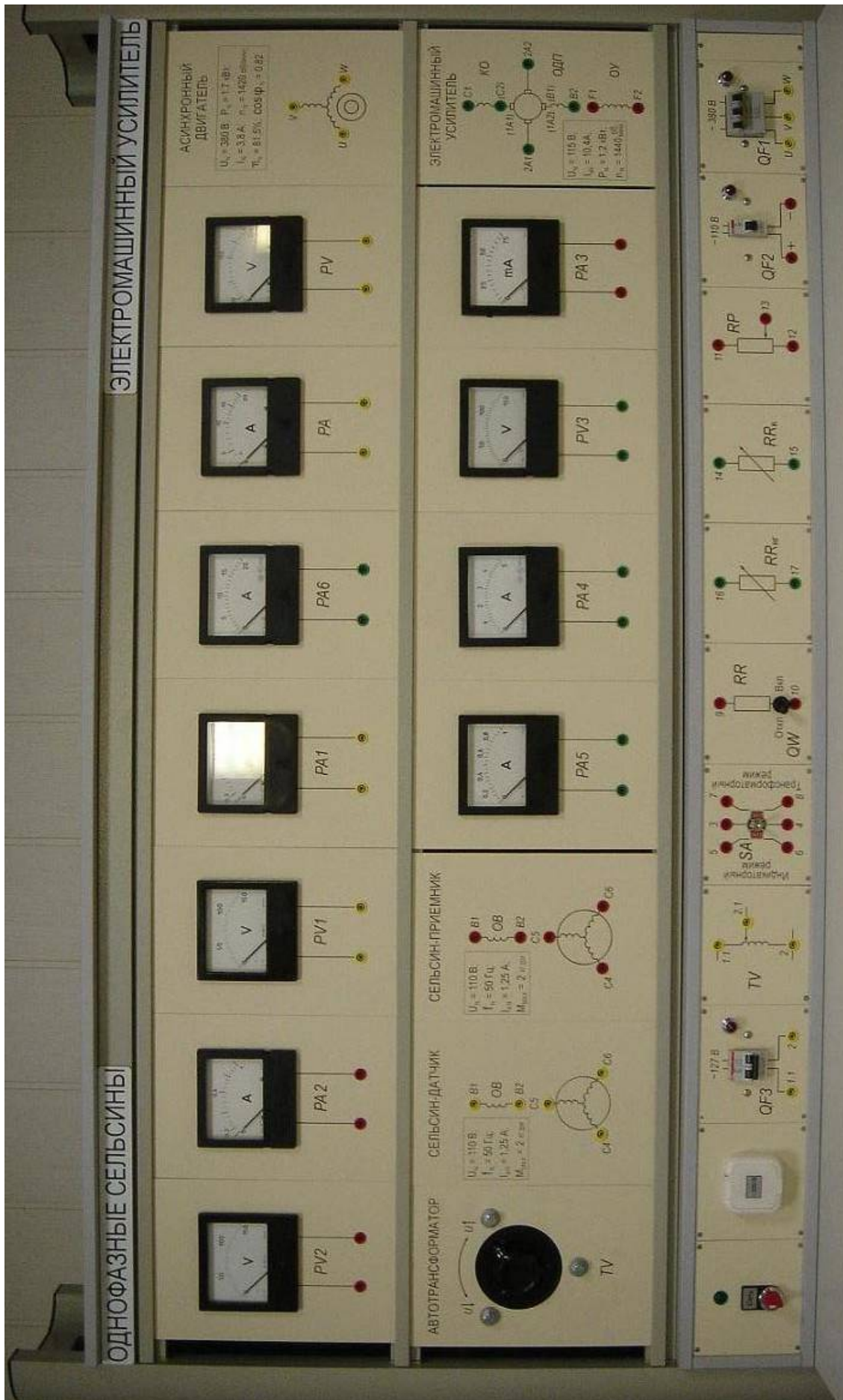


Рис. 4.3. Передняя (приборная) панель “Электромашинный усилитель”



Рис. 4.4. Общий вид стенда “Электромашинный усилитель”