



**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»**

Приложение 3  
к приказу АО «СО ЕЭС»  
от 05.09.2019 № 259

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ПРОВЕДЕНИЮ ИСПЫТАНИЙ АВТОМАТИЧЕСКИХ  
РЕГУЛЯТОРОВ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ  
СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ И АЛГОРИТМОВ ИХ  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

<b>Введены в действие с:</b>	05.09.2019
Листов:	119

**Москва  
2019**

1. Настоящие Методические указания по проведению испытаний автоматических регуляторов возбуждения сильного действия синхронных генераторов и алгоритмов их функционирования (далее – Методические указания) разработаны в соответствии с пунктом 18 Требований к системам возбуждения и автоматическим регуляторам возбуждения сильного действия синхронных генераторов, утвержденных приказом Минэнерго России от 13.02.2019 № 98 (далее – Требования).

2. Методические указания являются инструктивно-техническим документом о проведении испытаний автоматических регуляторов возбуждения (далее – АРВ) сильного действия синхронных генераторов и алгоритмов их функционирования, утвержденным системным оператором в соответствии со статьями 14, 38 Федерального закона от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» и пунктом 19 Правил оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 27.12.2004 № 854.

3. Методические указания устанавливают требования к проведению испытаний АРВ сильного действия синхронных генераторов (далее – проведение испытаний АРВ), в том числе содержат:

- схему тестовой модели энергосистемы, на которой проводятся испытания, с указанием электрических параметров ее элементов, дифференцированные в зависимости от типа модели энергосистемы;
- требования к системе контроля и регистрации параметров электроэнергетического режима тестовой модели энергосистемы;
- схемно-режимные условия проведения испытаний;
- перечень экспериментов, подлежащих проведению в рамках испытаний;
- требования к анализу результатов испытаний и критерии признания успешности испытаний.

4. Действие Методических указаний распространяется на:

- системного оператора (АО «СО ЕЭС») и субъектов оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике в технологически изолированных территориальных электроэнергетических системах;
- собственников и иных законных владельцев объектов по производству электрической энергии или входящего в их состав генерирующего оборудования, функционирующих в составе Единой энергетической системы России или технологически изолированных территориальных электроэнергетических систем (далее – собственник или иной законный владелец электростанции (генерирующего оборудования)) или присоединяемых к ним;
- заводы – изготовители АРВ сильного действия синхронных генераторов и иные организации, осуществляющие разработку алгоритмов функционирования АРВ;

- организации, привлекаемые собственниками или иными законными владельцами электростанций (генерирующего оборудования) или заводами – изготовителями для проведения испытаний АРВ.

5. В соответствии с Методическими указаниями проводятся испытания АРВ сильного действия синхронных генераторов, устанавливаемых на объектах по производству электрической энергии, а также алгоритмов функционирования таких АРВ.

6. Методические указания должны применяться для проведения испытаний АРВ на:

- физической модели энергосистемы;
- математической модели энергосистемы с использованием цифрового программно-аппаратного комплекса моделирования энергосистем в режиме реального времени (далее – ПАК РВ).

Тип модели энергосистемы (физическая или математическая), на которой проводятся испытания АРВ, определяется собственником или иным законным владельцем электростанции (генерирующего оборудования) либо АРВ (далее совместно именуются «владелец АРВ»).

7. Проведение испытаний АРВ сильного действия синхронных генераторов и алгоритмов их функционирования на физической модели энергосистемы должно осуществляться в соответствии с методикой, приведенной в приложении 1 к Методическим указаниям.

8. Проведение испытаний АРВ сильного действия синхронных генераторов и алгоритмов их функционирования на математической модели энергосистемы с использованием ПАК РВ должно осуществляться в соответствии с методикой, приведенной в приложении 2 к Методическим указаниям.

9. Испытания АРВ сильного действия синхронных генераторов и алгоритмов их функционирования (далее – испытания) проводятся по программе испытаний, минимальный объем которой приведен в таблице 9 приложения 1<sup>1</sup> или таблице 10 приложения 2<sup>2</sup> к Методическим указаниям.

10. Для проведения испытаний организация (испытательная лаборатория, испытательный центр), проводящая испытания (далее – организация, проводящая испытания), должна быть оснащена соответствующей производственно-технической базой (техническими средствами), необходимой для проведения испытаний, включая физическую модель энергосистемы или математическую модель энергосистемы, созданную с применением ПАК РВ, с характеристиками, требуемыми для проведения испытаний и соответствующими требованиям приложений 1 и 2 к Методическим указаниям.

11. Для проведения испытаний владелец АРВ должен представить организации, проводящей испытания, следующие сведения и документы:

---

<sup>1</sup> При проведении испытаний на физической модели.

<sup>2</sup> При проведении испытаний на ПАК РВ.

- общее техническое описание АРВ сильного действия синхронных генераторов, включающее тип, номинальные параметры, частотные характеристики, область применения (для каких типов систем возбуждения и электростанций предполагается применение), структурную схему алгоритма функционирования АРВ сильного действия синхронных генераторов и ее описание;

- протоколы и методику заводских испытаний АРВ сильного действия синхронных генераторов с приведением данных о характеристиках испытательного стенда, на котором проводились указанные испытания;

- номер версии алгоритма функционирования АРВ, применяемого на проходящем испытании АРВ сильного действия синхронных генераторов, подтвержденный письмом или иным официальным документом завода – изготовителя АРВ;

- параметры настройки АРВ сильного действия синхронных генераторов для тестовой модели энергосистемы (математической модели энергосистемы).

12. Для проведения испытаний владелец АРВ должен передать организации, проводящей испытания, два образца АРВ сильного действия синхронных генераторов и согласовать с ней схемы их подключения к тестовой модели энергосистемы (к интерфейсным блокам ПАК РВ).

13. АРВ сильного действия синхронных генераторов и алгоритм его функционирования считаются успешно прошедшими испытания в случае получения положительных результатов испытаний (подтверждения соответствия Требованиям) во всех экспериментах, предусмотренных методикой проведения испытаний (таблица 9 приложения 1<sup>3</sup> или таблица 10 приложения 2<sup>4</sup> к Методическим указаниям).

14. Результаты испытаний оформляются протоколом. Протокол испытаний должен быть подписан всеми участниками испытаний и содержать в обязательном порядке следующую информацию:

- наименование и адрес владельца АРВ;
- наименование и адрес организации, проводившей испытания;
- номер и дату протокола испытаний, нумерацию каждой страницы протокола, а также общее количество страниц;
- дату (период) проведения испытаний;
- место проведения испытаний;
- перечень лиц, принявших участие в испытаниях;
- ссылку на требования, на соответствие которым проведены испытания;
- программу испытаний;
- описание испытываемого АРВ сильного действия синхронных генераторов (наименование, тип, наименование завода – изготовителя АРВ,

<sup>3</sup> При проведении испытаний на физической модели.

<sup>4</sup> При проведении испытаний на ПАК РВ.

номинальные параметры, частотные характеристики, область применения, номер версии алгоритма функционирования данного АРВ, структурная схема алгоритма функционирования АРВ сильного действия синхронных генераторов и ее описание с учетом внесенных при испытаниях изменений);

– описание тестовой модели энергосистемы (математической модели энергосистемы), на которой проводились испытания;

– результаты проведенных испытаний, содержащие материалы, иллюстрирующие работу АРВ в каждом из проведенных экспериментов;

– анализ результатов испытаний и оценку испытываемого АРВ в каждом из проведенных экспериментов.

15. Информация о результатах испытаний с указанием наименования АРВ, его типа (марки), завода-изготовителя, номера версии алгоритма функционирования АРВ, в отношении которой проводились испытания, и приложением копии протокола испытаний должна быть направлена владельцем АРВ (уполномоченным им лицом) системному оператору (в случае, если соответствующий объект по производству электрической энергии, на котором установлен (планируется к установке) АРВ, находится (будет находиться) в зоне диспетчерской ответственности субъекта оперативно-диспетчерского управления в технологически изолированной территориальной электроэнергетической системе – также такому субъекту оперативно-диспетчерского управления) в сроки, указанные в пункте 18 Требований.

16. Информация об АРВ сильного действия синхронных генераторов и алгоритмах их функционирования, успешно прошедших испытания в соответствии с Методическими указаниями и пунктом 18 Требований, публикуется АО «СО ЕЭС» в открытом доступе на официальном сайте АО «СО ЕЭС» в сети «Интернет».

## Приложение 1

### МЕТОДИКА

#### **проведения испытаний автоматических регуляторов возбуждения сильного действия синхронных генераторов и алгоритмов их функционирования на физической модели энергосистемы**

##### **1. Область применения**

Настоящая Методика должна применяться при проведении испытаний автоматических регуляторов возбуждения (далее – АРВ) сильного действия синхронных генераторов и алгоритмов их функционирования на физической модели энергосистемы для проверки на соответствие Требованиям к системам возбуждения и автоматическим регуляторам возбуждения сильного действия синхронных генераторов, утвержденным приказом Минэнерго России от 13.02.2019 № 98 (далее – Требования).

##### **2. Этапность подготовки и проведения испытаний**

Испытания АРВ сильного действия синхронных генераторов и алгоритмов их функционирования на физической модели энергосистемы (далее – тестовая модель энергосистемы) должны содержать следующие этапы:

- сборка тестовой модели энергосистемы;
- проведение испытаний;
- анализ результатов испытаний.

##### **3. Сборка тестовой модели энергосистемы**

###### **3.1. Общие положения**

3.1.1. Тестовая модель энергосистемы должна быть собрана в соответствии со схемой, приведенной в пункте 3.2 настоящей Методики.

3.1.2. Тестовая модель энергосистемы должна быть оснащена:

- АРВ синхронных генераторов и автоматическими регуляторами скорости турбин;
- устройствами, реализующими короткие замыкания различного вида;
- устройствами моделирования действия релейной защиты и автоматики;
- системой контроля и регистрации параметров электроэнергетического режима.

###### **3.2. Схема тестовой модели энергосистемы**

3.2.1. Схема должна включать 6 синхронных генераторов со своими блочными трансформаторами, 5 узлов нагрузки и 7 линий электропередачи.

Синхронные генераторы Г-1\_1, Г-1\_2, Г-1\_3 должны представлять модель электрической станции № 1, оснащенной тремя одинаковыми синхронными генераторами, работающими на шины 500 кВ, на один или два из которых устанавливаются испытываемые АРВ сильного действия.

Схема тестовой модели энергосистемы должна соответствовать схеме, представленной на рисунке 1.

На указанной схеме используются следующие обозначения:

ЭС – электрическая станция;

Г – генератор;

Т – трансформатор;

Д – асинхронный двигатель нагрузки;

Р – активный шунт нагрузки;

Л – линия электропередачи;

С – емкость;

КС – контактор;

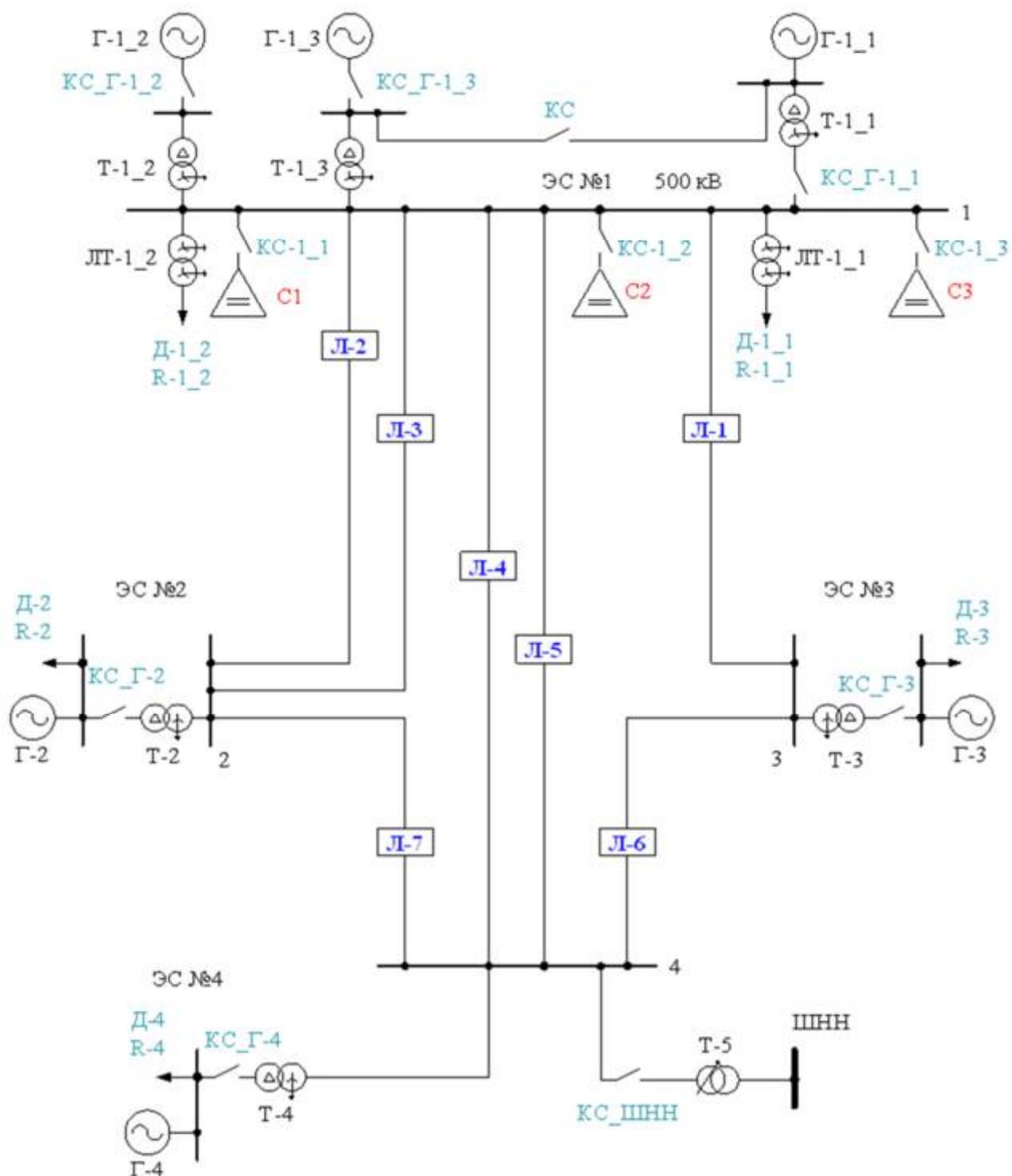
ШНН – шины неизменного напряжения;

ЛТ – линейный трансформатор нагрузки.

3.2.2. Тестовая модель энергосистемы должна иметь возможность осуществления переключений, необходимых для проведения экспериментов, указанных в таблице 9.

3.2.3. Диапазон изменения нагрузки потребления, подключенной к шинам электрических станций № 1–3 и эквивалентной энергосистемы (генератор Г-4), должен обеспечивать возможность создания перетоков активной мощности по ветвям физической модели не менее указанных на рисунках 2–19.

3.2.4. Параметры линий электропередачи, трансформаторов, синхронных генераторов, бесщеточных возбудителей, нагрузок и емкостей тестовой модели энергосистемы приведены в таблицах 1–6.



**Рисунок 1. Схема тестовой модели энергосистемы для испытаний АРВ сильного действия синхронных генераторов**

Таблица 1

Параметры линий электропередачи, приведенные к напряжению 500 кВ

Номера узлов примыкания	Обозначение линии	$X_1$	$X_0$	$R_1$	$R_0$
		Ом	Ом	Ом	Ом
1–3	Л-1	100	370	3,6	52,6
1–2	Л-2	50	185	2,6	26,6
	Л-3	100	370	6,8	55,8
1–4	Л-4	25	91	1,2	13,7
	Л-5	100	370	5,2	54,2
3–4	Л-6	50	185	2,5	26,5
2–4	Л-7	50	185	4,5	28,5

Таблица 2

Параметры синхронных генераторов

Номер генератора	$S_{ном}$	$U_{ном}$	$\cos \varphi$	Реактивности*				$T_{do}$	$T_j$
				$X_d$	$X_q$	$X_d'$	$X_d''$	с	с
	МВт	кВ		о.е.	о.е.	о.е.	о.е.	с	с
1_1	2500	210	0,8	1,88	1,65	0,184	0,098	7	7
1_2	2500	210	0,8	1,63	1,01	0,186	0,084	7	7
1_3	2500	210	0,8	1,85	1,78	0,204	0,093	7	7
2	9000	230	0,8	1,05	0,9	0,287	0,09	7	10
3	2500	230	0,8	1,33	1,18	0,143	0,079	7	9
4	125 000	230	0,8	10,37	6,68	2,838	0,89	7	8**
5	ШНН – шины неизменного напряжения								

\*) Относительные величины реактивностей приведены к номинальной полной мощности и номинальному напряжению.

\*\*) Величина инерционной постоянной генератора приведена для мощности 15 000 МВт.

Таблица 3

Параметры бесщеточных возбудителей

Номер генератора (возбудителя)	$S_{ном}$	$U_{ном}$	Реактивности*					$T_{do}$
			$X_d$	$X_q$	$X_d'$	$X_d''$	$X_q''$	с
	МВт	кВ	о.е.	о.е.	о.е.	о.е.	о.е.	с
1_1 (В-1_1)	257,7	74,3	0,45	0,4	0,143	0,084	0,106	0,94
1_3 (В-1_3)	267,5	72,5	0,46	0,44	0,154	0,09	0,103	0,95

\*) Относительные величины реактивностей приведены к номинальной полной мощности и номинальному напряжению.

Таблица 4

## Параметры трансформаторов

Название	$S_{T\_ном}$	$U_B$	$U_H$	$P_{х.х.}$	$P_{к.з.}$	$u_k$	$I_x$
	МВА	кВ	кВ	МВт	МВт	%	%
Т-1_1	2000	500	212,5	52,5	22,5	12,72	3,62
Т-1_2	2000	500	211,5	70,5	26,8	12,13	4,22
Т-1_3	2000	500	213,3	30,97	18,33	12,85	1,95
Т-2	2000	500	220,0	108,5	6,8	4,09	7,36
Т-3	2000	500	233,5	84,0	57,0	10,34	5,69
Т-4	50000	500	233,0	110,7	2941	66,76	0,285
ЛТ-1_1	1600	500	234	75,0	19,8	2,13	9,48
ЛТ-1_2	1600	500	230	75,0	17,8	1,87	9,84

Таблица 5

## Параметры нагрузок

Номер узла схемы	Номер нагрузки	Промышленная нагрузка (асинхронный двигатель)	Бытовая нагрузка (активный шунт)
		$P_{ном}$	$P_{ном}^*$
		МВт	МВт
1	Д-1_1, R-1_1	1120	420
	Д-1_2, R-1_2	680	220
2	Д-2, R-2	2800	2650
3	Д-3, R-3	1800	770
5	Д-4, R-4	5600	3030

\*) Величина активной мощности шунта при напряжении 230 кВ.

Таблица 6

## Параметры емкостей

Название	$U_{ном}$	$Q_{ш}$
	кВ	Мвар
С1	500	188
С2	500	966
С3	500	984

В таблицах 1–4 используются следующие обозначения:

- $X_1$  – индуктивное сопротивление прямой последовательности;
- $X_0$  – индуктивное сопротивление нулевой последовательности;
- $R_1$  – активное сопротивление прямой последовательности;
- $R_0$  – активное сопротивление нулевой последовательности;
- $S_{ном}$  – номинальная полная мощность генератора;

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение генератора;  
 $X_d$  – продольное синхронное индуктивное сопротивление;  
 $X_q$  – поперечное синхронное индуктивное сопротивление;  
 $X_d'$  – продольное переходное синхронное индуктивное сопротивление;  
 $X_d''$  – продольное сверхпереходное синхронное индуктивное сопротивление;  
 $T_{d0}$  – постоянная времени обмотки возбуждения при разомкнутой статорной обмотке;  
 $T_j$  – механическая инерционная постоянная агрегата (генератора и турбины);  
 $\cos\varphi$  – коэффициент мощности;  
 $U_B$  – номинальное напряжение на стороне высокого напряжения трансформатора;  
 $U_H$  – номинальное напряжение на стороне низкого напряжения трансформатора;  
 $S_{T_{\text{ном}}}$  – номинальная полная мощность трансформатора;  
 $P_{\text{х.х.}}$  – потери холостого хода трансформатора;  
 $P_{\text{к.з.}}$  – потери короткого замыкания трансформатора;  
 $u_k$  – напряжение короткого замыкания трансформатора (в % от  $U_{\text{ном}}$ );  
 $I_{\text{х.х.}}$  – ток холостого хода трансформатора (в % от  $I_{\text{ном}}$ ).

### 3.3. Автоматические регуляторы возбуждения синхронных генераторов и автоматические регуляторы скорости турбин

3.3.1. Синхронные генераторы Г-1\_1, Г-1\_2, Г-1\_3 должны быть оснащены быстродействующими тиристорными или бесщеточными (В-1\_1 для Г-1\_1 и В-1\_3 для Г-1\_3) системами возбуждения и АРВ сильного действия синхронных генераторов.

