

РАБОТА № 3.

НЕСИММЕТРИЧНАЯ НАГРУЗКА ТРЕХФАЗНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Оглавление

1.	Цель работы	2	57 ¹
2.	Программа работы	2	57
3.	Основы теории	3	57
	3.1. Трансформатор со схемой соединения Y/Y_n	–	58
	3.2. Трансформатор со схемой соединения D/Y_n	–	64
	3.3. Трансформатор со схемой соединения Y/Z_n	–	65
4.	Экспериментальное исследование	3	66
	4.1. Исследование трехфазного трансформатора при несимметричной (однофазной) нагрузке	3	66
	4.2. Определение величины сопротивления нулевой последовательности трансформатора	3	67
	4.3. Аналитическое определение распределения токов трехфазного трансформатора при несимметричной (однофазной) нагрузке	4	67
	4.4. Определение величины смещения нейтрали на основе векторной диаграммы	4	69
	4.5. Аналитическое определение величины смещения нейтрали	5	69
5.	Содержание отчета	6	69
6.	Контрольные вопросы	6	69
	Рис.3.1. Схема лабораторной установки для исследования трансформатора при однофазной нагрузке	7	60
	Рис.3.2. Схема лабораторной установки для определения сопротивления нулевой последовательности трансформатора	8	68
	Рис. 3.3. Передняя (приборная) панель стенда “Трансформатор” (ФОТО)	9	–
	Рис. 3.4. Общий вид стенда “Трансформатор” (ФОТО)	10	–

¹ Номера страниц в учебном пособии:

Забудский Е.И. Электрические машины. Ч. 1. Трансформаторы. Учебное пособие для вузов. – М.: МГАУ, 2002. – 166 с. <http://zei.narod.ru/soderghanie.html>

1. Цель работы

Провести сравнительный анализ влияния схемы соединения трехфазного двухобмоточного трансформатора на искажение симметрии первичных и вторичных линейных и фазных напряжений. Овладеть методикой определения сопротивления нулевой последовательности трансформаторов со схемами соединения Y/Y_n , D/Y_n , Y/Z_n .

2. Программа работы

2.1. Собрать на лабораторном стенде, поочередно, схемы соединения обмоток трансформатора Y/Y_n , Y/Z_n , D/Y_n , нагрузить трансформатор однофазной нагрузкой, измерить распределение токов в обмотках, линейные и фазные напряжения.

2.2. Определить опытным путем для всех вышеуказанных схем величину сопротивления нулевой последовательности трансформатора в целом.

2.3. Рассчитать распределение токов в первичных обмотках и сравнить с результатами эксперимента (п. 2.1).

2.4. Построить в масштабе векторные диаграммы вторичных напряжений, на основании экспериментальных данных (п. 2.1). Определить из диаграмм величину смещения нейтрали (E_n).

2.5. Рассчитать величину смещения нейтрали для всех вышеуказанных схем. При расчете использовать экспериментальные данные (пп. 2.1 и 2.2). Сравнить результаты расчета со значением E_n (п. 2.4).

3. Основы теории

.....

4. Экспериментальное исследование

Для исследования используют трехстержневой трехфазный трансформатор, на котором изменяются только схемы соединения обмоток.

4.1. Исследование трехфазного трансформатора при несимметричной (однофазной) нагрузке

Обмотки трансформатора соединяют поочередно в соответствии со схемами, представленными на рис. 3.1а, б и в. В качестве нагрузки используют одну фазу трехфазного реостата. На первичной обмотке трансформатора с помощью автотрансформатора устанавливают напряжение, равное примерно половине номинального, и нагружают трансформатор однофазной нагрузкой так, чтобы ток во вторичной обмотке был приближен к номинальному значению ($I_a = I_{н2} = 6 А$). Показания амперметров и значения линейных и фазных напряжений обмоток фиксируют (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Схема соединения	Первичная обмотка								Вторичная обмотка						
	Измерение				Расчет				Измерение						
	U_{AB}	I_A	I_B	I_C	K_{21}	I_A	I_B	I_C	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	U_{af}	U_{bf}	U_{cf}	$I_{н2} = I_a$
	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	-	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>B</i>	<i>A</i>
Y/Y_H															6
D/Y_H															6
Y/Z_H															6

4.2. Определение величины сопротивления нулевой последовательности трансформатора

Для определения величины сопротивления нулевой последовательности поочередно собирают схемы, приведенные на рис. 3.2а, б и в.

