

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ
СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА,
РАБОТАЮЩЕГО ПАРАЛЛЕЛЬНО
С СИСТЕМОЙ БЕСКОНЕЧНОЙ МОЩНОСТИ**

Методические указания
к выполнению лабораторной работы по дисциплине
Общая энергетика



Томск - 2024

Общие сведения

В данной работе моделируется комплексное управление блоком «генератор-трансформатор», работающим параллельно с системой бесконечной мощности.

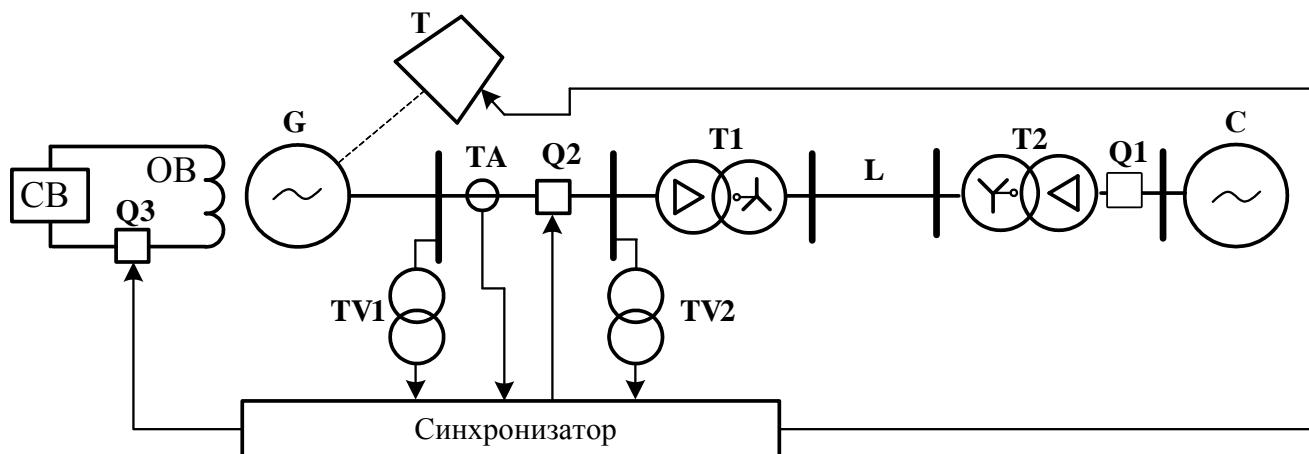


Рис. 1. Электрическая схема: блок генератор-трансформатор, работающий параллельно с системой бесконечной мощности

T – паровая турбина

G – синхронный турбогенератор,

C – система бесконечной мощности,

T1 и T2 – повышающий и понижающий трансформаторы,

L – линия электропередачи,

Q1, Q2, Q3 – выключатели,

CB – система возбуждения, OB – обмотка возбуждения генератора

TV1, TV2 – трансформаторы напряжения,

TA – трансформатор тока

Синхронный генератор (G) в ручном режиме подключается к системе бесконечной мощности (C) методом самосинхронизации и методом точной синхронизации, нагружается активной и реактивной мощностями, разгружается по мощности и отключается по команде оператора.