В зависимости от проводимых в рамках испытаний экспериментов АРВ одного или двух из генераторов Г-1\_1, Г-1\_3 должны заменяться АРВ сильного действия синхронных генераторов, в отношении которых проводятся испытания. Остальные синхронные генераторы должны быть оснащены тиристорными системами возбуждения с регуляторами пропорционального типа.

3.3.2. Настройка всех АРВ, которыми оснащены синхронные генераторы тестовой модели (кроме АРВ, в отношении которых проводятся испытания), должна быть выполнена в соответствии с параметрами, приведенными в таблице 7.

Для формирования закона управления АРВ сильного действия могут использоваться постоянные времени, приведенные в таблице 8, либо иные постоянные времени, соответствующие параметрам реальных устройств АРВ сильного действия.

Таблица 7

Параметры настройки АРВ синхронных генераторов тестовой модели

Номер генератора	ТИП СВ	ТИП АРВ	Коэффициенты					$T_{\text{СВ}}$ с
			$K_U$	$K_{1U}$	$K_{1F}$	$K_F$	$K_{1F}$	
			е.в.н./ е.н.с.	е.в.н./ е.н.с./с	е.в.н./ е.т.р./с	е.в.н./ Гц	е.в.н./ Гц/с	
1_2	Тиристорная	АРВ-СД	50	4,7	0,7	2,0	3,1	0,04

2	Тиристорная	АРВ-П	1	–	–	–	–	0,04
3	Тиристорная	АРВ-П	25	–	–	–	–	0,04
4	Тиристорная	АРВ-П	5	–	–	–	–	0,04

Обозначения, используемые в таблице 7:

- $K_U$  – коэффициент усиления пропорционального канала регулятора напряжения (по отклонению напряжения);
- $K_{IU}$  – коэффициент усиления дифференциального канала регулятора напряжения (по производной напряжения);
- $K_{IIF}$  – коэффициент усиления канала внутренней стабилизации по производной тока ротора;
- $K_F$  – коэффициент усиления канала системной стабилизации по частоте напряжения;
- $K_{IF}$  – коэффициент усиления канала системной стабилизации по производной частоты напряжения;
- АРВ-СД – автоматический регулятор возбуждения сильного действия;
- АРВ-П – автоматический регулятор возбуждения пропорционального типа;
- $T_{CB}$  – постоянная времени системы возбуждения.

Таблица 8

Параметры АРВ синхронных генераторов тестовой модели

Тип АРВ	$T_U$	$T_{IU}$	$T_{F-3}$	$T_{F-2}$	$T_{F-1}$	$T_{IF-3}$	$T_{IF-2}$	$T_{IF-1}$	$T_{IIF}$
	мкс	мс	с <sup>3</sup>	с <sup>2</sup>	с	с <sup>3</sup>	с <sup>2</sup>	мс	мс
АРВ-СД / АРВ-П	159,7	42,11	$775,0 \cdot 10^{-6}$	$46,42 \cdot 10^{-3}$	0,8351	$22,40 \cdot 10^{-6}$	$2,371 \cdot 10^{-3}$	87,89	29,72

Обозначения, используемые в таблице 8:

- $T_U$  – постоянная времени регулирования пропорционального канала;
- $T_{IU}$  – постоянная времени регулирования дифференциального канала;
- $T_{F-1}$ ,  $T_{F-2}$ ,  $T_{F-3}$  – постоянная времени и коэффициенты канала по отклонению частоты напряжения,  $T_{IF-1}$ ,  $T_{IF-2}$ ,  $T_{IF-3}$  – постоянная времени и коэффициенты канала по производной отклонения частоты напряжения;
- $T_{IIF}$  – постоянная времени регулирования канала по производной тока ротора;
- АРВ-СД – автоматический регулятор возбуждения сильного действия;
- АРВ-П – автоматический регулятор возбуждения пропорционального типа.

3.3.3. Все электростанции тестовой модели энергосистемы должны быть оснащены устройствами, моделирующими автоматические регуляторы скорости турбины со статизмом регулирования 5 %.

### 3.4. Система контроля и регистрации параметров электроэнергетического режима

3.4.1. Тестовая модель энергосистемы должна быть оснащена системой контроля и регистрации параметров электроэнергетического режима.

3.4.2. Система контроля параметров электроэнергетического режима должна обеспечивать измерение и визуализацию напряжений во всех узлах и потоках активной мощности во всех ветвях тестовой модели энергосистемы.

3.4.3. Система регистрации параметров электроэнергетического режима должна обеспечивать одновременную синхронизированную по времени регистрацию следующих параметров электроэнергетического режима:

- потоки активной мощности по линиям электропередачи Л-1 [P<sub>1-3</sub>], Л-2 и Л-3 [P<sub>1-2</sub>], Л-4 и Л-5 [P<sub>1-4</sub>]<sup>5</sup>;
- активная и реактивная мощности генераторов Г-1<sub>1</sub> [P<sub>Г-1</sub>, Q<sub>Г-1</sub>], Г-1<sub>2</sub> [P<sub>Г-2</sub>, Q<sub>Г-2</sub>] и Г-1<sub>3</sub> [P<sub>Г-3</sub>, Q<sub>Г-3</sub>];
- напряжения статора генераторов Г-1<sub>1</sub> [U<sub>Г-1</sub>], Г-1<sub>2</sub> [U<sub>Г-2</sub>] и Г-1<sub>3</sub> [U<sub>Г-3</sub>];
- напряжения возбуждения генераторов Г-1<sub>1</sub> [U<sub>fГ-1</sub>], Г-1<sub>2</sub> [U<sub>fГ-2</sub>] и Г-1<sub>3</sub> [U<sub>fГ-3</sub>];
- токи ротора генераторов Г-1<sub>1</sub> [i<sub>fГ-1</sub>], Г-1<sub>2</sub> [i<sub>fГ-2</sub>] и Г-1<sub>3</sub> [i<sub>fГ-3</sub>];
- напряжения возбуждения возбуждителей В-1<sub>1</sub> [U<sub>fВ-1</sub>] и В-1<sub>3</sub> [U<sub>fВ-3</sub>];
- токи возбуждения возбуждителей В-1<sub>1</sub> [i<sub>fВ-1</sub>] и В-1<sub>3</sub> [i<sub>fВ-3</sub>];
- напряжения фаз А [U<sub>1a</sub>], В [U<sub>1b</sub>] и С [U<sub>1c</sub>] на шинах 500 кВ узла 1;
- частота электрического тока в узле 1 [df];
- относительный угол между ЭДС генератора Г-1<sub>1</sub> (Г-1<sub>3</sub>) и напряжением узла 4 [б<sub>1-4</sub>];
- относительный угол между ЭДС генератора Г-3 и ЭДС генератора Г-1<sub>1</sub> (Г-1<sub>3</sub>) [б<sub>3-1</sub>];
- относительный угол между ЭДС генератора Г-2 и ЭДС генератора Г-1<sub>1</sub> (Г-1<sub>3</sub>) [б<sub>2-1</sub>];
- ток ротора генератора Г-1<sub>1</sub>, рассчитанный с использованием диаграммы Потье (сигнал подается от испытываемого АРВ) [i<sub>fПотье</sub>].

3.4.4. Система регистрации параметров электроэнергетического режима должна обеспечивать:

- измерение фиксируемых параметров электроэнергетического режима с дискретностью не более 1 мс;
- запись фиксируемых параметров электроэнергетического режима с дискретностью не более 20 мс;
- запись фиксируемых параметров электроэнергетического режима в течение не менее 180 с.

### 3.5. Подключение АРВ сильного действия к синхронному генератору

<sup>5</sup> В квадратных скобках приведены обозначения электрических параметров, используемые на рисунках 20–41.

Подключение АРВ, в отношении которого проводятся испытания, к физической модели должно осуществляться в соответствии с документацией завода – изготовителя АРВ.

Подключение должно обеспечить адекватное функционирование АРВ при выполнении всех экспериментов программы испытаний.

#### **4. Проведение испытаний**

##### **4.1. Схемно-режимные условия проведения испытаний**

4.1.1. Испытания должны проводиться в схемно-режимных условиях, указанных на рисунках 2–19.

4.1.2. Проверка работы АРВ сильного действия синхронных генераторов осуществляется путем моделирования следующих возмущений:

1) тестовые возмущения:

- ступенчатое изменение уставки по напряжению испытываемого АРВ на + 5 % от номинального значения (тестовое возмущение 1);

- однофазное короткое замыкание (длительностью 0,04 с) на шинах электрической станции № 1 (тестовое возмущение 2);

- ступенчатое изменение напряжения на шинах электрической станции № 1 путем подключения емкости  $C2$  к шинам электрической станции № 1 (тестовое возмущение 3). В экспериментах 17 и 18 тестовое возмущение реализуется посредством подключения емкости  $C1$  к шинам электрической станции № 1;

2) нормативные возмущения в соответствии с [1] со следующими параметрами:

- длительность короткого замыкания (далее – КЗ) 0,12 с;

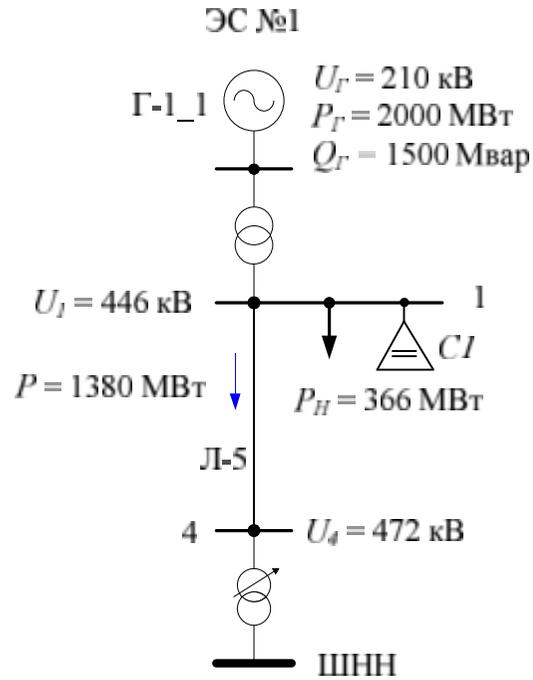
- длительность бестоковой паузы однофазного автоматического повторного включения (далее – ОАПВ) 1 с;

- длительность бестоковой паузы трехфазного автоматического повторного включения (далее – ТАПВ) 2 с;

- время отключения фазы действием устройства резервирования при отказе выключателя (далее – УРОВ) при отказе выключателя 0,35 с;

- запаздывание на ввод управляющего воздействия от ПА 0,4 с с момента возникновения короткого замыкания.