Поскольку при несимметричной нагрузке ток нулевой последовательности возникает во вторичной обмотке трансформатора, последнюю при определении опытным путем сопротивления нулевой последовательности Z_{0n} используют в качестве питающей обмотки, подводя к ней напряжение U однофазного переменного тока. Однофазный ток I при этом соответствует току нулевой последовательности (рис. 3.2).

Величина сопротивления нулевой последовательности Z_{0n} и его составляющих рассчитывается по формулам:

$$Z_{0n} = U/3I; \quad R_{0n} = P/3I^2; \quad X_{0n} = \sqrt{Z_{0n}^2 - R_{0n}^2},$$

где P – активная мощность, потребляемая трансформатором из сети.

Перед включением схемы необходимо установить минимальное напряжение при помощи автотрансформатора. После включения схемы, регулируя напряжение автотрансформатором, установить ток I , равный току однофазной нагрузки: $I_{нз} = I_a = 6 A$ (табл. 3.1). Результаты измерений и расчетов занести в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Схема соединения	Измерение				Расчет				
	U	P	I	E_n	Z_{0n}	R_{0n}	X_{0n}	$I_{0n} = I_{нз}/3$	E_{0n}
	B	Bm	A	B	Om	Om	Om	A	B
Y/Y_n			6					2	
D/Y_n			6					2	
Y/Z_n			6					2	

4.3. Аналитическое определение распределения токов трехфазного трансформатора при несимметричной (однофазной) нагрузке

Распределение линейных токов $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$ первичной обмотки рассчитывают так: для схемы Y/Y_n – по формулам (9), для схемы D/Y_n – по формулам (14), для схемы Y/Z_n – по формулам (18) раздела 3 (см. [9], с. 61, 64, 65). Результаты расчетов заносят в табл. 3.1 (графа “Расчет”) и сравнивают с распределением токов, полученным из опыта (графа “Измерение”). Необходимо учитывать, что при выводе формул (9), (14) и (18) величина тока холостого хода принималась равной нулю.

4.4. Определение величины смещения нейтрали на основе векторной диаграммы

Для анализа величины смещения нейтрали (ЭДС E_n) при схемах соединения обмоток $Y/Y_n, Y/Z_n, D/Y_n$ необходимо построить векторную диаграмму линейных U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} и фазных $U_{a,\phi}, U_{b,\phi}, U_{c,\phi}$ напряжений вторичной обмотки для каждой из указанных схем. На миллиметровой бумаге, (в масштабе, $10 B/cm$) с помощью циркуля строится треугольник линейных напряжений

и звезда фазных напряжений (данные из табл. 3.1, графа “Вторичная обмотка”). Для определения величины ЭДС E_n необходимо найти центр тяжести (точка пересечения медиан) треугольника линейных напряжений и измерить расстояние между центром тяжести и нейтральной точкой звезды фазных напряжений. Полученная величина является ЭДС E_n . Результаты записываются в табл. 3.2 (графа “Измерение”).

4.5. Аналитическое определение величины смещения нейтрали

Величина смещения нейтрали может быть также определена по формуле

$$E_{0n} \approx I_{0n} Z_{0n},$$

где величина тока нулевой последовательности определяется так

$$I_{0n} = I_n / 3 = I_{нз} / 3 = 2 \text{ A},$$

здесь $I_{нз} = I_a = 6 \text{ A}$ есть ток однофазной нагрузки (табл. 3.1).

Расчетные значения ЭДС E_{0n} для рассматриваемых схем заносятся в табл. 3.2. (графа “Расчет”) и сравниваются со значениями ЭДС E_n , полученными из векторных диаграмм (табл. 3.2, графа “Измерение”).

5. Содержание отчета

Отчет должен содержать программу лабораторной работы, паспортные данные трансформатора, схемы испытаний, результаты опытных и теоретических исследований (табл. 3.1 и 3.2), векторные диаграммы вторичных напряжений трансформатора.