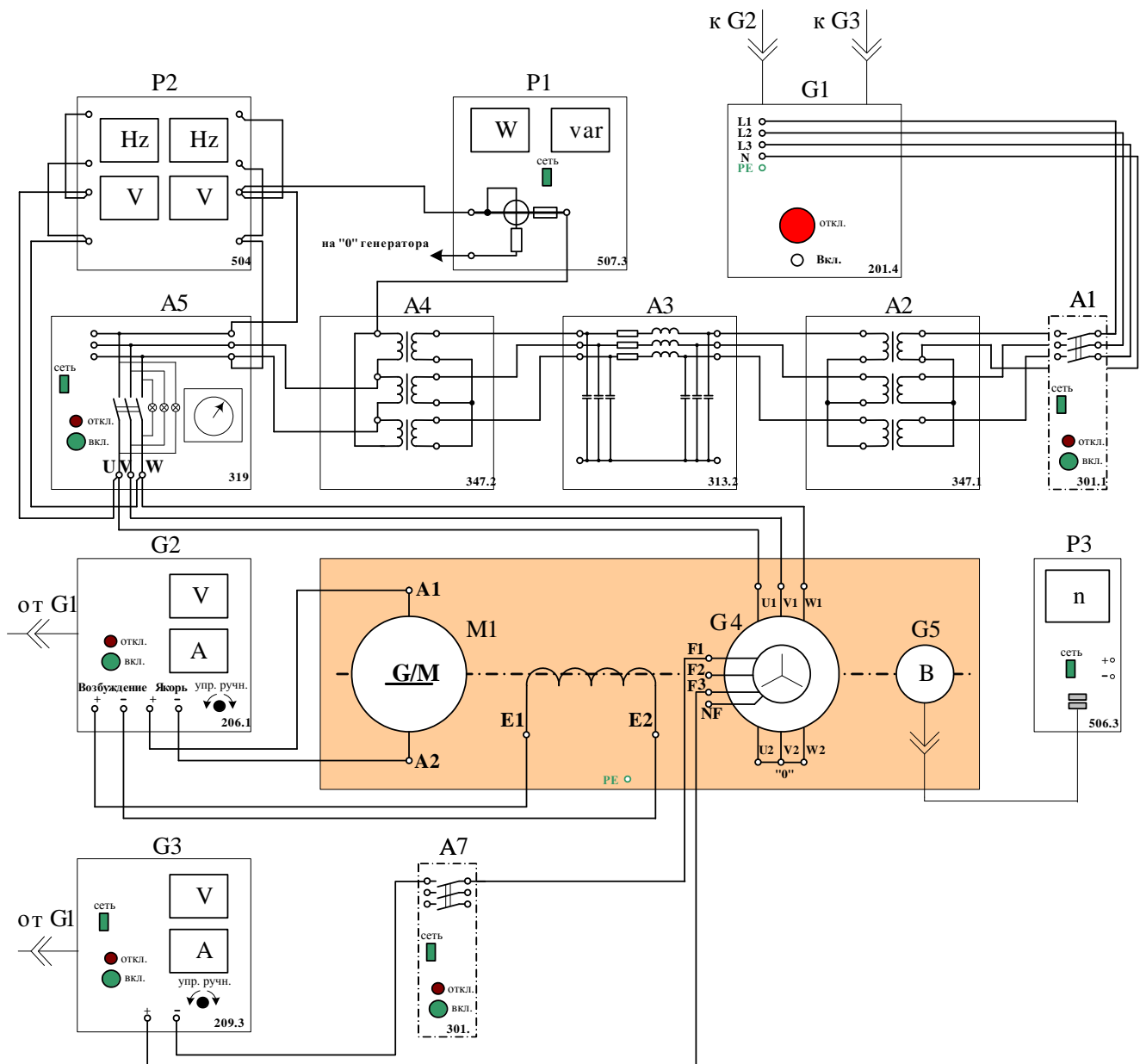


Рис. 2. Электрическая схема соединений лабораторной установки для схемы рис. 1

Таблица 1

Аппаратура (блоки) лабораторной установки

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
A1, A7	Трехполюсный выключатель	301.1	400 В ~; 10 А
A2	Трехфазная трансформаторная группа	347.1	3×80 В·А (звезда) / 220, 225, 230 В / 133, 220, 230, 235, 240, 245 В
A3	Модель линии электропередачи	313.2	400 В ~; 3 × 0,5 А
A4	Трехфазная трансформаторная группа	347.2	3×80 В·А / 133, 220, 230, 235, 240, 245 В / (треугольник) 220, 225, 230 В
A5	Блок синхронизации	319	400 В ~; 10 А, 3 индикаторные лампы;