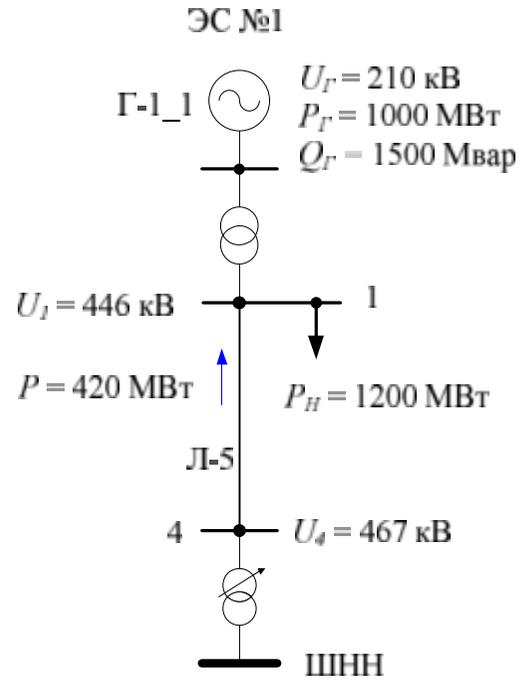
**Схема 1. Режим 1**



$X_{1-4} = 100$  Ом

**Рисунок 2**

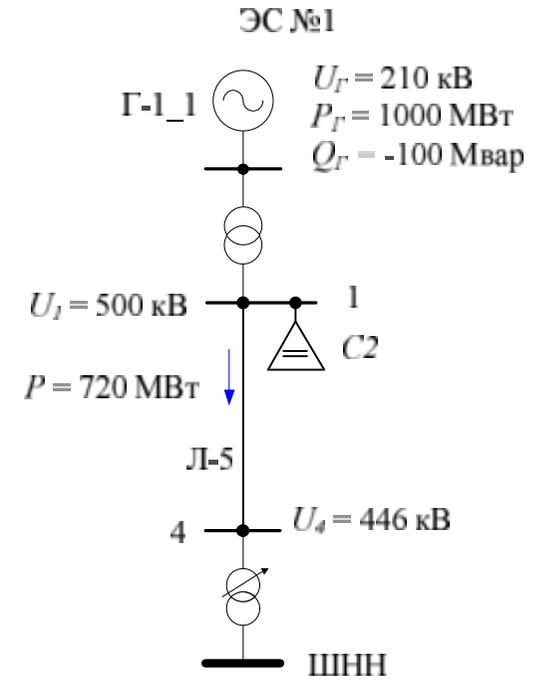
**Схема 1. Режим 2**



$X_{1-4} = 100$  Ом

**Рисунок 3**

**Схема 1. Режим 3**



$X_{1-4} = 100$  Ом

**Рисунок 4**

Схема 2.1. Режим 4

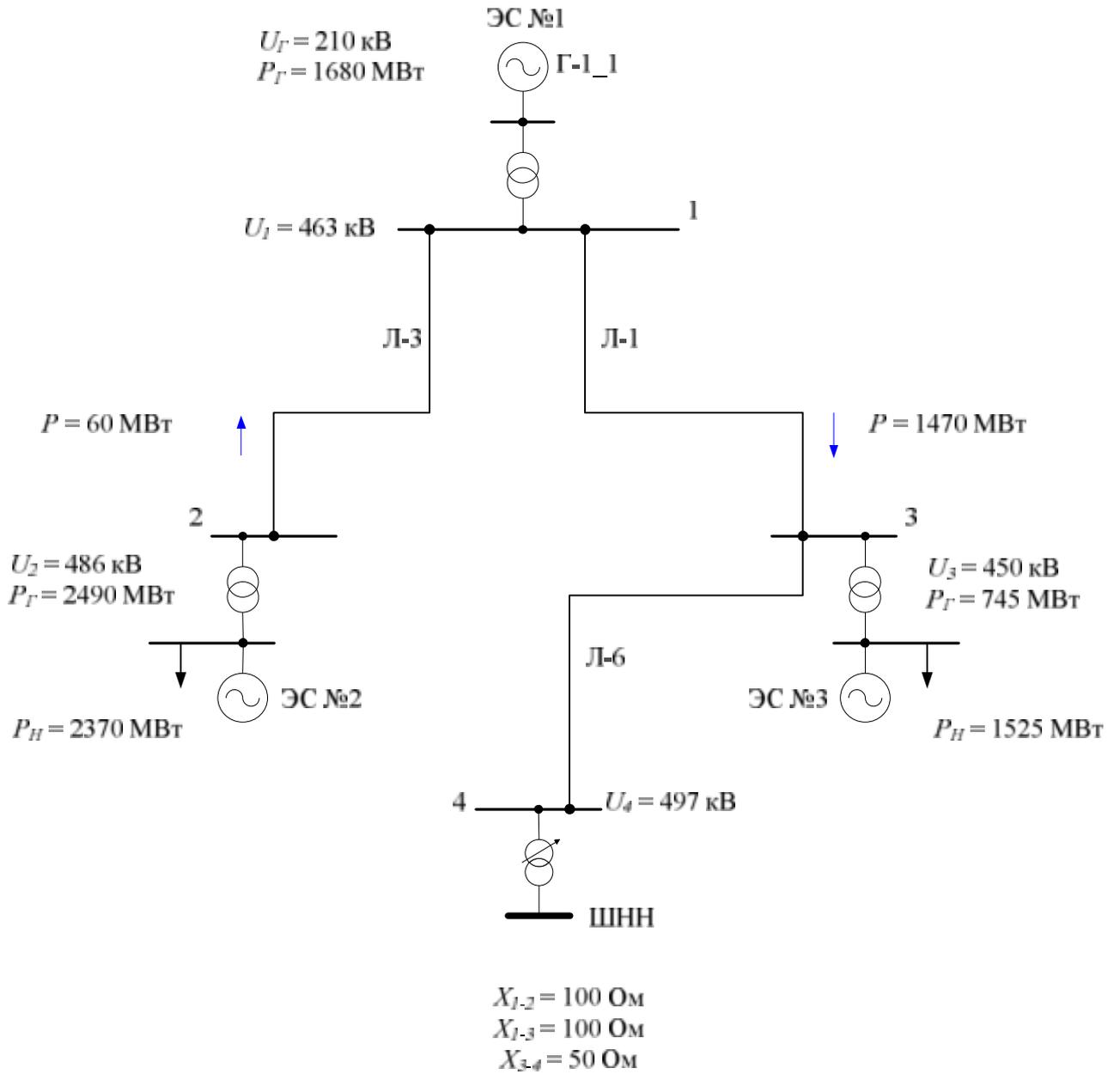


Рисунок 5

Схема 2.2. Режим 4

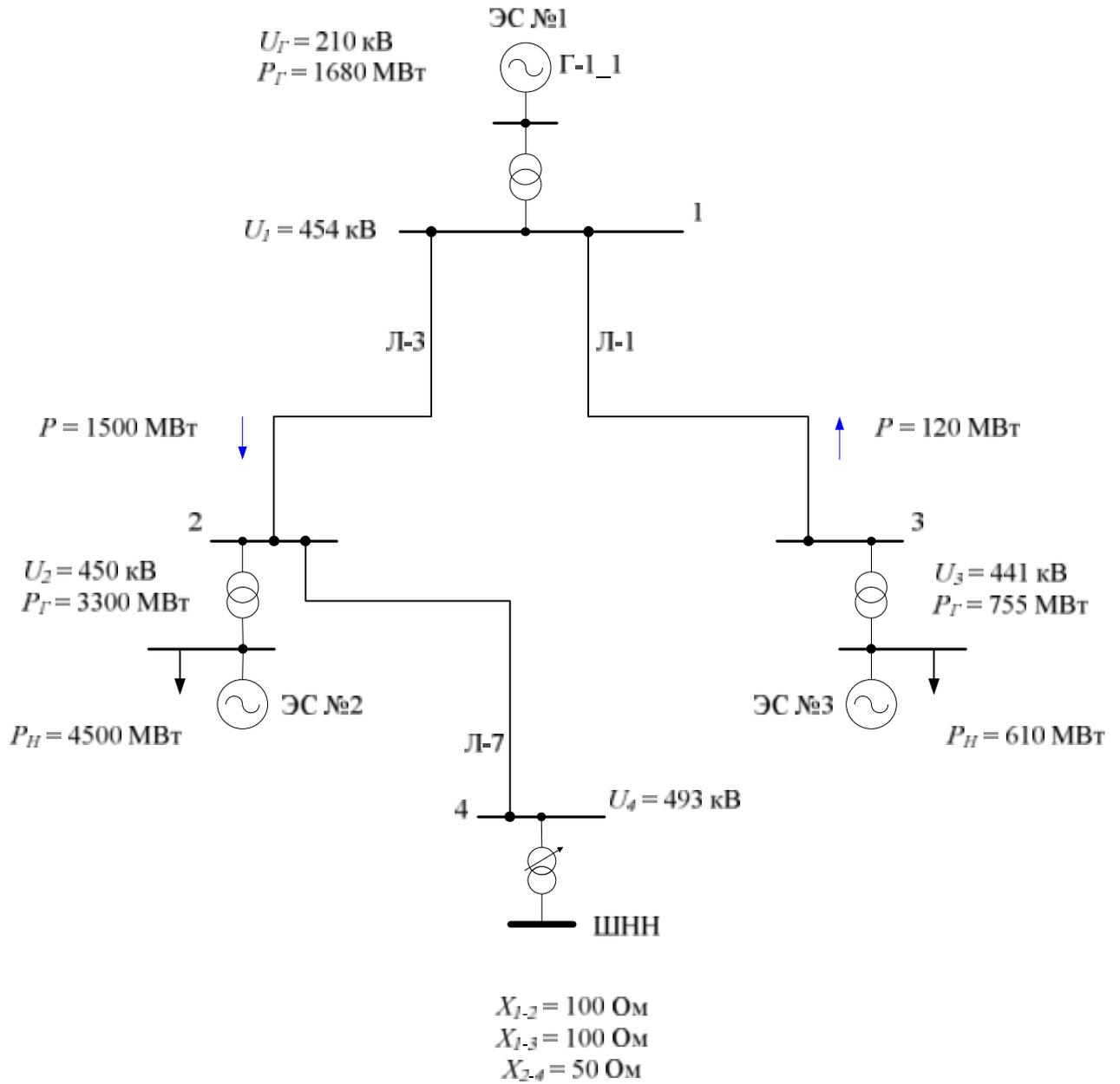


Рисунок 6

### Схема 3. Режим 5

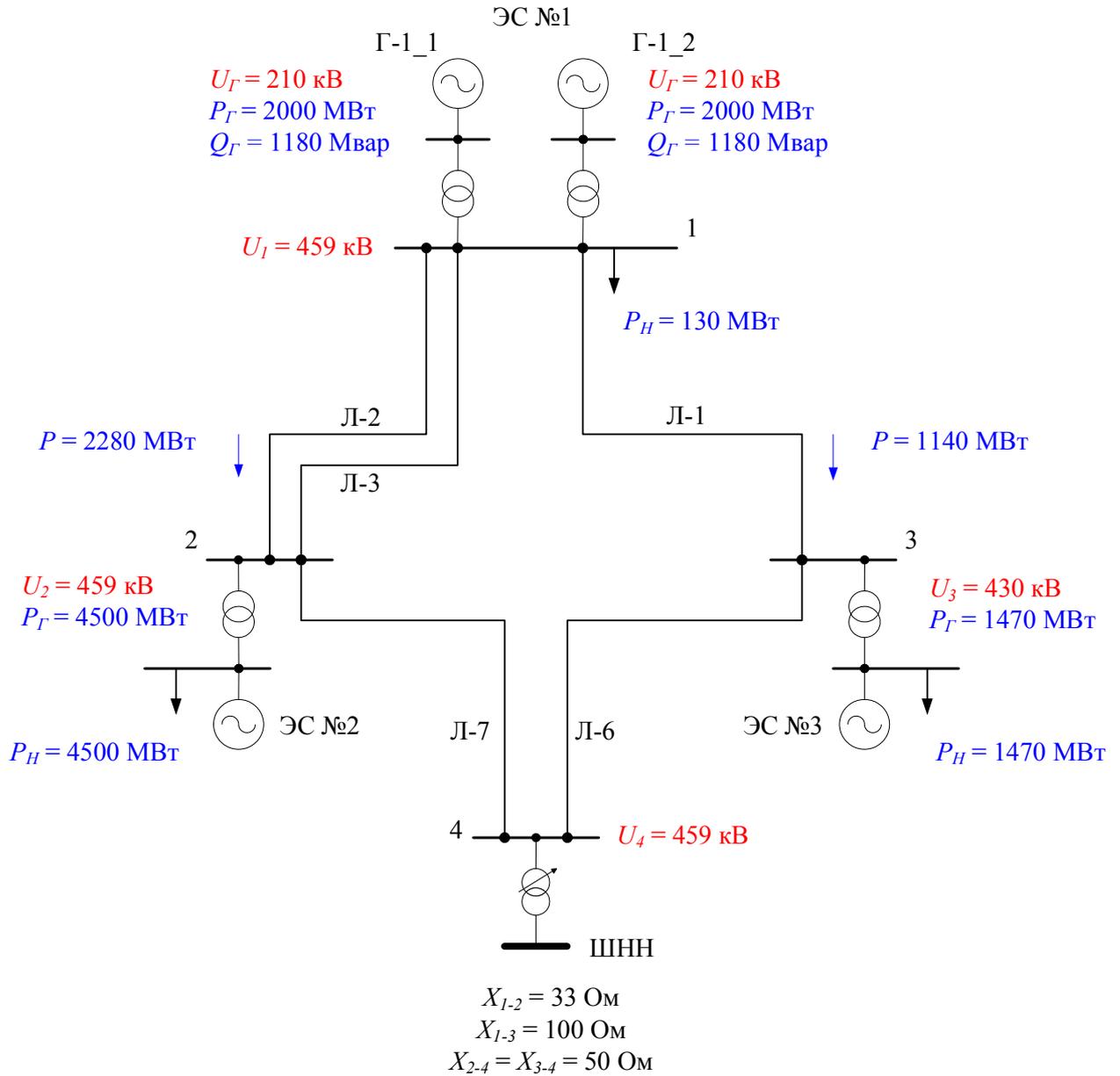


Рисунок 7

## Схема 3. Режим 6

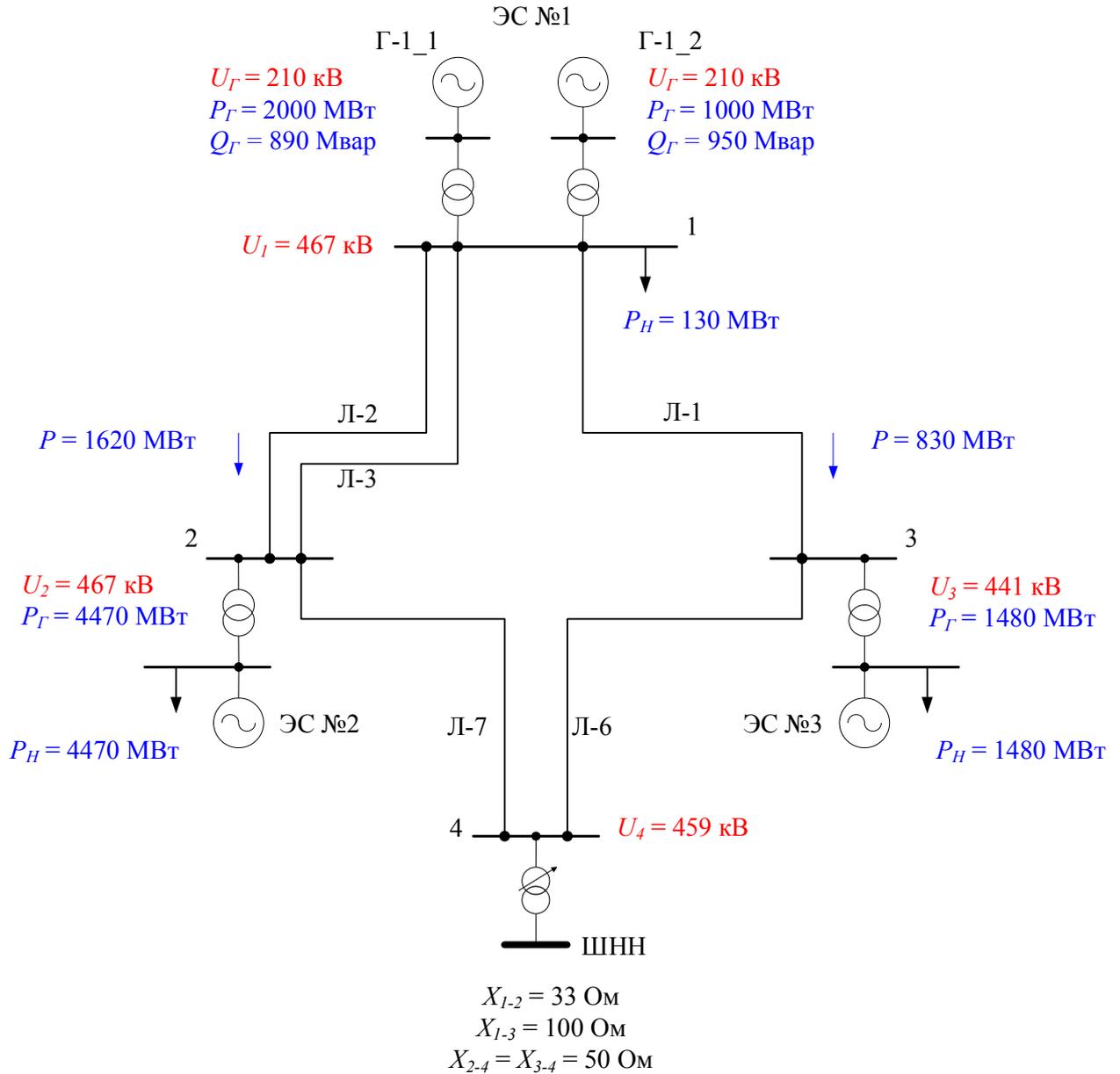


Рисунок 8

## Схема 3. Режим 7

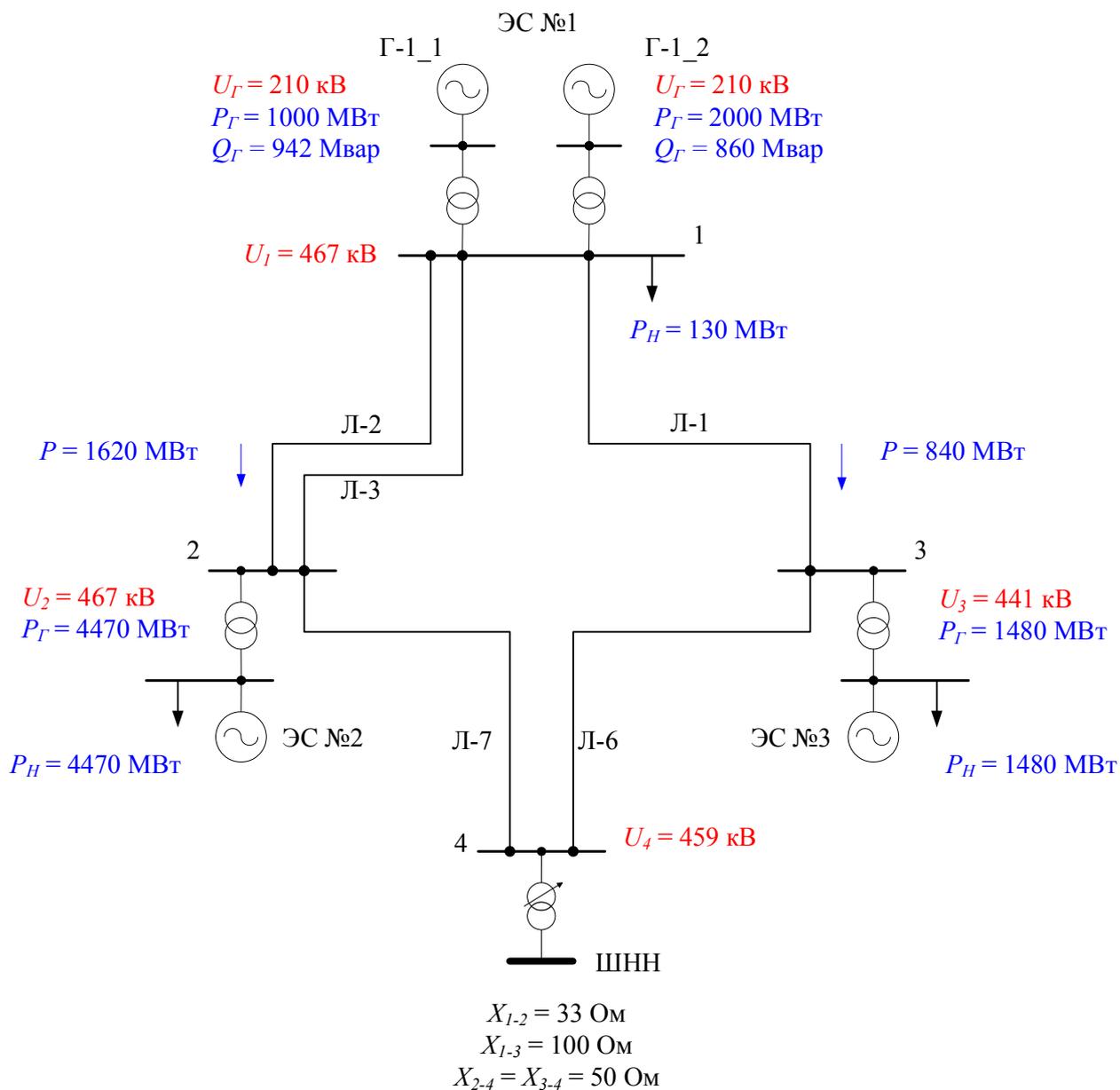


Рисунок 9

## Схема 3. Режим 8

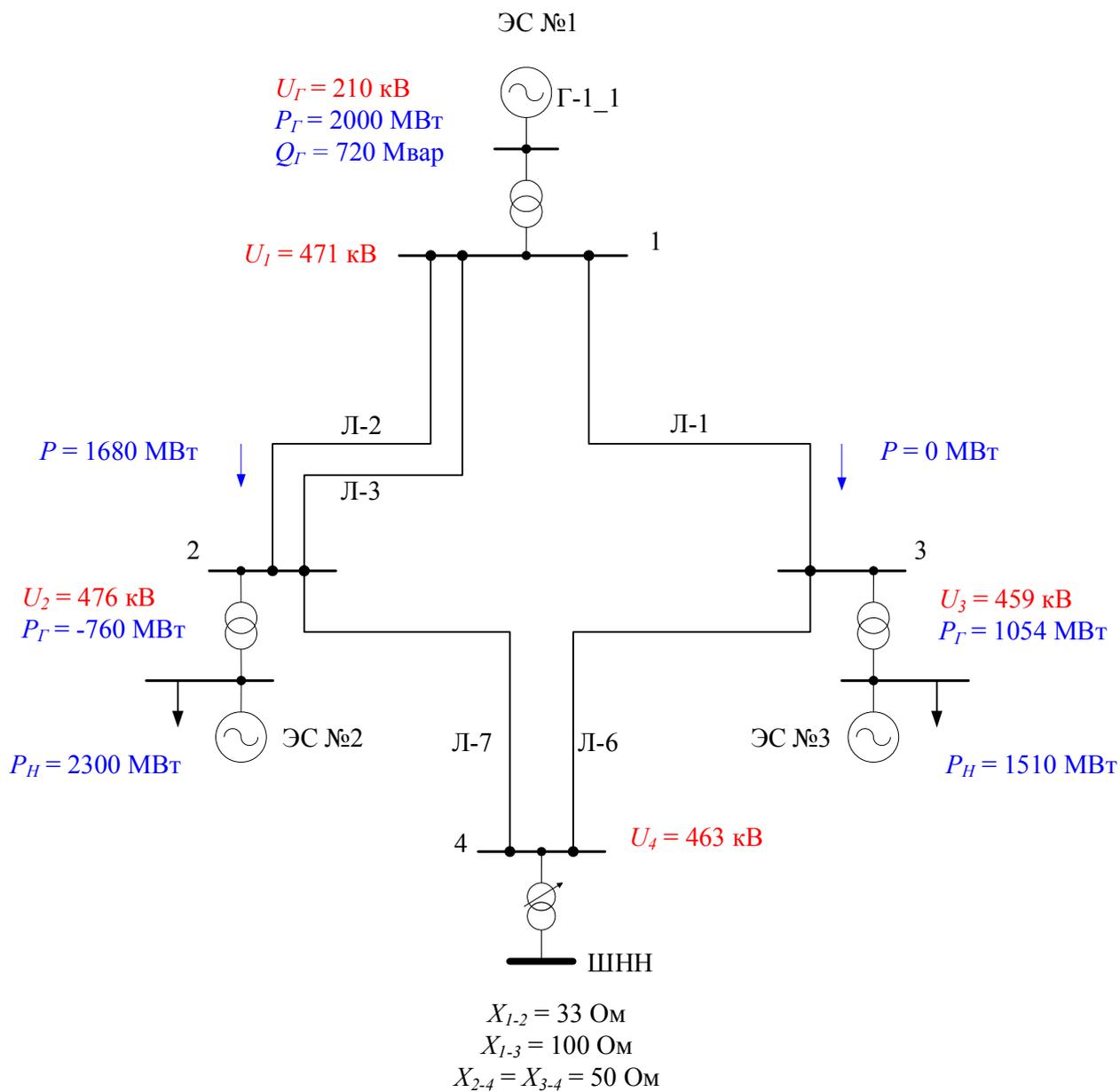


Рисунок 10

## Схема 4. Режим 9

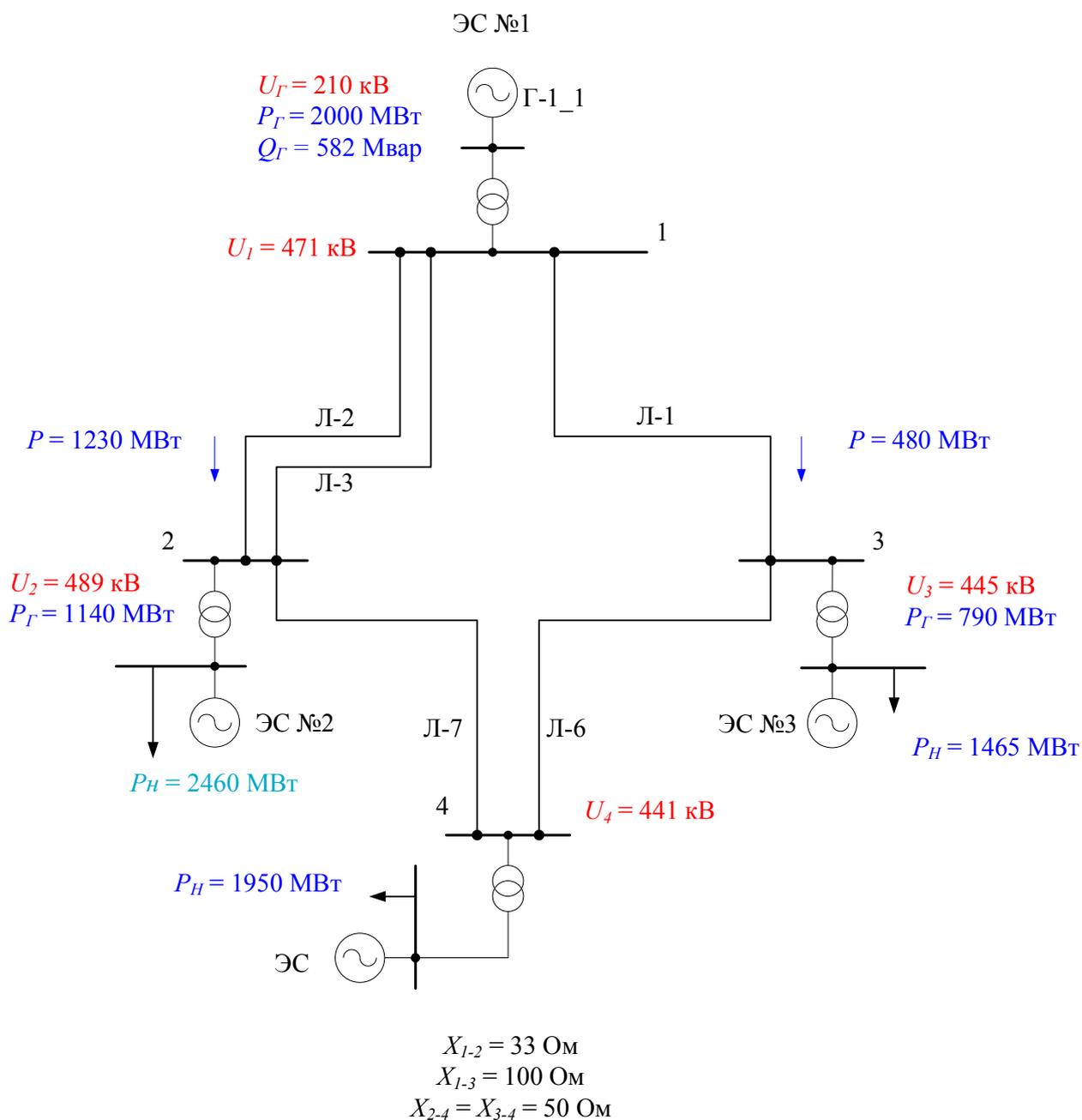


Рисунок 11

## Схема 4. Режим 10

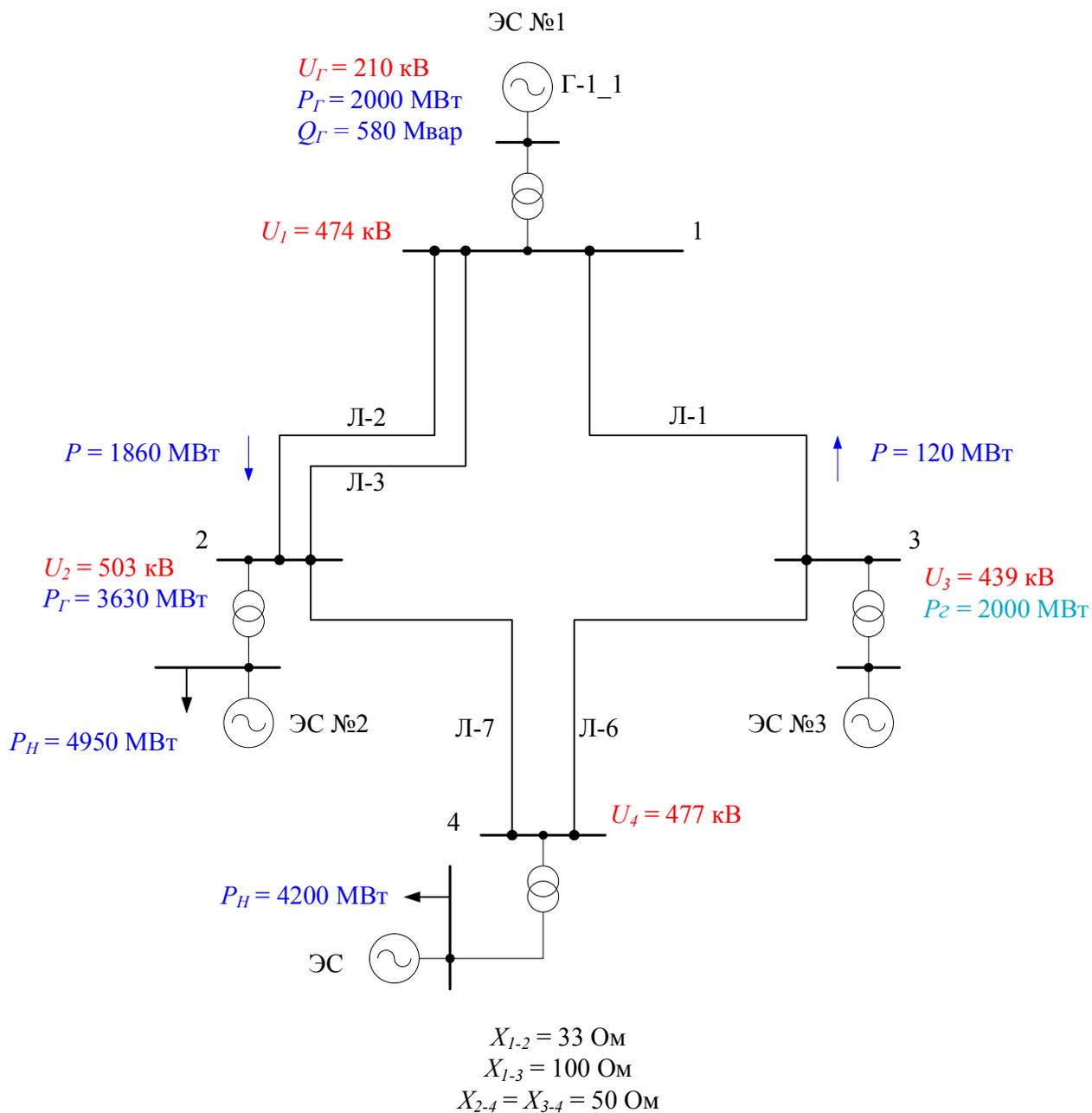


Рисунок 12

## Схема 5. Режим 11

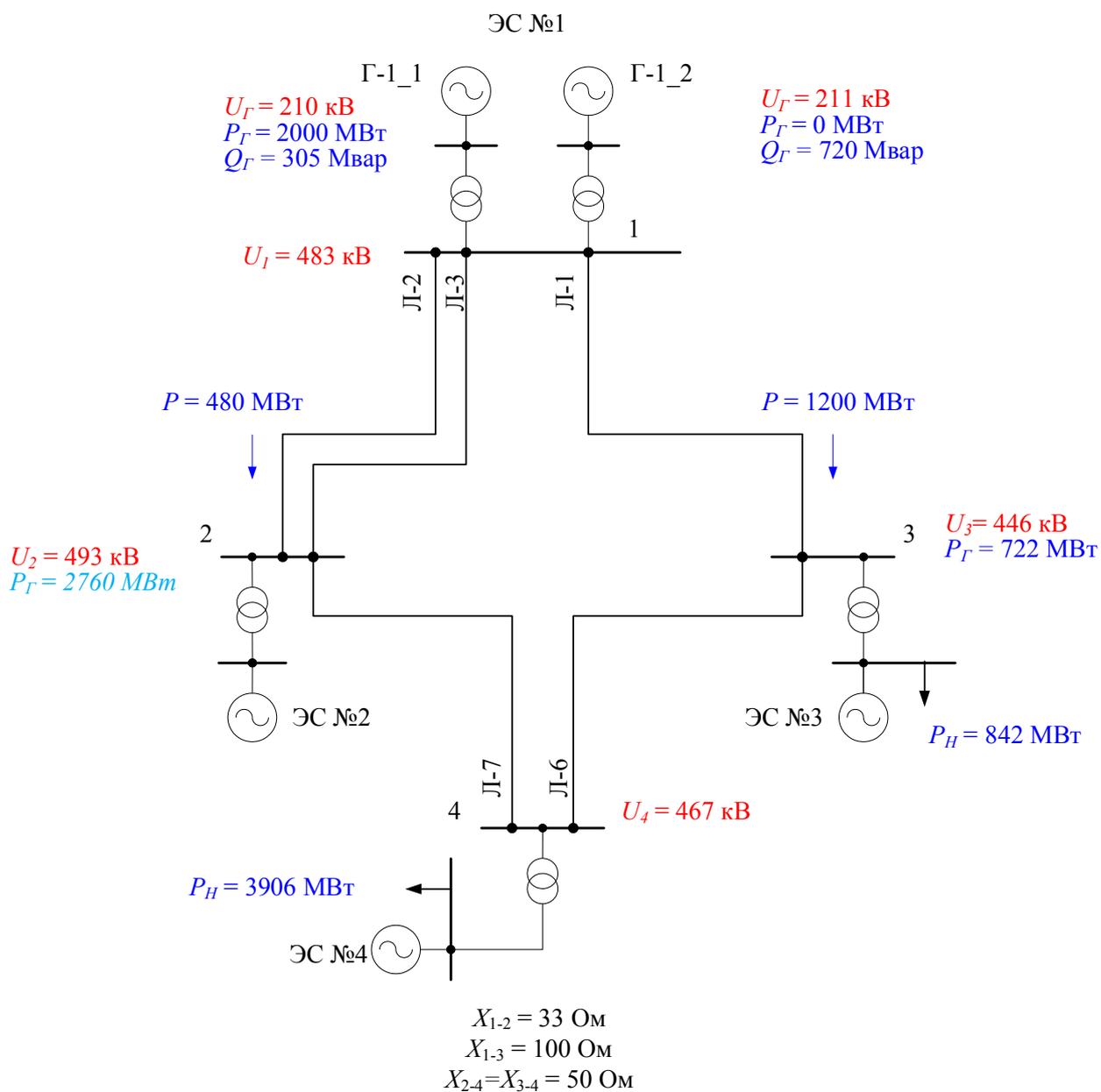


Рисунок 13

### Схема 3. Режим 12

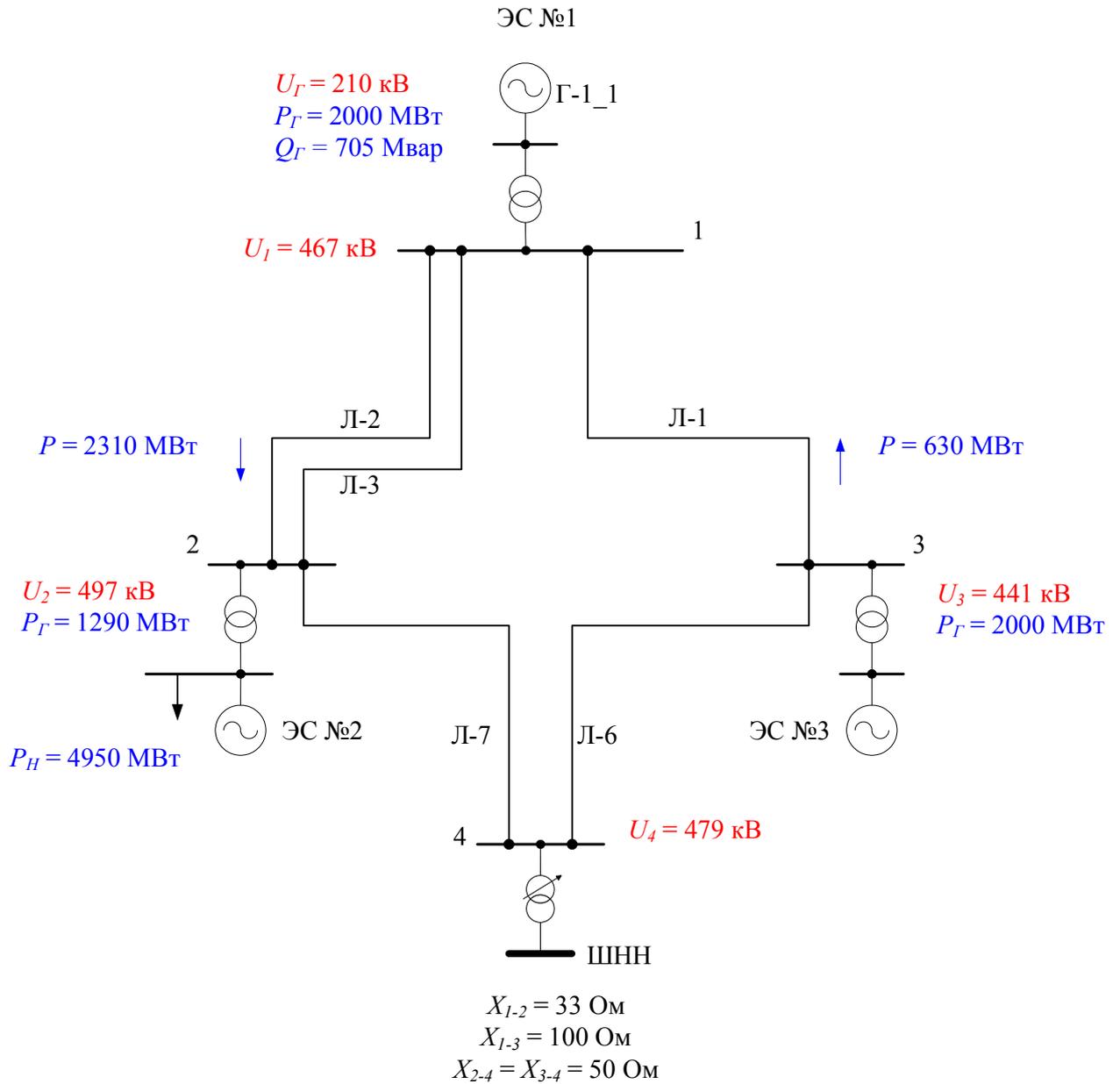


Рисунок 14

## Схема 3. Режим 13

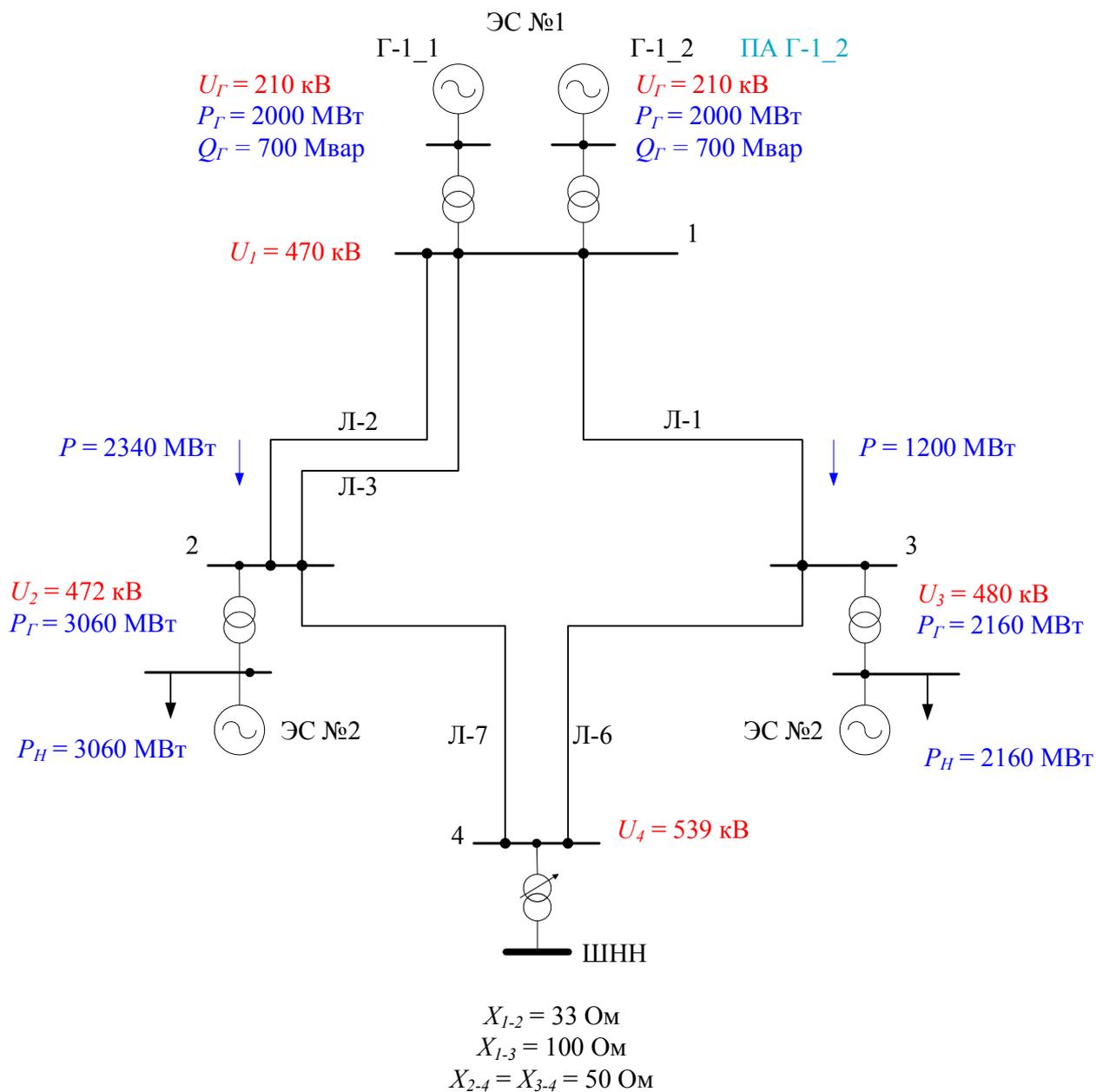
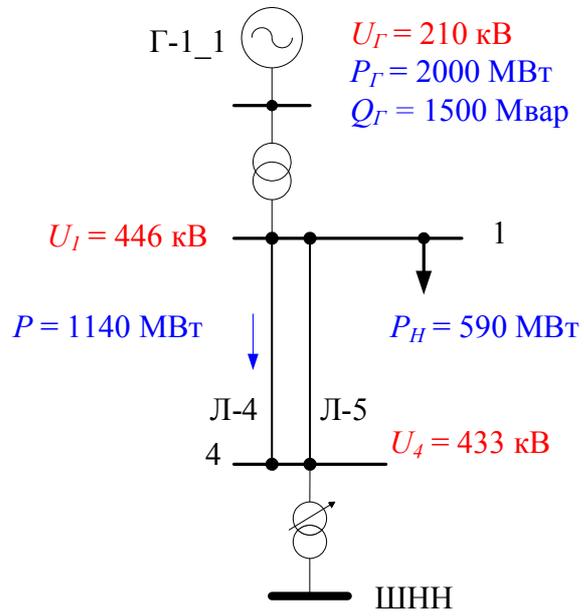


Рисунок 15



### Схема 6. Режим 15

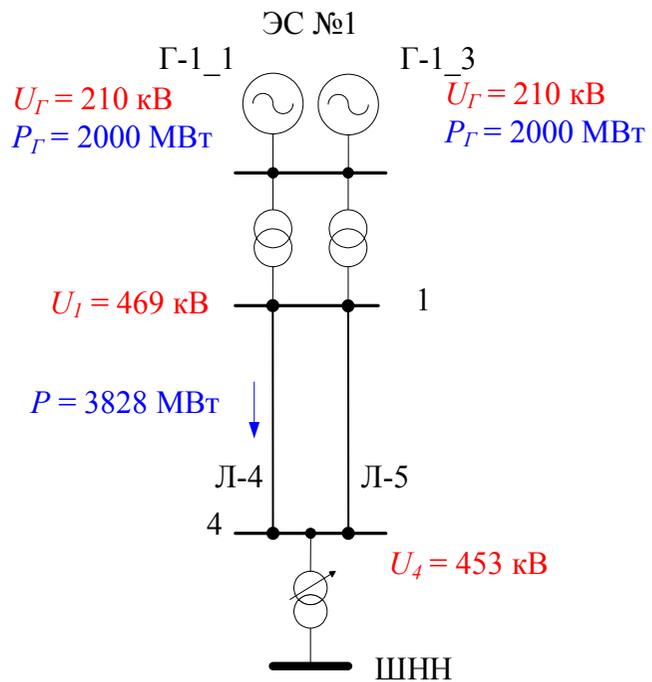
ЭС №1



$$X_{L-4} = 20 \text{ Ом}$$

**Рисунок 17**

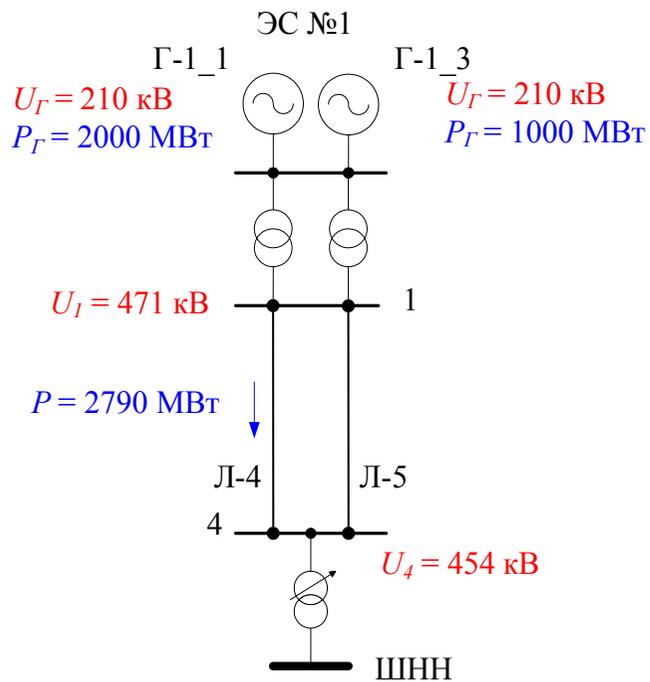
Схема 7. Режим 16



$$X_{L-4} = 20 \text{ Ом}$$

Рисунок 18

Схема 7. Режим 17



$$X_{L-4} = 20 \text{ Ом}$$

Рисунок 19

## 4.2. Проведение экспериментов в рамках испытаний

4.2.1. Испытания проводятся в соответствии с программой испытаний, разработанной организацией, проводящей испытания.

Программа испытаний должна включать эксперименты, проведение которых обеспечивает:

- проверку эффективности настройки каналов стабилизации или системного стабилизатора;
- проверку аperiodического характера нарушения статической устойчивости;
- оценку качества стабилизации режима и проверку отсутствия внутригрупповой неустойчивости при совместной работе синхронных генераторов с АРВ различной структуры;
- оценку качества демпфирования аварийных колебаний при моделировании коротких замыканий;
- оценку корректности работы функции блокировки каналов системной стабилизации (системного стабилизатора) АРВ при изменении частоты электрического тока;
- оценку корректности работы функции релейной форсировки возбуждения в режимах, близких к предельным;
- проверку обеспечения эффективности работы АРВ сильного действия синхронного генератора с учетом действия устройств и комплексов ПА;
- проверку корректности работы ограничителя минимального возбуждения;
- проверку корректности работы ограничителя двукратного тока ротора<sup>6</sup>;