6. Контрольные вопросы

1. Какая схема соединения обмоток трансформатора обуславливает неуравновешенность его магнитной системы (по отношению к основному потоку нулевой последовательности)?
2. Как влияет конструкция магнитной системы на работу трансформатора при несимметричной нагрузке?
3. С какой целью в силовых трансформаторах стремятся уменьшить величину потоков нулевой последовательности, каким образом это делается?
4. Почему ограничивается величина тока в нейтральном проводе? Какова его допустимая величина, если на подстанции установлен трансформатор со схемой соединения обмоток Y/Y_n ? Какова величина допустимой несимметрии напряжений?
5. Что такое сопротивление нулевой последовательности трансформатора в целом, почему схема соединения обмоток влияет на его величину?

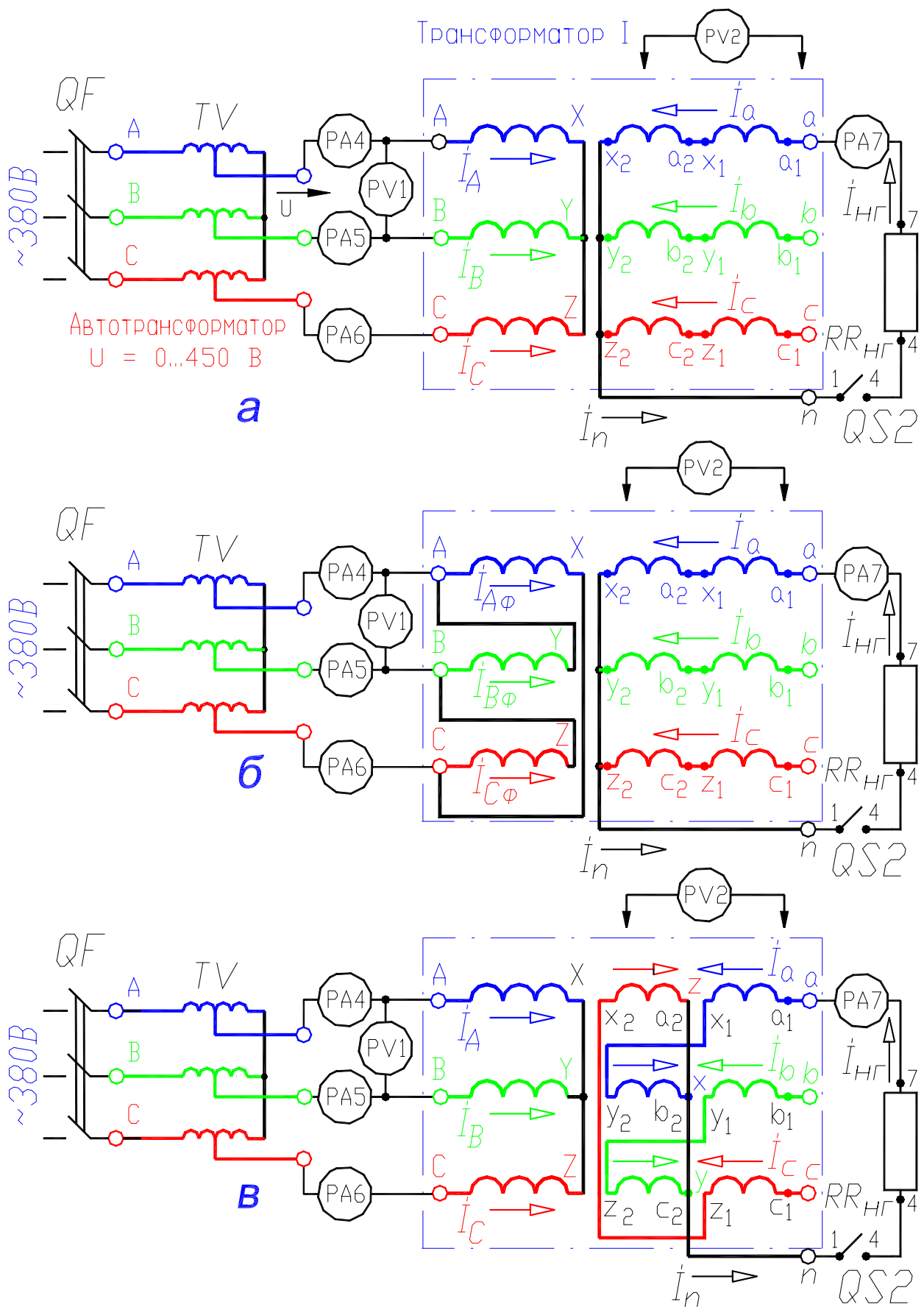


Рис. 3.1. Схема лабораторной установки для исследования трансформатора при однофазной нагрузке со схемой соединения: *а* – Y/Y_H; *б* – D/Y_H; *в* – Y/Z_H