			синхроноскоп
G1	Трехфазный источник питания	201.4	400 В ~; 16 А
G2	Источник питания двигателя постоянного тока	206.1	Цепь якоря 0...250 В –; 3 А Цепь возбуждения – 200 В; 1 А
G3	Возбудитель синхронной машины	209.3	0...40 В –; 3,5 А
G4	Машина переменного тока	102.1	100 Вт / ~ 230 В / 1500 мин ⁻¹ Номинальное напряжение возбуждения 22 В. Номинальный ток возбуждения 1,85 А Номинальный ток статора 0,26 А
G5	Преобразователь угловых перемещений	104	6 вых. каналов / 2500 импульсов за оборот
M1	Машина постоянного тока	101.2	90 Вт / 220 В / 0,56 А (якорь) / 220 В / 0,2 А (возбуждение)
P1	Измеритель мощностей	507.3	15; 60; 150; 300; 600 В / 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 А.
P2	Измеритель напряжений и частот	504	2 вольтметра 0...500 В ~ 2 частотомера 45...55 Гц; 220 В ~
P3	Указатель частоты вращения	506.3	2000...0...2000 мин ⁻¹

Таблица 2

Условия выполнения синхронизации

Условие	Средство контроля	Критерий выполнения условия	Критерий не выполнения условия	Рекомендации по выполнению условия
Равенство напряжений синхронного генератора и сети	Вольтметры со стороны синхронного генератора и сети	Напряжения со стороны синхронного генератора и сети равны	Напряжения со стороны синхронного генератора и сети неравны	Регулировать напряжение возбуждения синхронного генератора до момента выравнивания напряжений со стороны синхронного генератора и сети
Одинаковый порядок чередования фаз напряжений синхронного генератора и сети	Лампы в разрывах фаз	Лампы в фазах периодически одновременно загораются и гаснут (частоты напряжений не равны); горят (напряжения в противофазе); не	Лампы в фазах периодически неодновременно загораются и гаснут, создавая эффект “кругового огня”	Переключить любые две фазы синхронного генератора

		горят (напряжения синфазные)		
Равенство частот синхронного генератора и сети	Синхроноскоп	Стрелка синхроноскопа неподвижна.	Стрелка синхроноскопа вращается	Регулировать частоту вращения синхронного генератора
Синфазность напряжений синхронного генератора и сети	Синхроноскоп	Стрелка синхроноскопа располагается вертикально напротив риски	Стрелка синхроноскопа отклонена от вертикального положения	Регулировать частоту вращения синхронного генератора

На электростанциях включение генератора осуществляется в следующем порядке:
методом самосинхронизации:

- 1) Разгон генератора приводным двигателем (турбиной) до подсинхронной частоты.
- 2) Подключение невозбужденного генератора к сети включением генераторного выключателя.
- 3) Подключение возбuditеля к генератору. Значение напряжения на выходе возбuditеля должно обеспечивать номинальное значение напряжения на выводах генератора.

методом точной синхронизации:

- 1) Разгон генератора приводным двигателем (турбиной) до подсинхронной частоты.
- 4) Возбуждение генератора – подбирается такое значение напряжения на выходе возбuditеля, которое обеспечивает номинальное значение напряжения на выводах генератора.
- 2) Обеспечение условий точной синхронизации (условия перечислены в таблице 2).
- 5) Включение генератора на параллельную работу включением генераторного выключателя.

Подсинхронная частота ω_r – это частота, близкая к синхронной частоте вращения $\omega_c = 1500 \text{ об}^{-1}$. Скольжение должно находиться в пределах

$$s = \frac{\omega_s}{\omega_r} = \frac{\omega_c - \omega_r}{\omega_c} = 0,03..0,05.$$

Порядок проведения экспериментов

- Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания, а рукоятки источников питания двигателя постоянного тока G2 и

возбудителя синхронной машины G3 вывернуты до упора против часовой стрелки.

- Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока (рис. 3).