- проверку корректности работы ограничителя двукратного тока возбуждения бесщеточного возбудителя<sup>7</sup>;
- проверку корректности работы ограничителя напряжения ротора<sup>8</sup>;
- проверку правильности расчета тока ротора по диаграмме Потье<sup>9</sup>;
- проверку обеспечения эффективности работы АРВ сильного действия синхронных генераторов в схеме укрупненного блока.

При проведении испытаний АРВ сильного действия, применяющихся в составе бесщеточных систем возбуждения, минимальный объем экспериментов должен включать:

---

<sup>6</sup> Для тиристорных систем возбуждения; для бесщеточных систем возбуждения, АРВ сильного действия которые имеют этот ограничитель.

<sup>7</sup> Для бесщеточных систем возбуждения.

<sup>8</sup> Для бесщеточных систем возбуждения.

<sup>9</sup> Только для АРВ сильного действия, в которых ток ротора, рассчитанный по диаграмме Потье, используется для формирования параметра стабилизации.

- для АРВ сильного действия, в которых реализован ограничитель двукратного тока ротора, – все эксперименты, приведенные в таблице 9;

- для АРВ сильного действия, в которых не реализован ограничитель двукратного тока ротора, – эксперименты, приведенные в таблице 9, за исключением экспериментов 75, 76 и 77.

При проведении испытаний АРВ сильного действия, применяющихся в составе тиристорных систем возбуждения, минимальный объем экспериментов должен включать эксперименты, приведенные в таблице 9, за исключением экспериментов 89 и 90.

4.2.2. Настройка испытываемых АРВ сильного действия синхронных генераторов должна быть выполнена владельцем АРВ в соответствии с параметрами, выбранными для тестовой модели энергосистемы.

4.2.3. Все эксперименты, предусмотренные в программе испытаний, должны выполняться при неизменных параметрах настройки испытываемых АРВ.

4.2.4. Если в процессе испытаний выявлена необходимость корректировки выбранных параметров настройки (отсутствие положительных результатов экспериментов в соответствии с таблицей 9), владелец АРВ или уполномоченное им лицо осуществляет корректировку параметров настройки испытываемых АРВ.

В этом случае все эксперименты, предусмотренные программой испытаний, должны быть выполнены повторно с новыми параметрами настройки АРВ.

4.2.5. Соответствие испытываемых АРВ сильного действия синхронного генератора и алгоритма его функционирования Требованиям не может быть подтверждено при отсутствии возможности выбора параметров настройки, обеспечивающих наличие положительного результата каждого эксперимента.

4.2.6. Регистрация параметров электроэнергетического режима должна проводиться для каждого эксперимента.