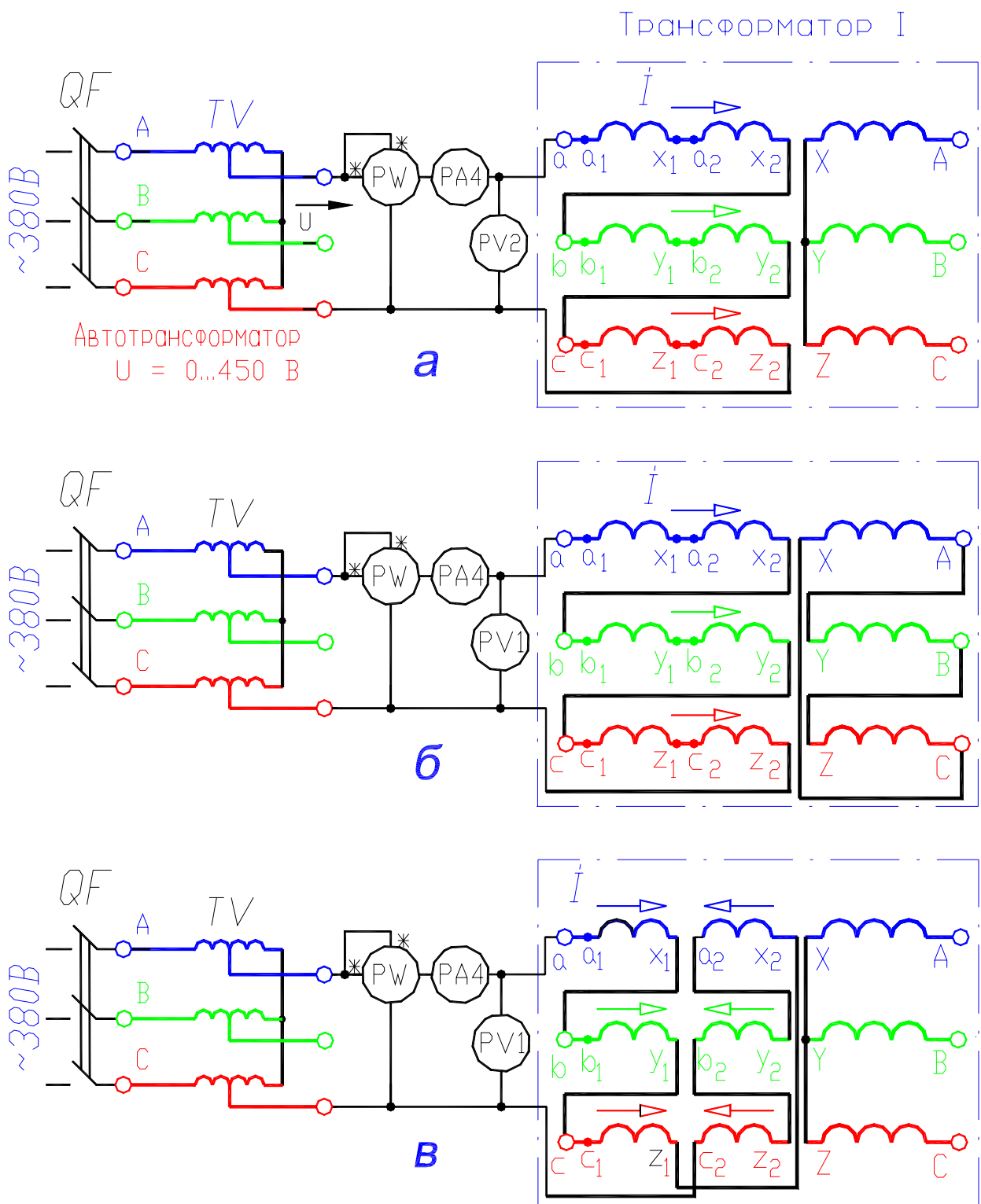


Рис. 3.2. Схема лабораторной установки для определения сопротивления нулевой последовательности трансформатора со схемой соединения: **а** — Y/Y_H ; **б** — D/Y_H ; **в** — Y/Z_H