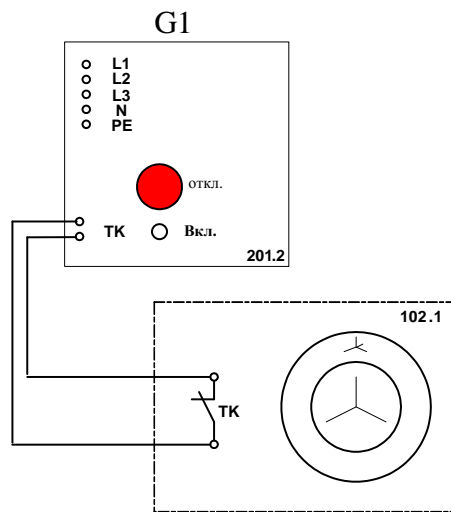


Рис. 3. Электрическая схема соединений тепловой защиты машины переменного тока

- Соедините все гнезда защитного заземления " \oplus " блоков, используемых в эксперименте, между собой и с гнездом «РЕ» источника G1.
- Соедините аппаратуру (блоки) лабораторной установки в соответствии с электрической схемой соединений (рис. 2).
- Переключатели номинальных фазных напряжений трехфазных трансформаторных групп А2 и А4 установите равными 220 В.
- Параметры линии электропередачи А3 установите следующими: $R = 50 \text{ Ом}$, $L/R_L = 0,9 \text{ Гн} / 24 \text{ Ом}$, $C1=C2=0 \text{ мкФ}$.
- Переключатели режимов работы
 - трехполюсных выключателей А1, А7
 - блока синхронизации А5,
 - источника питания двигателя постоянного тока G2,
 - возбудителя синхронной машины G3
 установите в положение «РУЧН.».
- Включите выключатели «СЕТЬ»
 - трехполюсных выключателей А1, А7
 - блока синхронизации А5,
 - возбудителя синхронной машины G3,
 - измерителя мощностей P1,
 - указателя частоты вращения P3.

По заданным параметрам (табл. 1) рассчитайте мощность трехфазного источника питания G1. Сравните с заданной максимальной мощностью машины переменного тока G4 (в процентах).

Мощности	
Генератор	Система
%	100%
Вт	Вт

Подключите генератор G4 на параллельную работу к «системе бесконечной мощности» (G1) **точной синхронизации**, выполнив следующие действия.

- Включите источник G1. О наличии напряжений на его выходе должны сигнализировать светящиеся светодиоды.
- Включите выключатели A1 и A7 нажатием на кнопку «ВКЛ.».
- Включите источник G2, нажав на кнопку «ВКЛ.».
- Медленно вращая регулировочную рукоятку источника G2, установите частоту вращения двигателя M1 (то есть генератора G4) 1500 мин^{-1} . Частоту вращения зафиксируйте по указателю P3.
- Включите возбудитель G3, нажав на кнопку «ВКЛ.» на его передней панели. Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, установите напряжение между фазами (линейное) генератора G4 равным линейному напряжению сети. Равенство напряжений и частот генератора и сети определяйте по измерителю P2.
- Обеспечьте условия синхронизации (таблица 2) по показаниям синхроскопа и подключите генератор к сети нажатием на кнопку «ВКЛ.» блока синхронизации A5.

Нагрузите генератор активной и реактивной мощностями, выполнив следующие действия.

- Выберите предел измерения ваттметра по напряжению и предел по току на основании заданной активной мощности генератора. Рассчитайте цену деления ваттметра и варметра.
- Вращайте регулировочные рукоятки источника G2 и возбудителя G3 соответственно загрузите генератор до заданной преподавателем мощности (10–30 Вт). Наблюдайте за числом оборотов по указателю частоты вращения P3.
- Запишите значения активной и реактивной мощностей по показаниям ваттметра и варметра.

Ваттметр	Варметр
P, Вт	Q, Вар

- Смоделируйте условия недо- и перевозбуждения генератора (кратковременно!), изменяя напряжение U_T на выводах генератора, вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3. Запишите значения напряжения и реактивной мощности в таблицу 3.