Таблица 9

Минимально необходимый объем испытаний АРВ и алгоритма его функционирования

№ эксп.	Вид схемы	Режим	Вид возмущения или утяжеления электроэнергетического режима	Цель проверки	Состояние каналов стабилизации или системного стабилизатора
1	Схема 1	Режим 1 ( $P_{Г-1\_1}=P_{Гном}$ ; $Q_{Г-1\_1}=Q_{Гном}$ )	Тестовое возмущение 1	Проверка эффективности настройки каналов стабилизации или системного стабилизатора	введен
2			Тестовое возмущение 2		выведен
3			Тестовое возмущение 3		введен
4			Тестовое возмущение 1		выведен
5			Тестовое возмущение 2		введен
6			Тестовое возмущение 3		выведен
7		Режим 2 ( $P_{Г-1\_1}=0,5P_{Гном}$ ; $Q_{Г-1\_1}=Q_{Гном}$ )	Тестовое возмущение 1		введен
8			Тестовое возмущение 2		выведен
9			Тестовое возмущение 3		введен
10			Тестовое возмущение 1		выведен
11			Тестовое возмущение 2		введен
12			Тестовое возмущение 3		выведен
13		Режим 3 ( $P_{Г-1\_1}=0,5P_{Гном}$ ; $Q_{Г-1\_1}=-0,1Q_{Гном}$ )	Тестовое возмущение 1		введен
14			Тестовое возмущение 2		выведен
15			Тестовое возмущение 3		введен
16			Тестовое возмущение 1		выведен
17			Тестовое возмущение 2		введен
18			Тестовое возмущение 3		выведен
19	Схема 2.1	Режим 4	Увеличение перетока по линии Л-1 за счет увеличения мощности Г-1_1 до нарушения устойчивости	Проверка аperiodического характера нарушения статической устойчивости	введен
20					выведен
21	Схема 2.2	Режим 4	Увеличение перетока по линии Л-3 за счет увеличения мощности Г-1_1 до нарушения устойчивости		введен
22					выведен

23	Схема 3	Режим 5 ( $P_{Г-1\_1} = P_{Гном}$ ; $P_{Г-1\_2} = P_{Гном}$ )	Тестовое возмущение 1	Оценка качества стабилизации режима и проверка отсутствия внутригрупповой неустойчивости при совместной работе синхронных генераторов с АРВ различной структуры (испытываемый АРВ устанавливается на Г-1_1; на Г-1_2 – регулятор типа АРВ-СД)	на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_2 введен		
24					на АРВ Г-1_1 введен; на АРВ Г-1_2 выведен		
25					на АРВ Г-1_1 выведен; на АРВ Г-1_2 введен		
26					на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_2 выведен		
27					на АРВ Г-1_1 введен; на АРВ Г-1_2 выведен		
28		Режим 6 ( $P_{Г-1\_1} = P_{Гном}$ ; $P_{Г-1\_2} = 0,5P_{Гном}$ )	Тестовое возмущение 2		на АРВ Г-1_1 выведен; на АРВ Г-1_2 введен		
29					на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_2 выведен		
30					на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_2 введен		
31					на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_2 введен		
32					на АРВ Г-1_1 введен; на АРВ Г-1_2 выведен		
33		Режим 7 ( $P_{Г-1\_1} = 0,5P_{Гном}$ ; $P_{Г-1\_2} = P_{Гном}$ )	Тестовое возмущение 1		на АРВ Г-1_1 выведен; на АРВ Г-1_2 введен		
34					на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_2 выведен		
35					на АРВ Г-1_1 введен; на АРВ Г-1_2 выведен		
					Тестовое возмущение 2		на АРВ Г-1_1 введен; на АРВ Г-1_2 выведен

36					на АРВ Г-1_1 выведен; на АРВ Г-1_2 введен
37					на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_2 выведен
38					на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_2 введен
39	Схема 3	Режим 8	Отключение линии Л-2	Оценка качества демпфирования аварийных колебаний при моделировании коротких замыканий (КЗ)	введен
40					выведен
41			Однофазное КЗ вблизи шин ЭС № 1 с успешным ОАПВ линии Л-2 <sup>10</sup>		введен
42					выведен
43			Двухфазное КЗ на землю вблизи шин ЭС № 1 с успешным ТАПВ линии Л-2		введен
44					выведен
45			Двухфазное КЗ на землю вблизи шин ЭС № 1 с отключением линии Л-2		введен
46					выведен
47			Однофазное КЗ вблизи шин ЭС № 1 с неуспешным ОАПВ линии Л-2		введен
48					выведен
49			Двухфазное КЗ на землю вблизи шин ЭС № 1 с неуспешным ТАПВ линии Л-2		введен
50					выведен
51			Отключение линии Л-2 действием УРОВ при двухфазном коротком замыкании на землю вблизи шин ЭС № 1 с отказом фазы выключателя		введен
52					выведен

<sup>10</sup> Здесь и далее под понятием «КЗ вблизи шин ЭС № 1» понимается КЗ в точке присоединения линии Л-2 (Л-5) к шинам электрической станции № 1.

53	Схема 4	Режим 9	Аварийное отключение нагрузки в приемной энергосистеме – отключение нагрузки ЭС № 2 (частота в послеаварийном режиме 50,5 Гц)	Оценка корректности работы функции блокировки каналов системной стабилизации (системного стабилизатора) АРВ при изменении частоты электрического тока	введен <sup>11</sup>
54					введен <sup>12</sup>
55					выведен
56		Режим 10	Аварийное отключение генератора в приемной энергосистеме – отключение генератора ЭС № 3 (частота в послеаварийном режиме 49,5 Гц)		введен <sup>11</sup>
57					введен <sup>12</sup>
58					выведен
59	Схема 5	Режим 11	Аварийное отключение генератора в приемной энергосистеме – отключение генератора ЭС № 2 (частота в послеаварийном режиме 49,5 Гц)	введен <sup>11</sup>	
60				введен <sup>12</sup>	
61				выведен	
62	Схема 3	Режим 12	Двухфазное КЗ на землю вблизи шин ЭС № 1 с отключением линии Л-2	введен <sup>11</sup>	
63				введен <sup>12</sup>	
64	Схема 3	Режим 12	Двухфазное КЗ на землю вблизи шин ЭС № 1 с отключением линии Л-2	введен	
65				выведен	
66		Режим 12 снижение мощности ЭС № 2 до неустойчивого перехода <sup>13</sup>		введен	
67				выведен	

<sup>11</sup> Блокировка каналов стабилизации (системного стабилизатора) при изменении частоты введена.

<sup>12</sup> Блокировка каналов стабилизации (системного стабилизатора) при изменении частоты выведена.

<sup>13</sup> Величина снижения мощности электрической станции № 2 составляет  $\approx 350$  МВт.

68	Схема 3	Режим 13	Двухфазное КЗ на землю вблизи шин ЭС № 1 с отключением линии Л-2 и отключением от ПА Г-1_2	Обеспечение эффективности работы АРВ сильного действия синхронного генератора с учетом действия устройств и комплексов ПА	введен
69					выведен
70	Схема 3	Режим 14	Медленное увеличение напряжения $U_{г}$ ЭС. Вход в зону ОМВ	Проверка корректности работы ограничителя минимального возбуждения	введен
71			Медленное снижение напряжения $U_{г}$ ЭС. Выход из зоны ОМВ		введен
72			Медленное увеличение активной мощности генератора ЭС № 1 до входа в зону ОМВ		введен
73			Скачкообразное увеличение напряжения на шинах 500 кВ ЭС № 1 (подключение емкостной нагрузки). Вход в зону ОМВ		введен
74			Скачкообразное снижение напряжения на шинах 500 кВ ЭС № 1 (отключение емкостной нагрузки). Выход из зоны ОМВ		введен
75	Схема 6	Режим 15	Ступенчатое увеличение уставки АРВ сильного действия Г-1_1 по напряжению генератора <sup>14</sup>	Проверка корректности работы ограничителя двукратного тока ротора	введен
76			Двухфазное затянувшееся КЗ (длительностью 0,4 с) на землю вблизи шин ЭС № 1		введен
77			Серия из двух двухфазных КЗ на землю вблизи шин ЭС № 1 <sup>15</sup>		введен
78	Схема 7	Режим 16 ( $P_{г-1_1} =$	Тестовое возмущение 1 (на АРВ Г-1_1)	Проверка обеспечения эффективности работы	на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_3 введен

<sup>14</sup> Величина ступенчатого изменения уставки должна быть задана максимальной в пределах реализованного диапазона изменения уставки АРВ, но не более 30 % от номинального напряжения статора. Задаваемая уставка ограничителя тока ротора должна быть согласована с величиной ступенчатого изменения уставки, но не может быть ниже чем  $1,05 I_{ном}$ .

<sup>15</sup> Время между КЗ 0,3 с, длительность повторного КЗ составляет 0,35 с.

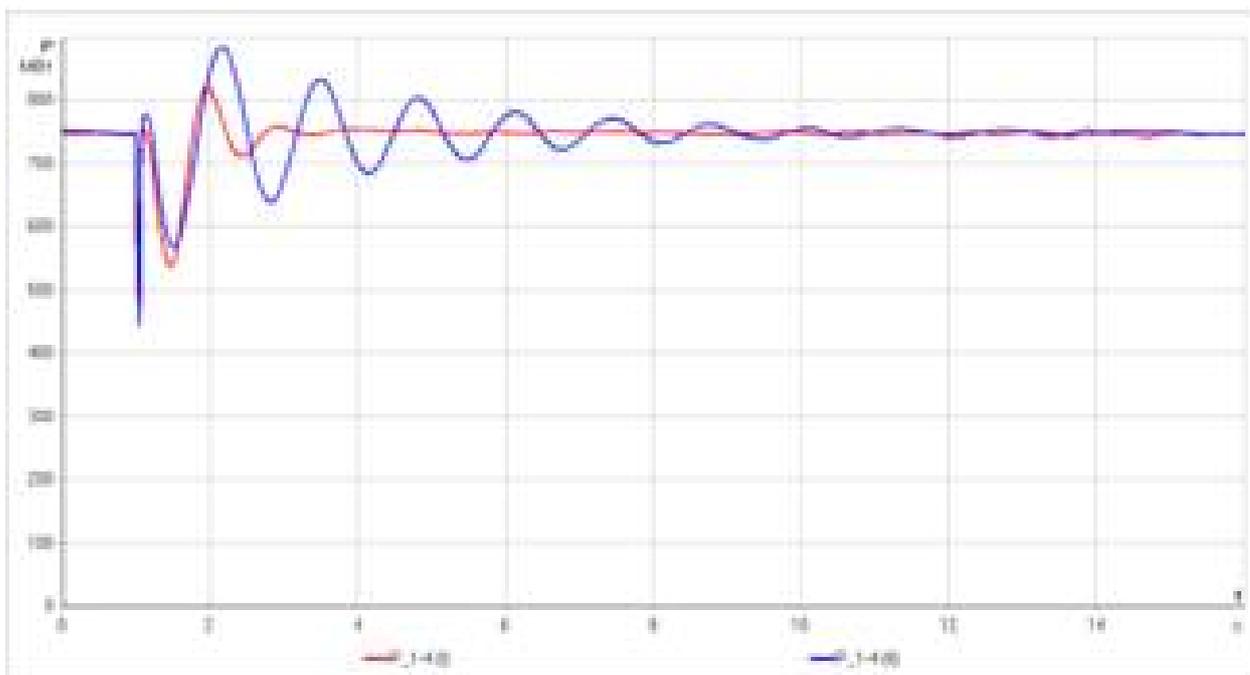
79		$P_{Г-1\_3} = P_{ном}$	Тестовое возмущение 2	АРВ сильного действия синхронных генераторов в схеме укрупненного блока	на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_3 введен
80					на АРВ Г-1_1 выведен; на АРВ Г-1_3 введен
81					на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_3 введен
82					на АРВ Г-1_1 выведен; на АРВ Г-1_3 введен
83					на АРВ Г-1_1 введен
84		Режим 17 ( $P_{Г-1\_1} = P_{Гном}$ ; $P_{Г-1\_3} = 0,5P_{Гном}$ )	Тестовое возмущение 1 (на АРВ Г-1_1)		на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_3 введен
85					на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_3 введен
86					на АРВ Г-1_1 выведен; на АРВ Г-1_3 введен
87					на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_3 введен
88					на АРВ Г-1_1 выведен; на АРВ Г-1_3 введен
89	Схема 6	Режим 15	Трехфазное затянувшееся КЗ (длительностью 0,35 с) на землю вблизи шин ЭС № 1	Проверка корректности работы ограничителя напряжения ротора	введен
90			Трехфазное затянувшееся КЗ (длительностью 0,35 с) на землю вблизи шин ЭС № 1	Проверка корректности работы ограничителя двукратного тока возбуждения возбудителя	введен

## 5. Анализ результатов испытаний

Результаты испытаний считаются положительными, а АРВ сильного действия синхронных генераторов и алгоритм его функционирования – прошедшими испытания при выполнении указанных далее условий.

5.1. При введенных каналах стабилизации или включенном системном стабилизаторе во всех экспериментах демпфирование электромеханических переходных процессов должно обеспечиваться за время, не превышающее 15 с.

5.2. В экспериментах 1–18 время затухания электромеханических переходных процессов при введенных каналах стабилизации или включенном системном стабилизаторе должно снижаться по сравнению со временем и амплитудой затухания при выведенных каналах стабилизации или отключенном системном стабилизаторе (см. пример на осциллограмме, рисунок 20).

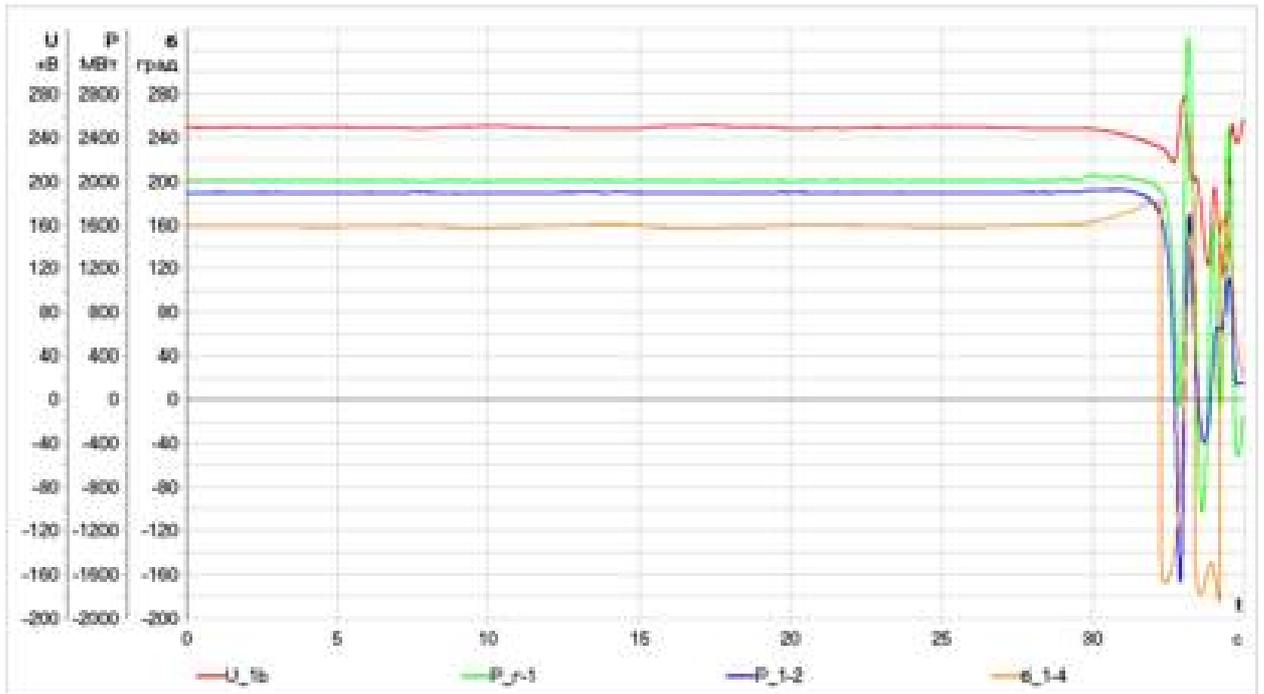


**Рисунок 20. Пример корректной работы каналов стабилизации или системного стабилизатора**

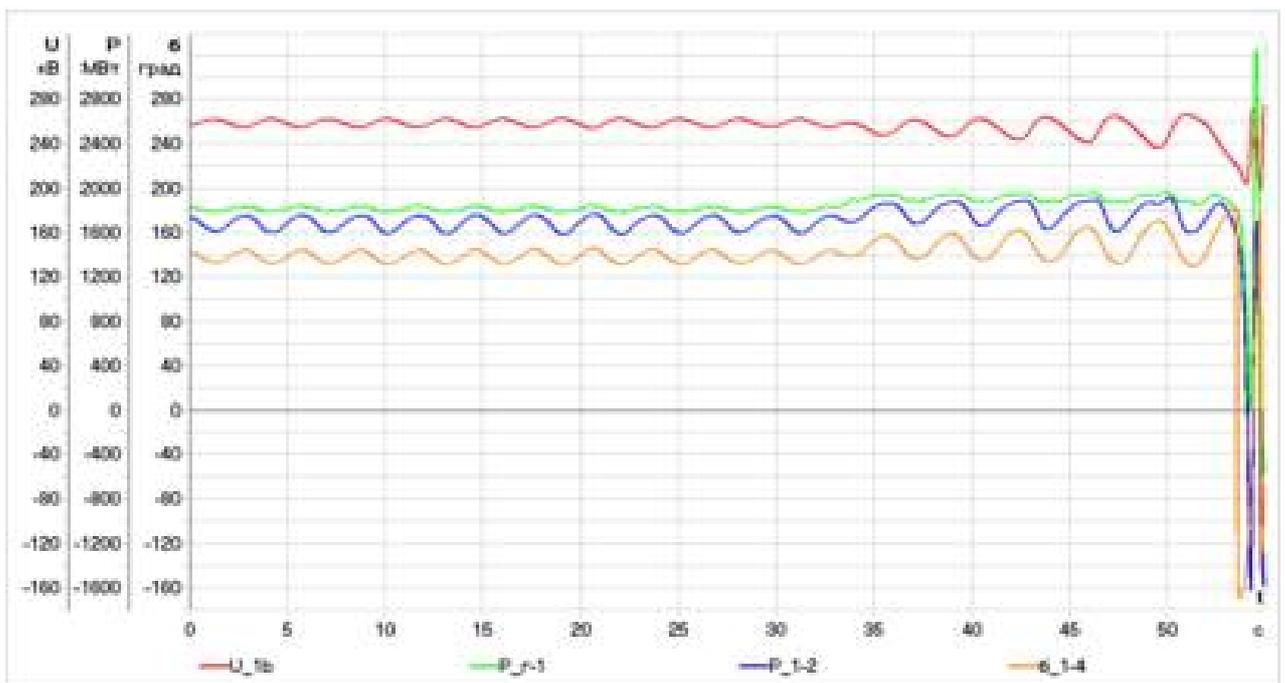
I – каналы стабилизации введены (системный стабилизатор введен),

II – каналы стабилизации выведены (системный стабилизатор выведен)

5.3. В экспериментах 19–22 при утяжелении электроэнергетического режима до достижения предела статической устойчивости должен обеспечиваться аperiодический характер нарушения устойчивости (отсутствие синхронных колебаний). Пример корректной работы каналов стабилизации или системного стабилизатора при электроэнергетических режимах, близких к пределу статической устойчивости, приведен на рисунке 21а, пример некорректной работы – на рисунке 21б.



а)



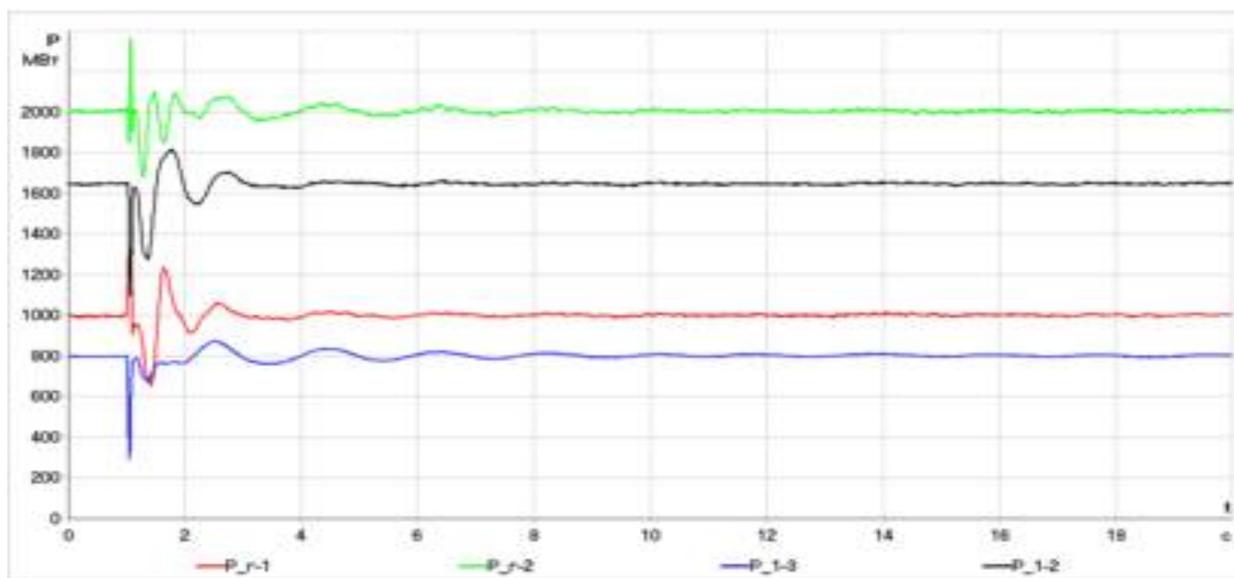
б)

**Рисунок 21. Пример корректной работы каналов стабилизации или системного стабилизатора (а), некорректной работы (б)**

5.4. В экспериментах 23–38 должна проверяться внутригрупповая устойчивая параллельная работа генераторов электрической станции № 1 при моделировании тестовых возмущений.

Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронного генератора (наличие демпфирования электромеханических переходных

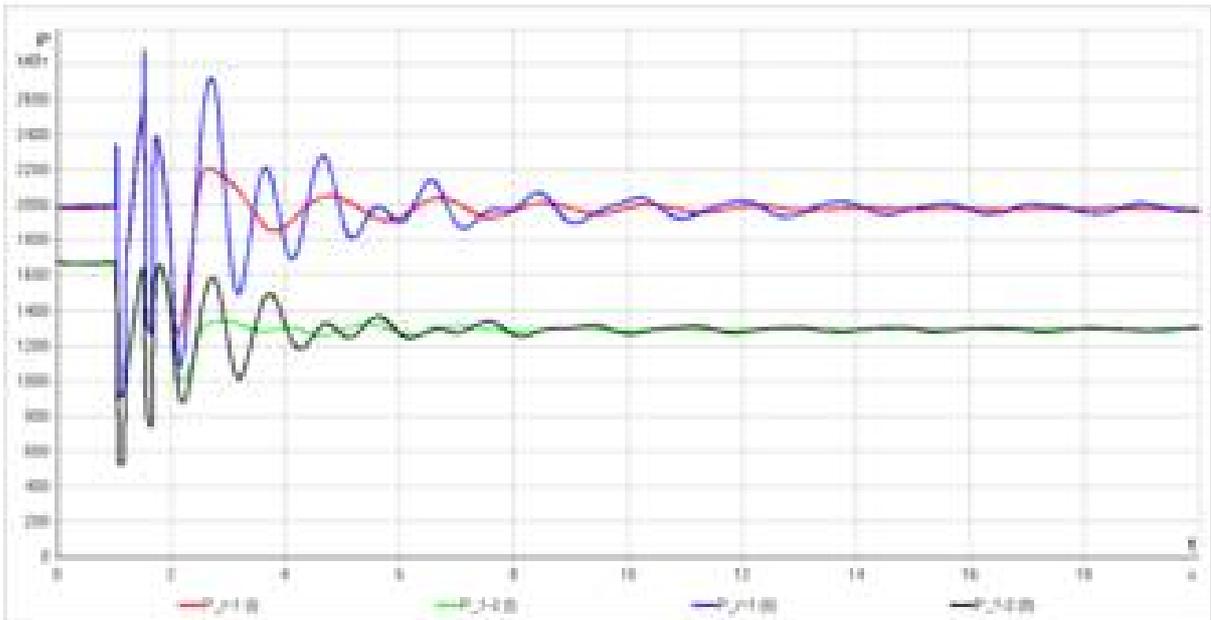
процессов и отсутствие взаимного раскачивания синхронных генераторов) приведен на рисунке 22.



**Рисунок 22. Пример корректной работы АРВ сильного действия при совместной работе с регуляторами другого типа в пределах одной электростанции**

5.5. В экспериментах 39–52 время затухания электромеханических переходных процессов при введенных каналах стабилизации или включенном системном стабилизаторе должно уменьшаться по сравнению со временем затухания при выведенных каналах стабилизации или отключенном системном стабилизаторе при моделировании нормативных возмущений I, II и III групп 1 в соответствии с перечнем, указанным в таблице 9.

Пример корректной работы каналов стабилизации или системного стабилизатора при двухфазном КЗ на землю вблизи шин электрической станции № 1 с неуспешным ТАПВ одной цепи линии Л-2 приведен на рисунке 23.



**Рисунок 23. Пример корректной работы каналов стабилизации или системного стабилизатора при двухфазном КЗ на землю вблизи шин электрической станции № 1 с неуспешным ТАПВ одной цепи линии Л-2**

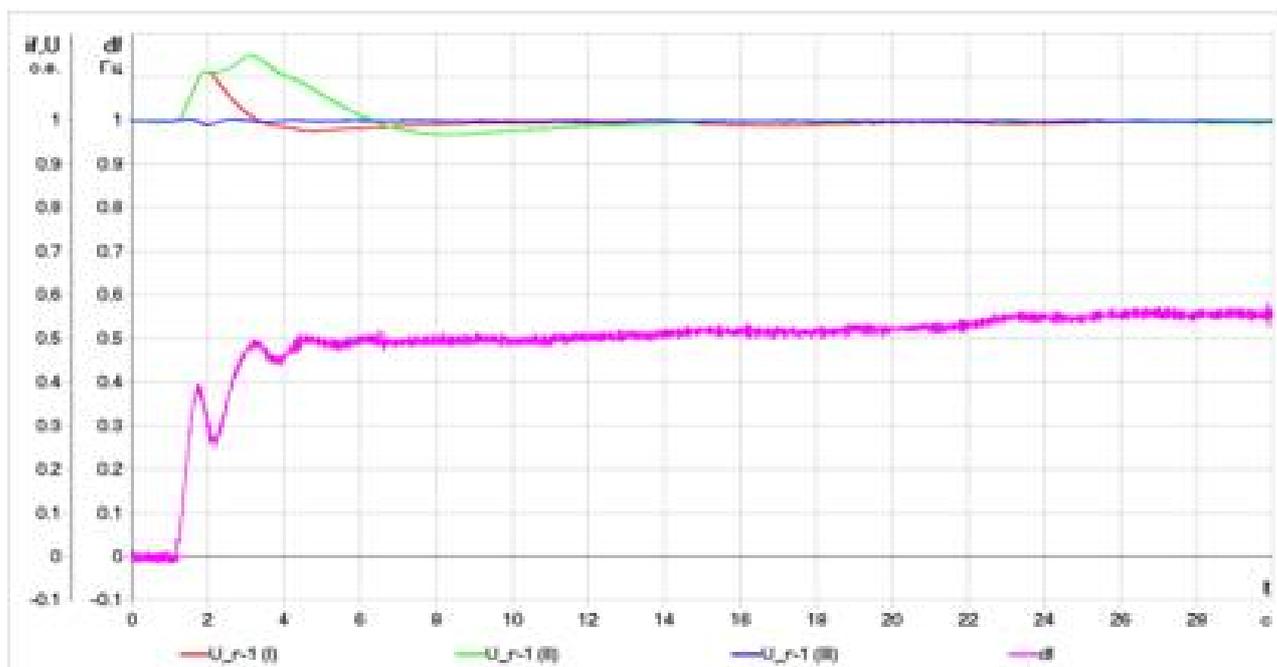
I – каналы стабилизации введены (системный стабилизатор введен),

II – каналы стабилизации выведены (системный стабилизатор выведен)

5.6. В экспериментах 53–63 должна проверяться функция блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора при возникновении небалансов мощности, приводящих к увеличению/уменьшению частоты в энергосистеме со скоростью 0,05 Гц/с и более.

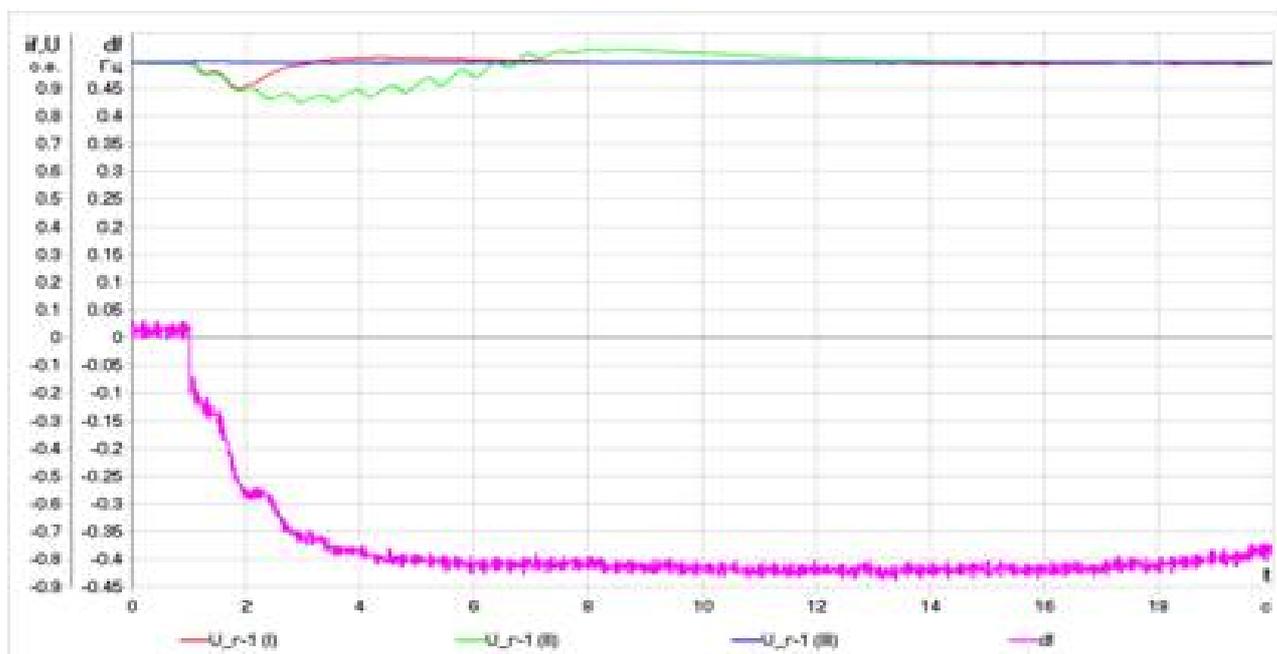
Проверка функции блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора выполняется путем аварийного отключения нагрузки электрической станции № 2 (эксперименты 53–55), аварийного отключения генератора электрической станции № 3 (эксперименты 56–58) и аварийного отключения генератора электрической станции № 2 (эксперименты 59–61) в энергосистеме. Каждое аварийное отключение моделируется трижды: при введенной функции блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора, при выведенной функции блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора и при выведенных каналах стабилизации или системном стабилизаторе.

Корректность работы функции блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора при возникновении небалансов мощности в энергосистеме должна оцениваться путем сравнения характера изменения напряжения Г-1\_1 при введенной функции блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора, при выведенной функции блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора и при выведенных каналах стабилизации или системном стабилизаторе (см. рисунки 24, 25 и 26).



**Рисунок 24. Пример корректной работы функции блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора при аварийном отключении нагрузки электрической станции № 2**

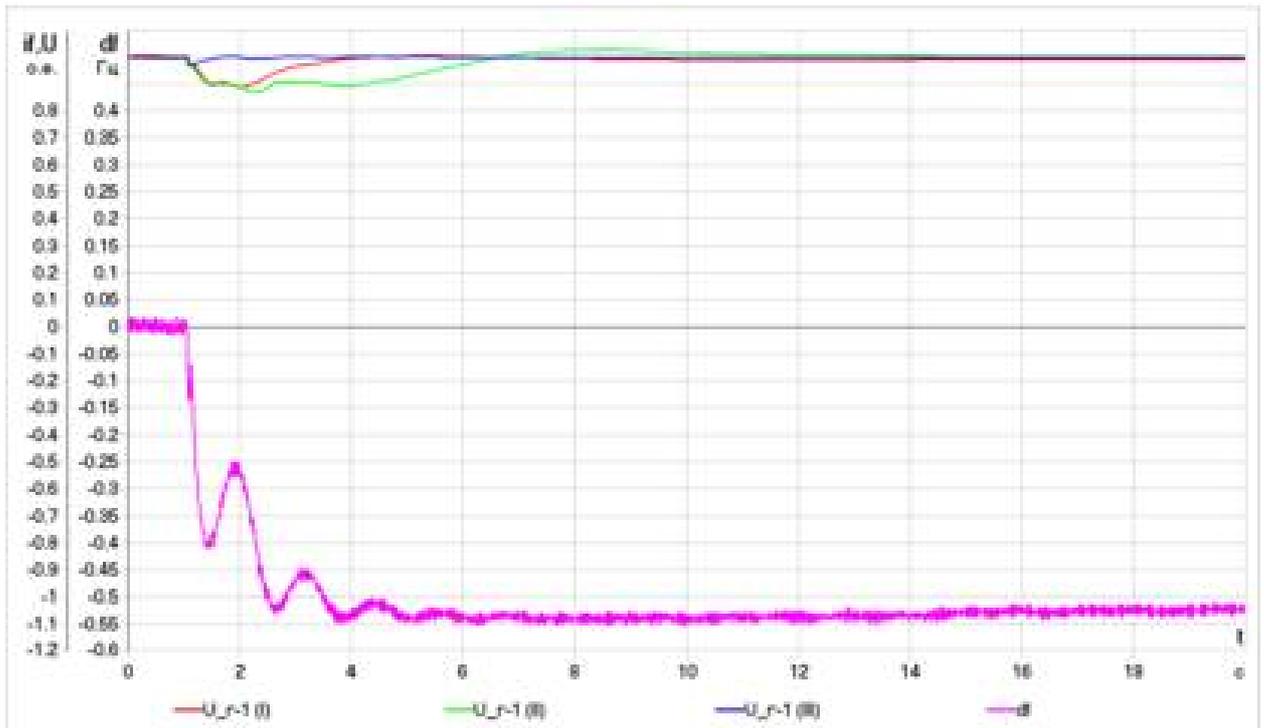
I – функция блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора введена,  
 II – функция блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора выведена,  
 III – каналы стабилизации или системный стабилизатор выведены



**Рисунок 25. Пример корректной работы функции блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора при аварийном отключении генератора электрической станции № 3**

I – функция блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора введена,

II – функция блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора выведена,  
 III – каналы стабилизации или системный стабилизатор выведены



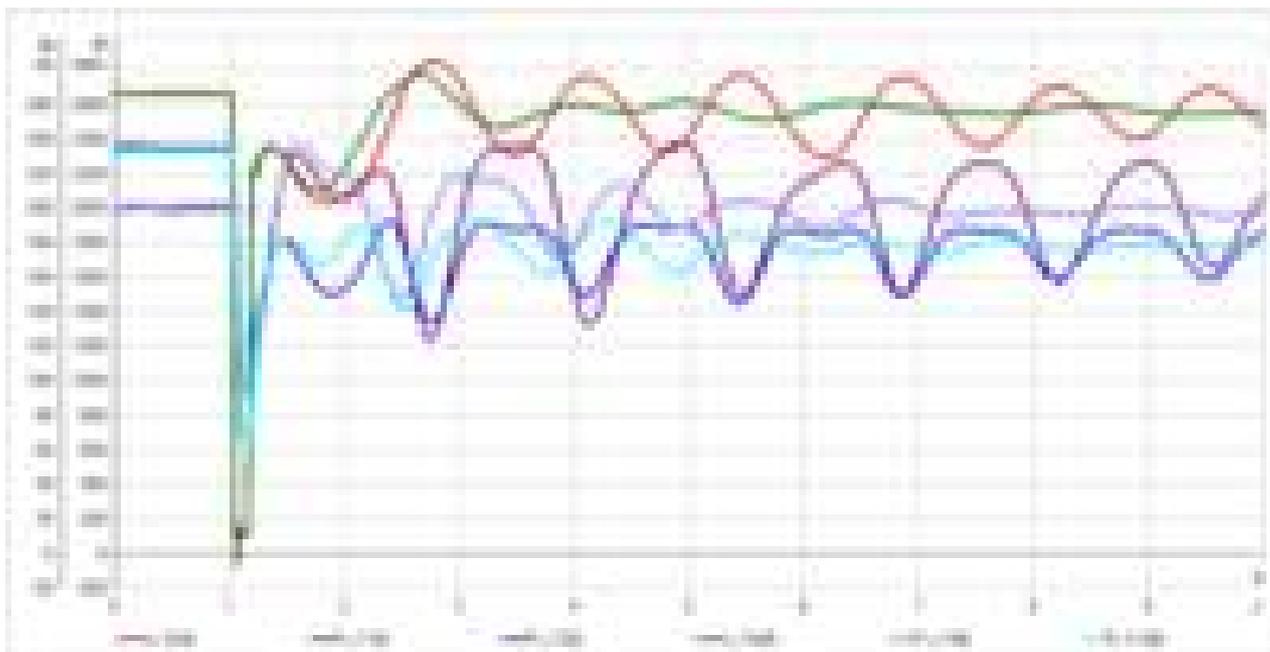
**Рисунок 26. Пример корректной работы функции блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора при аварийном отключении генератора электрической станции № 2**

I – функция блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора введена,  
 II – функция блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора выведена,  
 III – каналы стабилизации или системный стабилизатор выведены

Критерием корректности работы АРВ сильного действия синхронного генератора является введение функции блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора за время, не превышающее 1,5 с после аварийного отключения нагрузки (генерации).

Проверка селективности действия функции блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора должна выполняться путем моделирования двухфазного КЗ на землю вблизи шин электрической станции № 1 с отключением линии Л-2 с введенной и выведенной функцией блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора (эксперименты 62 и 63 соответственно).

Критерием корректности работы АРВ сильного действия синхронного генератора является идентичность электромеханических переходных процессов в экспериментах 62 и 63. Пример некорректной работы АРВ сильного действия (неселективности функции блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора) приведен на рисунке 27.