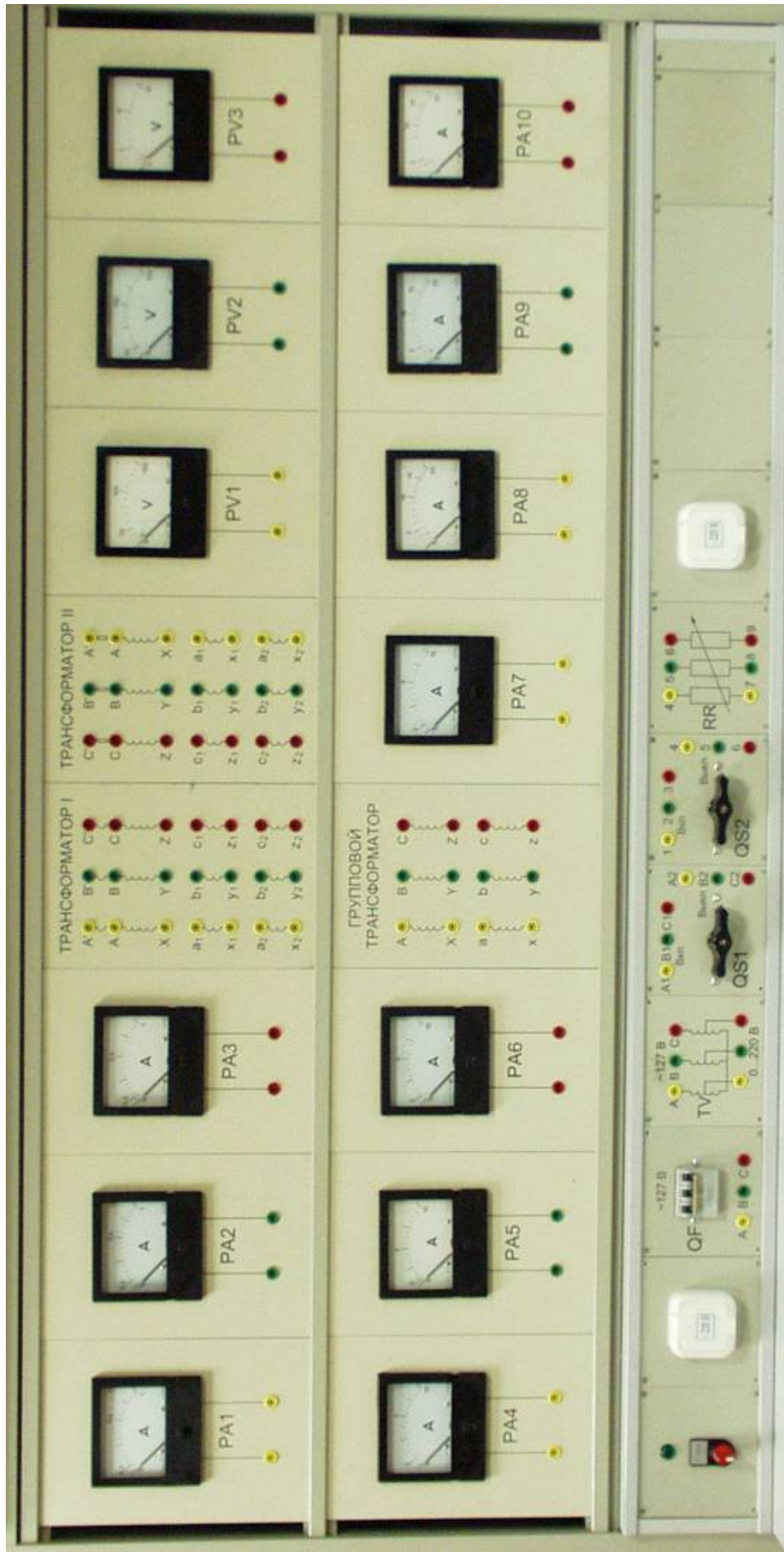


Рис. 3.3. Передняя (приборная) панель стенда “Трансформатор”



Рис. 3.4. Общий вид стенда “Трансформатор”