Таблица 3

Моделирование режимов недо- и перевозбуждения генератора

Недовозбуждение		Норм. режим	Перевозбуждение	
$U_r = 210 \text{ В}$	$U_r = 215 \text{ В}$	$U_r = 220 \text{ В}$	$U_r = 225 \text{ В}$	$U_r = 230 \text{ В}$
Q, Вар	Q, Вар	Q, Вар	Q, Вар	Q, Вар

Остановите синхронный генератор, выполнив следующие действия.

- Разгрузите генератор по активной и реактивной мощностям до минимума, вращая регулировочные рукоятки источника G2 и возбuditеля G3 соответственно.
- Отключите генератор от сети, нажав для этого кнопку «ОТКЛ.» блока A5 синхронизации.
- Вращая регулировочную рукоятку возбuditеля G3 против часовой стрелки до упора, полностью снимите возбуждение с генератора G4. Отключите возбuditель G3 нажатием на кнопку «ОТКЛ.» на его передней панели.
- Вращая регулировочную рукоятку источника G2 против часовой стрелки до упора, остановите двигатель M1 (генератор G4). Отключите источник G2 нажатием на кнопку «ОТКЛ.» на его передней панели.

Выключите источник G1 и остальную аппаратуру.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ДОПУСКА К РАБОТЕ

1. По схеме рис. 1 перечислите названия всех электроустановок.
2. По схеме рис. 2 перечислите названия и основные характеристики всех блоков: A1,...A7, G1...G4, P1, P2, P3.
3. Покажите по схеме рис. 2 блоки, соответствующие электроустановкам в схеме рис. 1.
4. Как на электростанциях выполняют включение генератора методом самосинхронизации?
5. В каком порядке выключаются блоки для эксперимента включения генератора методом точной синхронизации?
6. Как по синхроскопу блока автоматизации A5 и показаниям вольтметров и частотомеров блока P2 определить нужный момент для включения генератора?
7. Как нагрузить генератор по активной и реактивной мощности?
8. Как определить загрузку генератора по активной и реактивной мощности по показаниям ваттметра и варметра блока P1? Нарисуйте схему включения ваттметра.
9. Напряжение какой частоты будет иметь на выводах синхронный генератор,

если ротор машины вращается со скоростью 1500 об./мин. и имеет одну пару полюсов? Какова частота сети в лабораторной модели? Как можно изменять частоту напряжения и тока, не изменяя скорости вращения ротора?

10. Опишите процесс возбуждения генераторов на электростанциях и в данной лабораторной установке.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ

1. Какие условия должны быть выполнены для момента включения генератора?
2. Почему нельзя подключать генератор к системе в произвольный момент времени?
3. Как осуществляется загрузка генераторов по активной и реактивной мощностям на электростанциях?
4. Как влияет на процесс синхронизации соотношение мощностей генератора, подключаемого на параллельную работу и энергосистемы?
5. Перечислите основные конструктивные элементы двигателя постоянного тока (ДПТ). Как запускается ДПТ?
6. Перечислите основные конструктивные элементы паровой турбины.
7. Перечислите основные конструктивные элементы синхронного трехфазного турбогенератора.
8. Опишите принципиальную конструкцию и назначение трансформаторов напряжения (ТН) и трансформаторов тока (ТТ).
9. Нарисуйте трехфазную схему силового трансформатора с соединением обмоток \star/Δ
10. Какие типичные напряжения обмоток высшего и низшего напряжений имеют силовые блочные трансформаторы?
11. Перечислите типовые номинальные напряжения на выходе современных турбогенераторов различной мощности.
12. Какие физические процессы учитывают коэффициенты R, L, C в схеме замещения линии электропередач? Какой процесс не учтен в схеме замещения ЛЭП данной лабораторной установки?

Приложение 1

Внешний вид блоков лабораторной установки