**Рисунок 27. Пример некорректной работы функции блокировки каналов системной стабилизации (системного стабилизатора) АРВ сильного действия синхронного генератора**

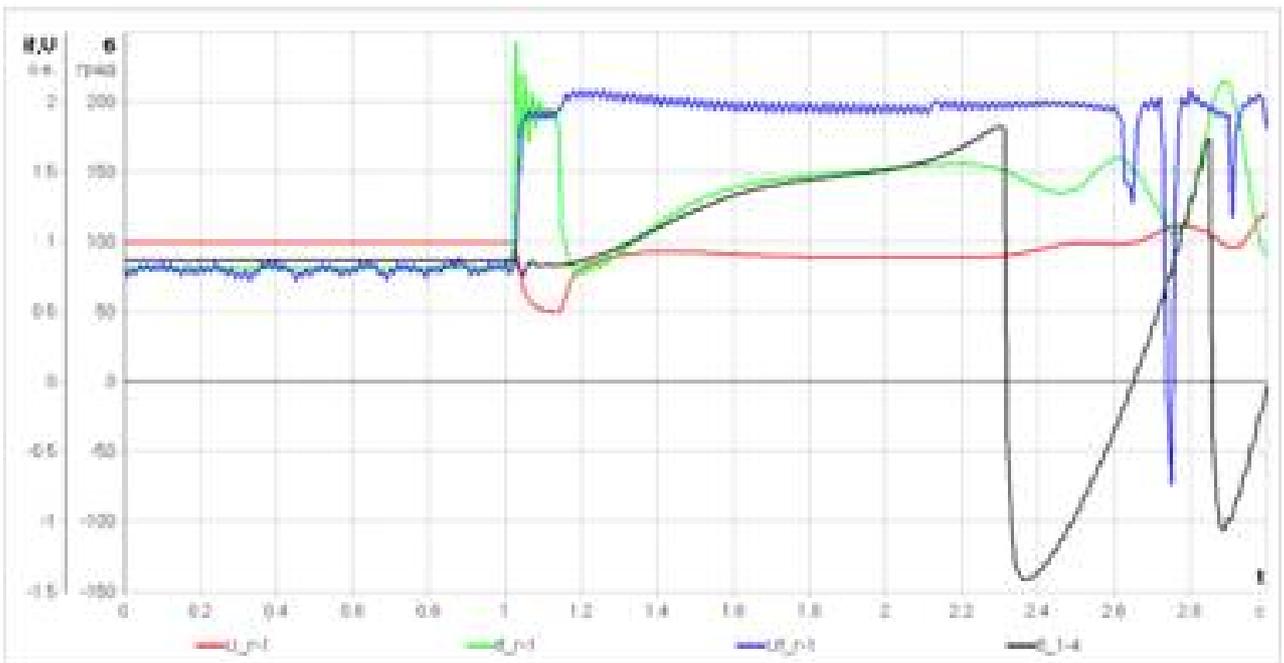
I – функция блокировки введена,

II – функция блокировки выведена (блокировка вводится при синхронных колебаниях)

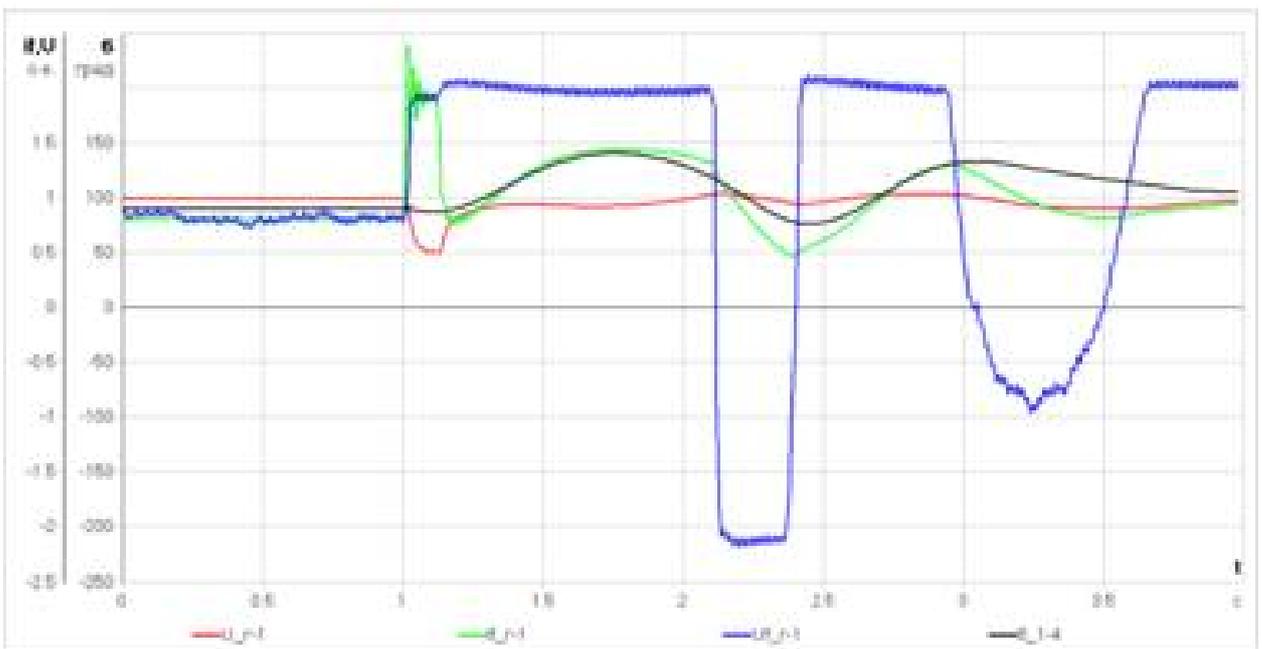
5.7. В экспериментах 64-67 должна проверяться корректность работы функции релейной форсировки возбуждения в режимах, близких к предельным, при нормативных возмущениях. При этом должна рассматриваться работа АРВ сильного действия синхронного генератора в предельном по устойчивости режиме и нарушении динамической устойчивости. Ввод релейной форсировки возбуждения должен осуществляться без временной задержки при снижении напряжения на статоре генератора ниже 85% от исходного значения. Потолочное значение напряжения возбуждения должно удерживаться вплоть до восстановления напряжения на статоре генератора до своего исходного значения<sup>16</sup>.

Критерием корректности работы АРВ сильного действия синхронного генератора является обеспечение поддержания потолочного значения напряжения возбуждения генератора вплоть до восстановления напряжения на статоре генератора до своего исходного значения или до нарушения динамической устойчивости. Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронного генератора при нарушении динамической устойчивости приведен на рисунке 28, в предельном по устойчивости режиме на рисунке 29.

<sup>16</sup> Указанное требование должно обеспечиваться посредством выбора установки снятия релейной форсировки возбуждения и временной задержки на снятие релейной форсировки возбуждения.



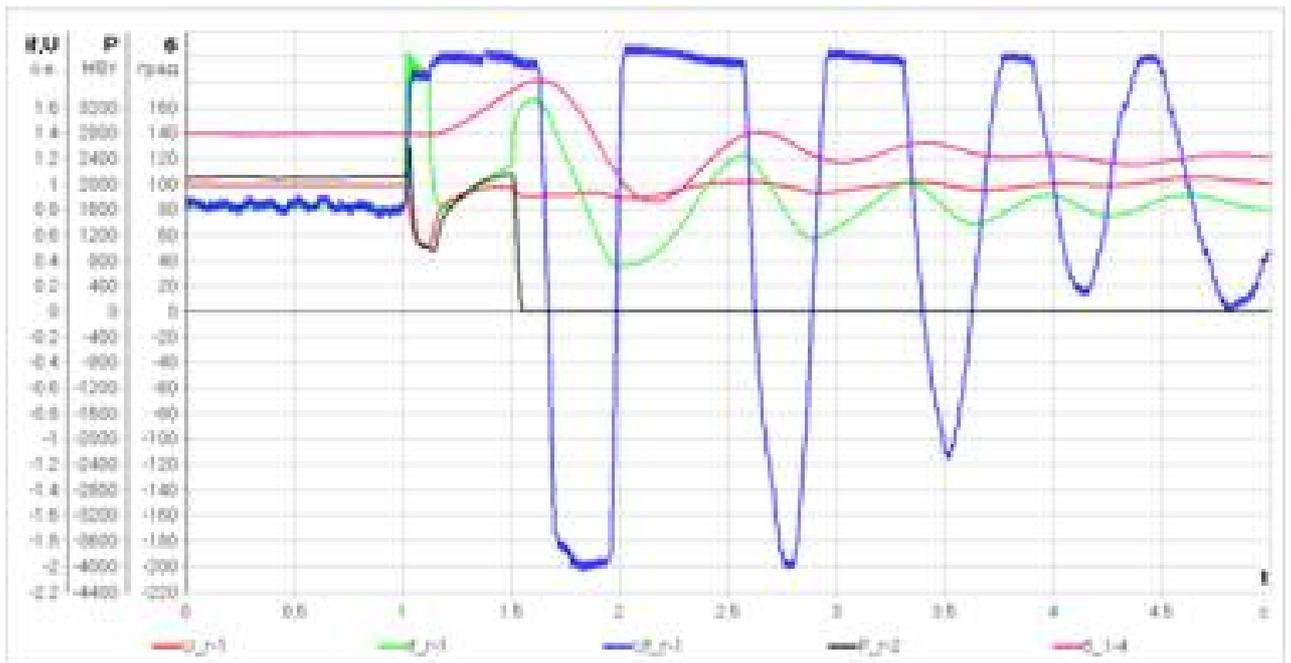
**Рисунок 28. Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронного генератора при нарушении динамической устойчивости**



**Рисунок 29. Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронного генератора в предельном по устойчивости режиме**

5.8. В экспериментах 68, 69 должно проверяться снижение времени затухания электромеханических переходных процессов при введенных каналах стабилизации или включенном системном стабилизаторе по сравнению со временем затухания при выведенных каналах стабилизации или отключенном системном стабилизаторе с учетом действия устройств ПА.

Проверка должна выполняться посредством моделирования аварийного режима, устойчивость которого в послеаварийной схеме может быть обеспечена только за счет снижения перетока активной мощности от электрической станции № 1. Должен рассматриваться аварийный режим, вызванный двухфазным коротким замыканием на землю с отключением линии. Для сохранения устойчивости через 0,4 секунды с момента возникновения короткого замыкания должна срабатывать противоаварийная автоматика, действующая на отключение Г-1\_2 электрической станции № 1. Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронного генератора с учетом работы устройств ПА приведен на рисунке 30.



**Рисунок 30. Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронного генератора с учетом работы устройств ПА**

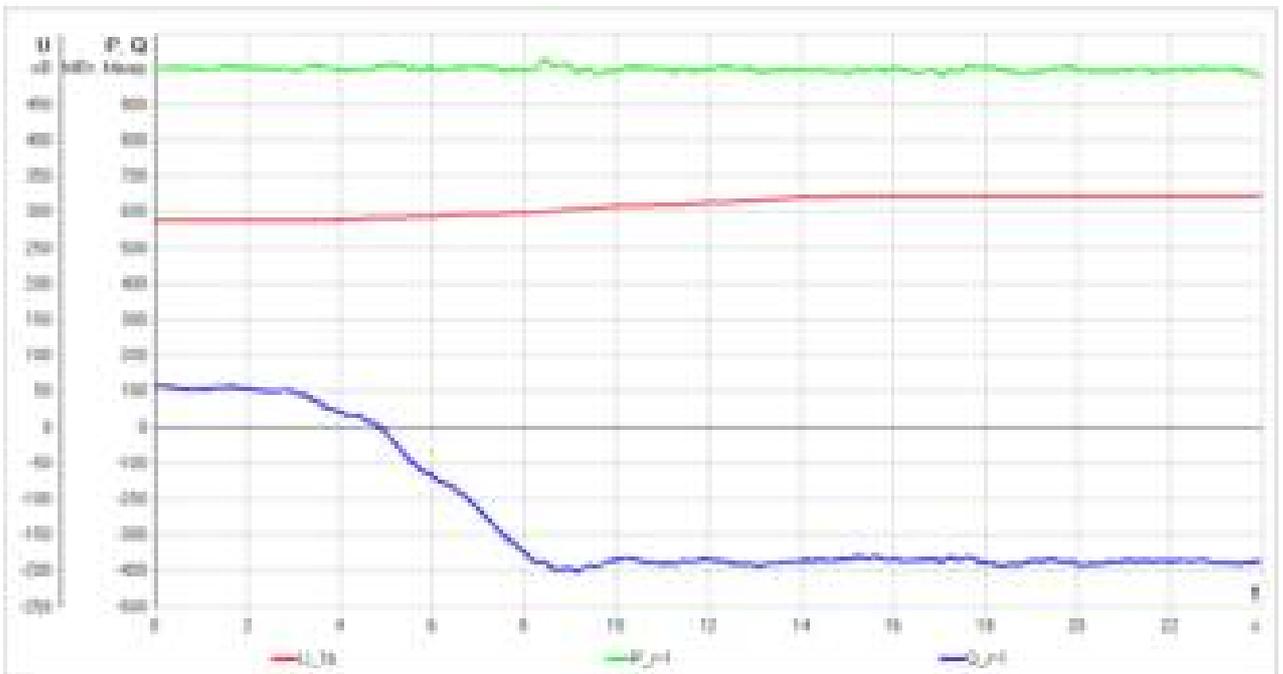
5.9. В экспериментах 70–74 должна проверяться корректность работы АРВ сильного действия синхронного генератора в режиме ограничения минимального возбуждения. Проверка должна выполняться в статическом и динамическом режимах.

При проведении экспериментов должна быть задана характеристика ограничителя минимального возбуждения (далее – ОМВ) в соответствии с таблицей 10.

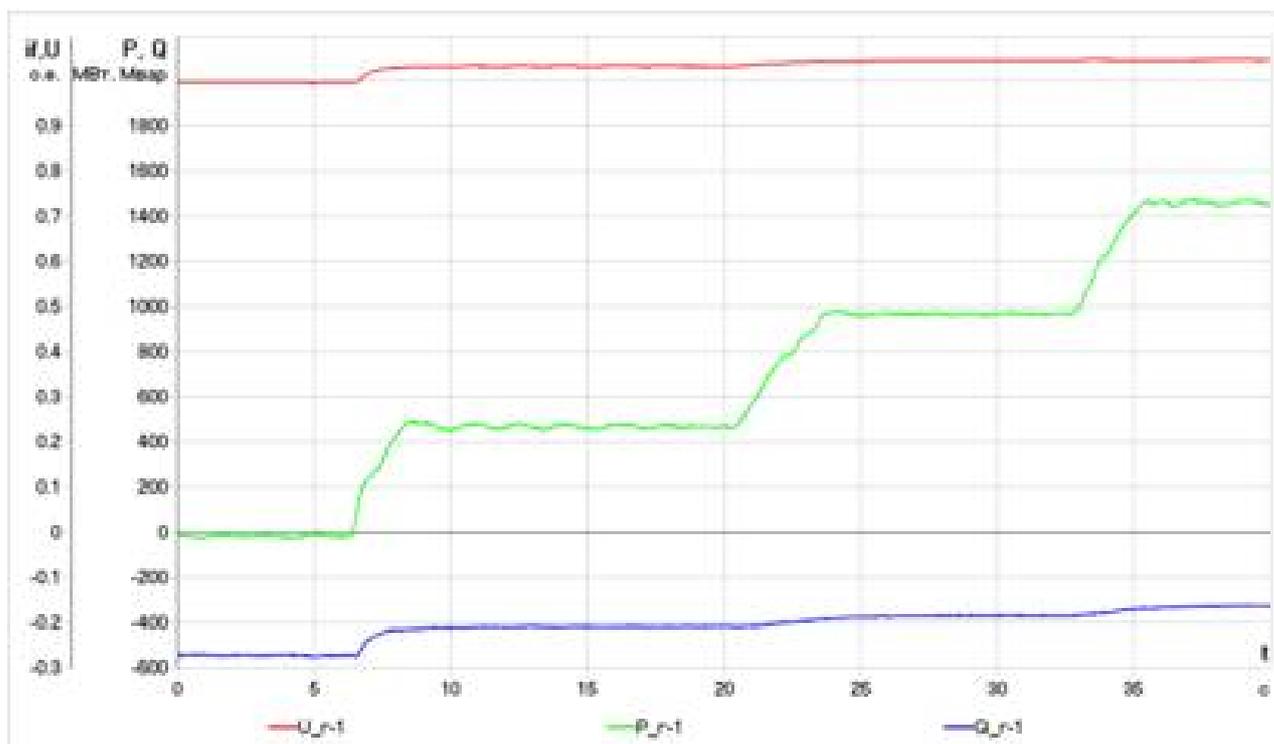
Пример характеристики ОМВ

Точка характеристики	$P$	$Q$
	МВт	Мвар
1	0	-600
2	1000	-500
3	1500	-390
4	2000	-300

В статическом режиме (при медленном изменении напряжения в энергосистеме или при медленном увеличении активной мощности генератора без моделирования возмущения) вход в зону ОМВ и выход из зоны ОМВ должны носить плавный характер. Работа АРВ сильного действия синхронного генератора признается корректной, если в статическом режиме процесс входа в зону ОМВ или выхода из зоны ОМВ имеет аperiodический (неколебательный) характер. Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронного генератора в статическом режиме при медленном изменении напряжения в энергосистеме показан на рисунке 31, при медленном увеличении активной мощности генератора – на рисунке 32.



**Рисунок 31. Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронного генератора (плавного входа в зону ОМВ) в статическом режиме при медленном изменении напряжения в энергосистеме**

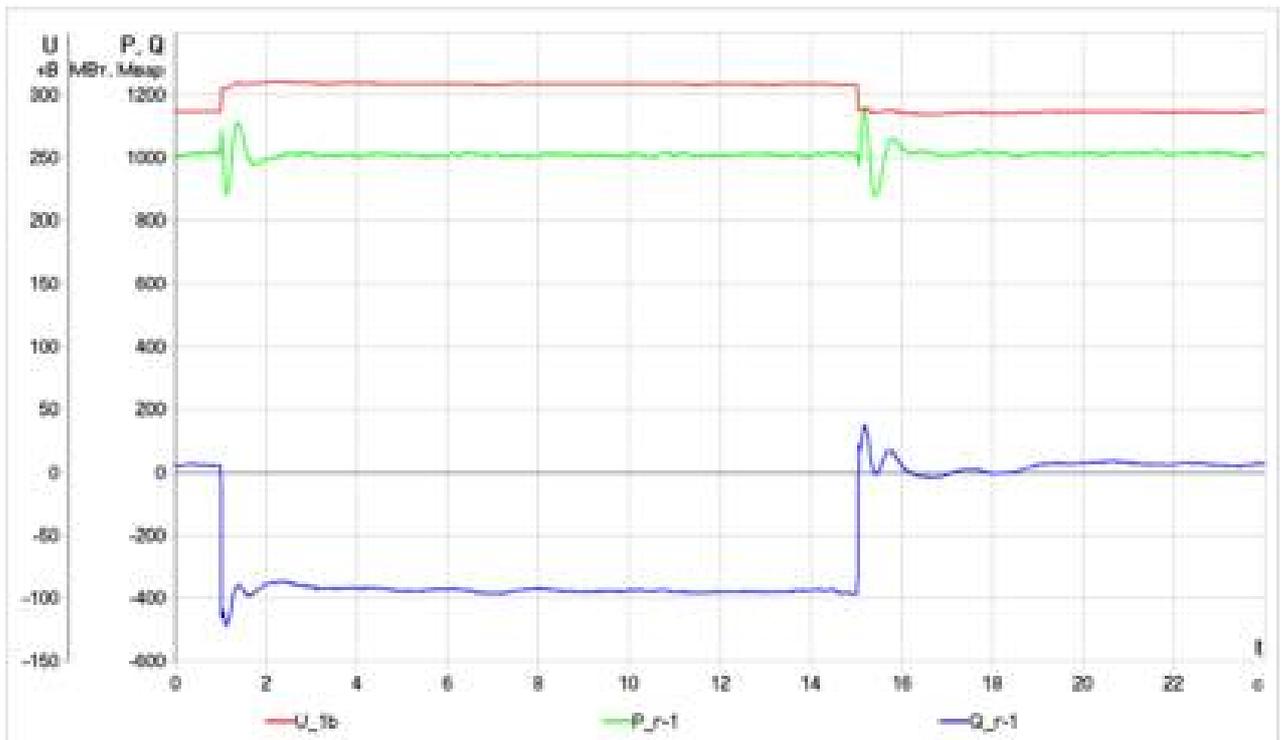


**Рисунок 32. Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронного генератора (плавного входа в зону ОМВ) в статическом режиме при медленном увеличении активной мощности генератора**

В динамическом режиме при изменении баланса реактивной мощности за счет включения емкости на шинах электрической станции № 1 и последующего (через 6–10 с) отключения емкости на шинах электрической станции № 1 при корректной работе АРВ вход в зону ОМВ в начальной фазе переходного процесса не должен приводить к превышению потребляемой синхронным генератором реактивной мощности более чем на 30 % по отношению к заданной уставке ОМВ.

Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронного генератора при входе в зону ОМВ и выходе из зоны ОМВ в динамическом режиме приведен на рисунке 33.

Работа в зоне ОМВ не должна сопровождаться колебаниями тока возбуждения и реактивной мощности. Если в опыте с введенными каналами стабилизации или включенным системным стабилизатором будут наблюдаться колебания тока возбуждения и реактивной мощности, в алгоритм функционирования АРВ сильного действия синхронного генератора следует ввести блокировку каналов стабилизации или системного стабилизатора при переходе в зону ОМВ.



**Рисунок 33. Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронного генератора при входе в зону ОМВ и выходе из зоны ОМВ в динамическом режиме**

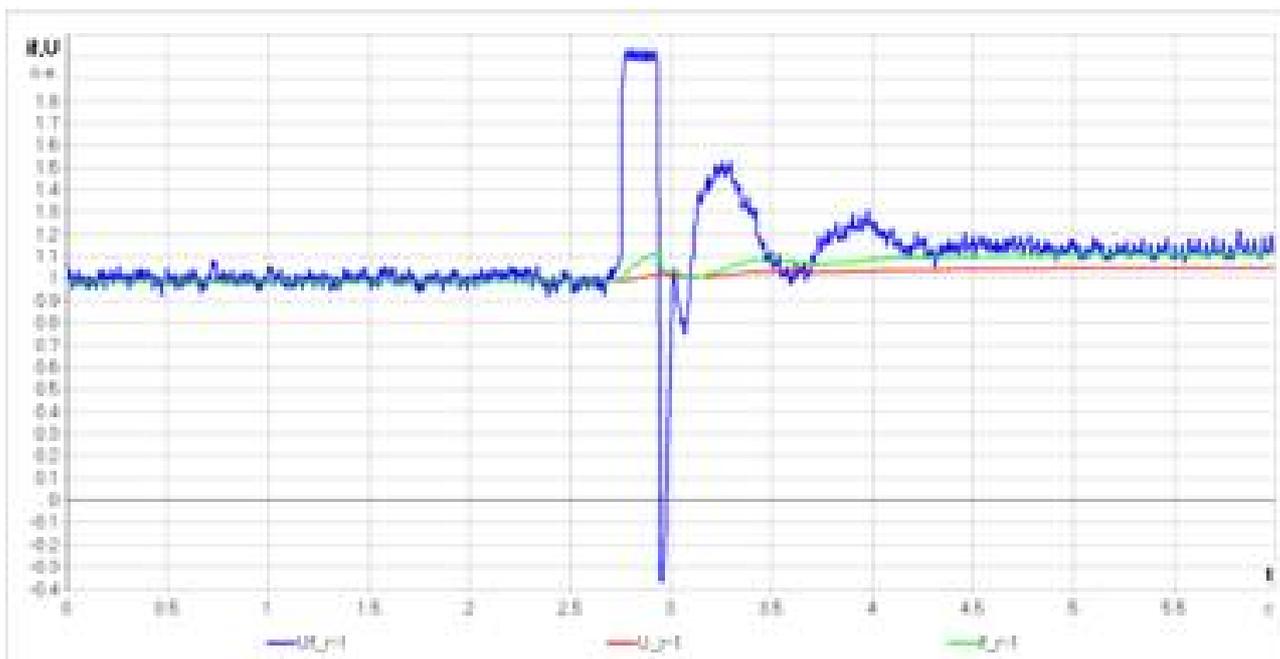
5.10. В экспериментах 75–77 должна проверяться корректность работы ограничителя двукратного тока ротора. Проверка должна выполняться тремя способами: путем подачи тестового сигнала на увеличение уставки по напряжению генератора (эксперимент 75), путем моделирования затянувшегося двухфазного КЗ на землю (эксперимент 76) и серии из двух двухфазных КЗ на землю (эксперимент 77).

В эксперименте 75 ограничитель двойного тока ротора должен вступать в работу без выдержки времени и перерегулирования (см. рисунок 34).

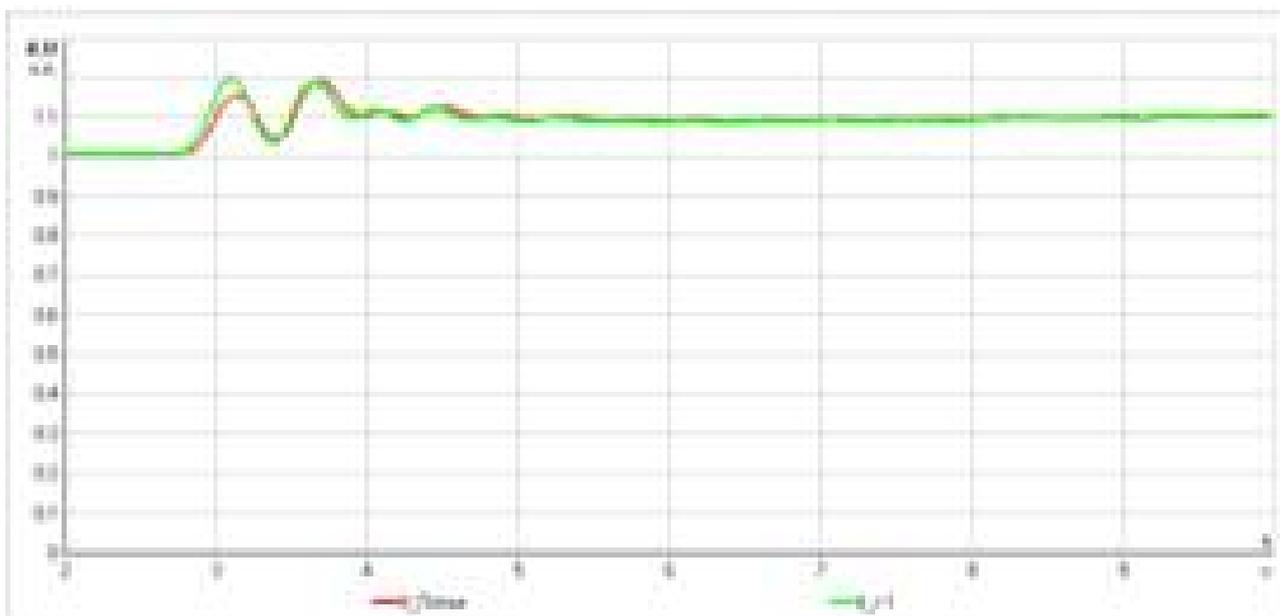
При проведении эксперимента 75 для АРВ сильного действия, у которых реализован ограничитель двойного тока ротора для бесщеточной системы возбуждения, следует дополнительно регистрировать расчетный ток ротора, определяемый по диаграмме Потье. Критерием корректности работы ограничителя является совпадение установившегося значения, измеренного и расчетного значений тока ротора (см. рисунок 35).

Ввод ограничения двукратного тока ротора в экспериментах 76 и 77 должен осуществляться с выдержкой времени, достаточной для затухания периодических токов, вызванных близкими короткими замыканиями, не препятствуя тем самым вводу релейной форсировки возбуждения. Задержка времени на ввод ограничителя должна иметь возможность регулирования в диапазоне от 100 до 600 мс. Примеры корректной работы ограничителя двукратного тока ротора при моделировании затянувшегося двухфазного КЗ

на землю и при моделировании серии из двух двухфазных КЗ приведены на рисунках 36 и 37 соответственно.



**Рисунок 34. Пример корректной работы ограничителя двукратного тока ротора при подаче тестового сигнала на увеличение уставки по напряжению генератора на 30 %. Уставка ограничителя задана на уровне  $1,1U_{ном}$**



**Рисунок 35. Пример корректной работы ограничителя двукратного тока ротора при подаче тестового сигнала на увеличение уставки по напряжению генератора на 30 %. Уставка ограничителя задана на уровне  $1,1U_{ном}$**

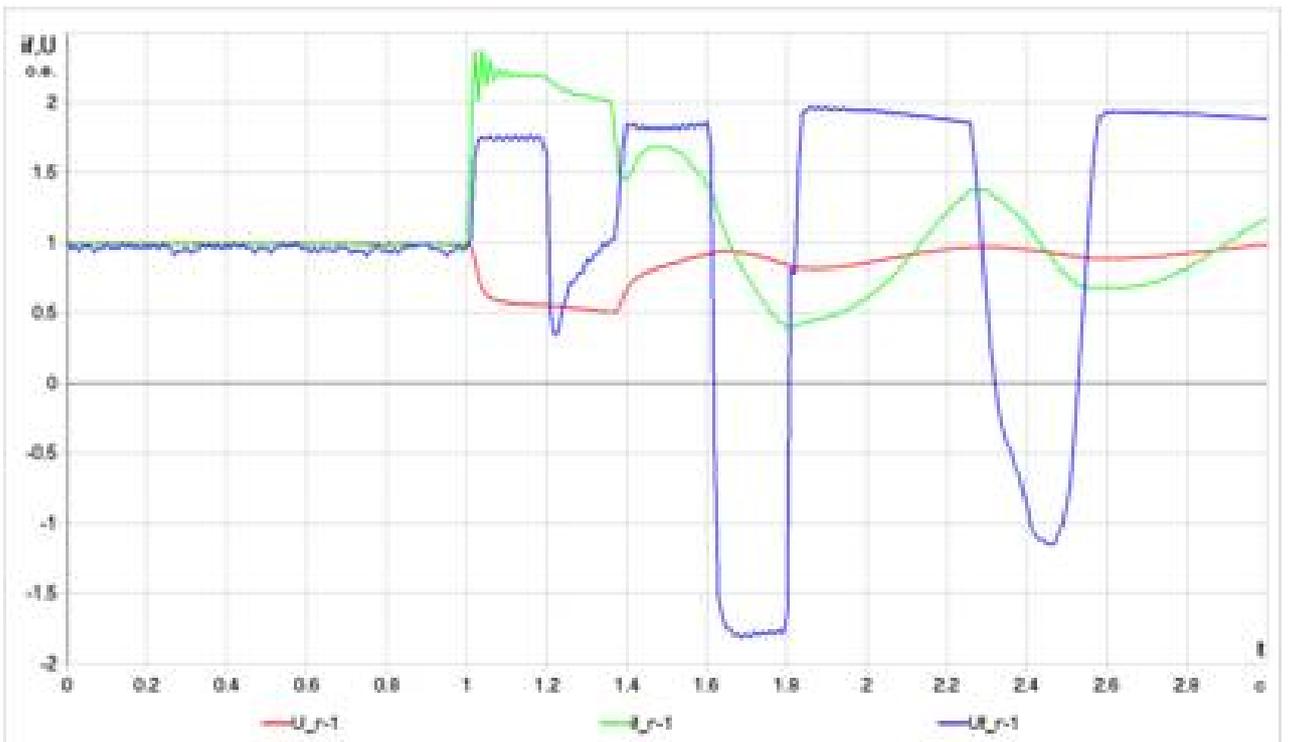


Рисунок 36. Пример корректной работы ограничителя двукратного тока ротора при моделировании затянувшегося двухфазного КЗ на землю. Уставка ограничителя задана на уровне  $2I_{ном}$

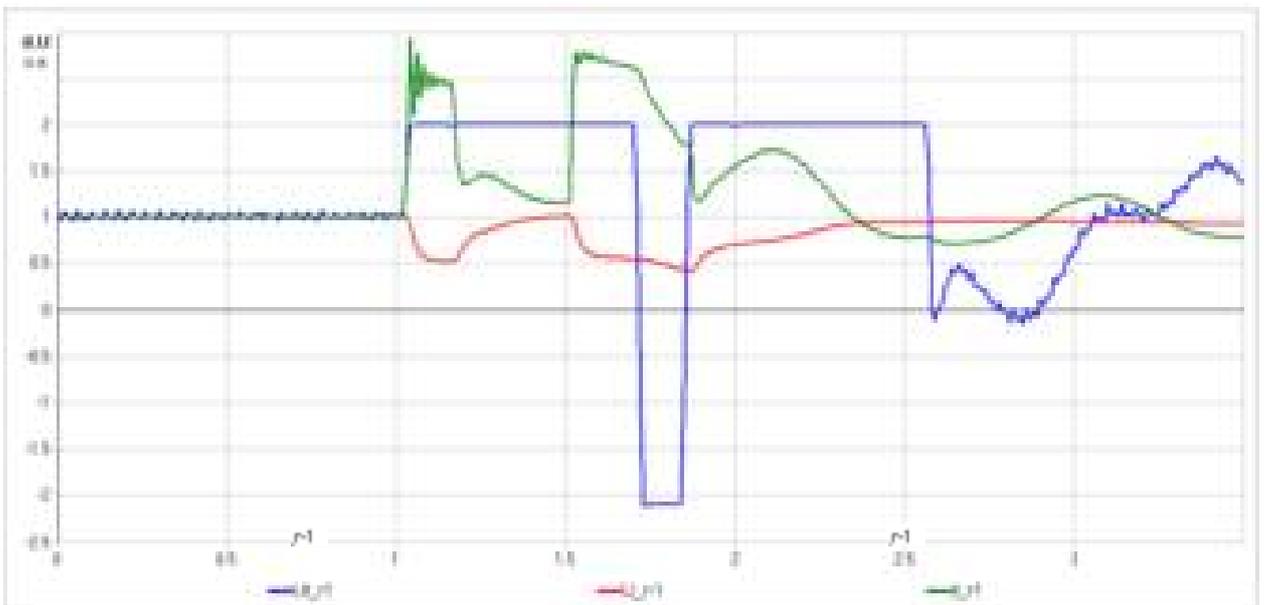


Рисунок 37. Пример корректной работы ограничителя двукратного тока ротора при моделировании серии из двух двухфазных КЗ на землю. Уставка ограничителя задана на уровне  $2I_{ном}$

5.11. В экспериментах 78–88 должны проверяться:

- устойчивость регулирования реактивной мощности и стабилизации режима при совместной работе двух регуляторов в составе укрупненного блока синхронных генераторов;

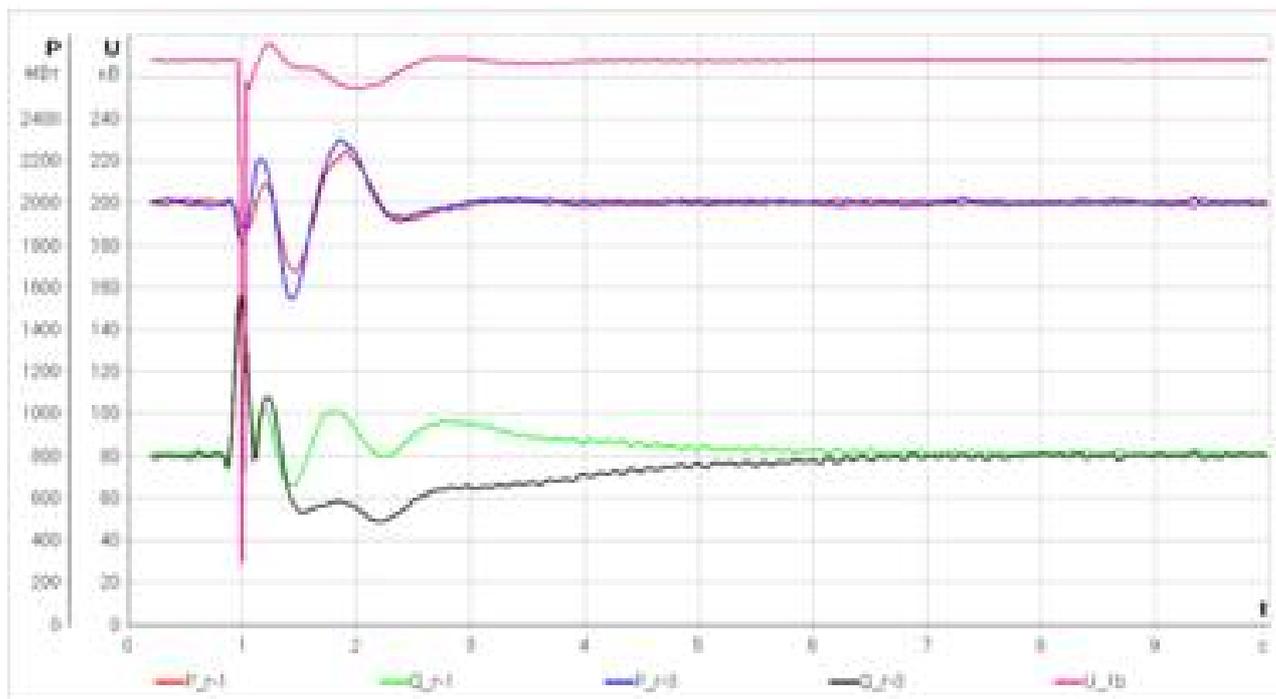
- корректность распределения реактивной мощности между синхронными генераторами, объединенными в одной точке на генераторном напряжении;

- отсутствие внутригрупповой неустойчивости.

Проверка должна выполняться путем подачи тестовых возмущений при введенных и выведенных на обоих АРВ сильного действия синхронных генераторов каналах стабилизации или включенном и выключенном системном стабилизаторе, а также при введенных каналах стабилизации или включенном системном стабилизаторе только на одном из АРВ сильного действия синхронного генератора.

При корректной работе АРВ сильного действия синхронных генераторов во всех опытах после снятия тестовых возмущений должна восстанавливаться исходная нагрузка синхронных генераторов по реактивной мощности, а сами тестовые возмущения не должны приводить к возникновению и развитию взаимных колебаний между синхронными генераторами.

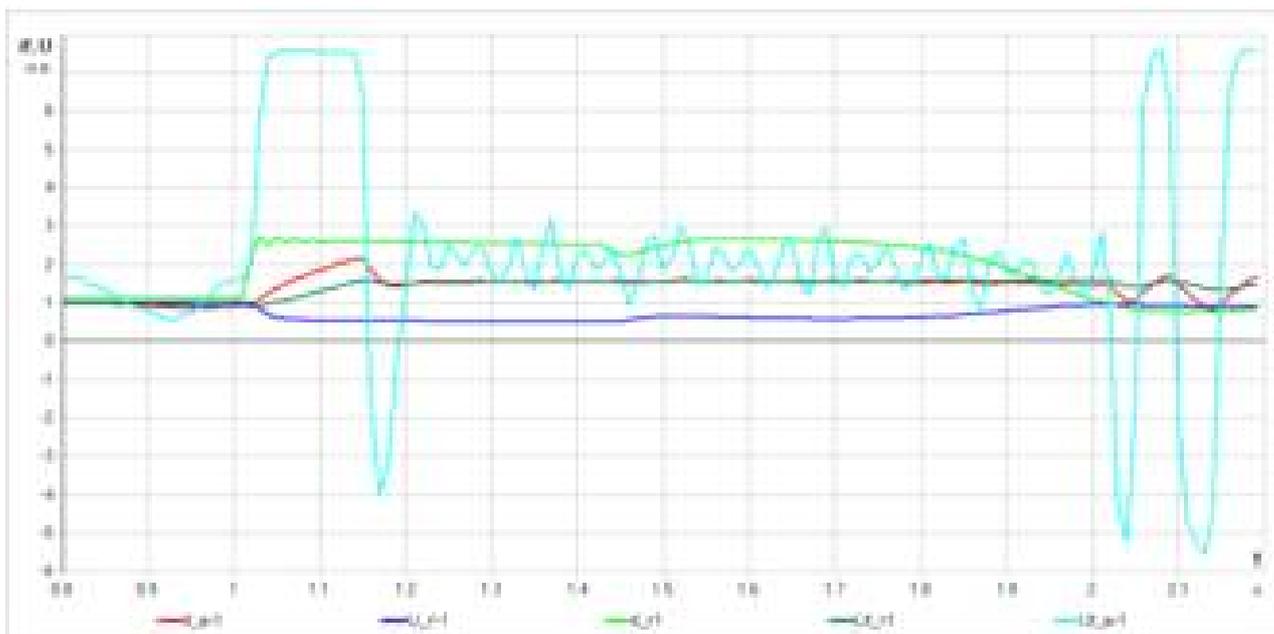
Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронных генераторов приведен на рисунке 38.



**Рисунок 38. Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронных генераторов при однофазном КЗ на шинах электрической станции №1 при совместной работе двух регуляторов в составе укрупненного блока синхронных генераторов**

5.12. В эксперименте 89 должна проверяться корректность работы ограничителя напряжения ротора. Проверка должна выполняться путем

моделирования затянувшегося трехфазного КЗ на землю. Ограничитель должен вступать в работу без перерегулирования. Для исключения срабатывания ограничителя двукратного тока возбуждения бесщеточного возбудителя уставка этого ограничителя при проведении эксперимента 89 должна быть задана большей (в относительных единицах), чем уставка ограничителя напряжения ротора. Для предотвращения срабатывания ограничителя двукратного тока ротора следует ввести максимальную задержку по времени на ввод этого ограничителя<sup>17</sup>. Пример корректной работы ограничителя напряжения ротора при моделировании затянувшегося трехфазного КЗ на землю приведен на рисунке 39.



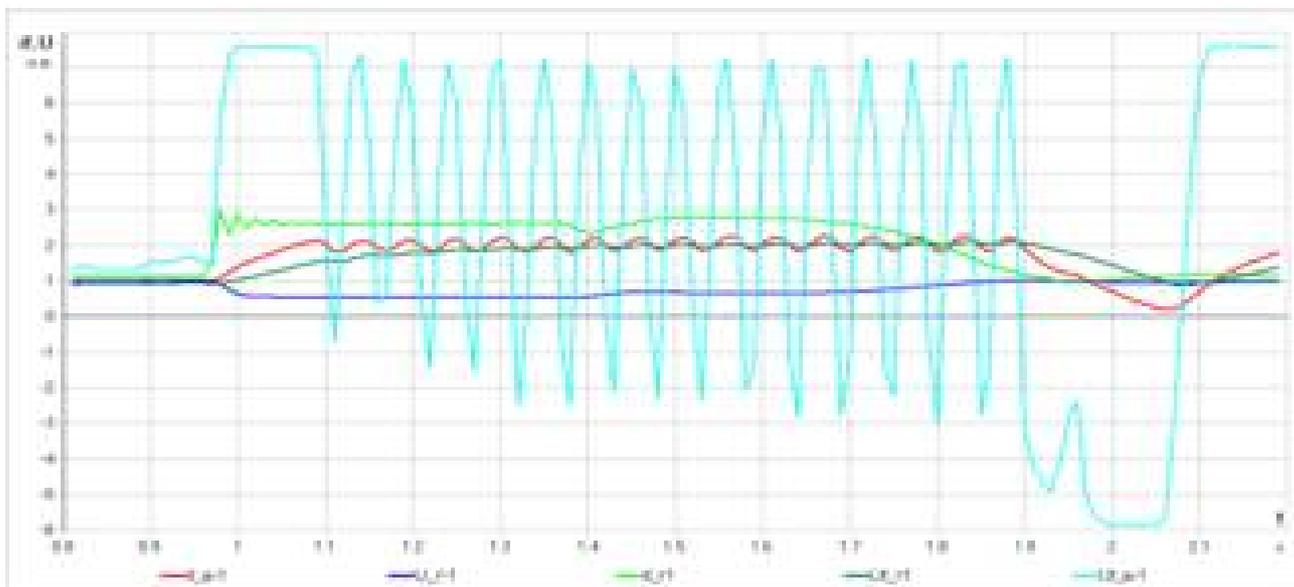
**Рисунке 39. Пример корректной работы ограничителя напряжения ротора при моделировании трехфазного затянувшегося КЗ вблизи шин электрической станции**

**№ 1. Уставка ограничителя напряжения ротора задана на уровне  $1,5U_{ном}$  (уставка ограничителя максимального тока возбуждения бесщеточного возбудителя задана на уровне  $3I_{ном}$ )**

5.13. В эксперименте 90 должна проверяться корректность работы ограничителя двукратного тока возбуждения бесщеточного возбудителя. Проверка должна выполняться путем моделирования затянувшегося трехфазного КЗ на землю. Ограничитель должен вступать в работу без перерегулирования. Для исключения срабатывания ограничителя напряжения ротора уставка этого ограничителя при проведении эксперимента 90 должна быть задана большей (в относительных единицах), чем уставка ограничителя тока возбуждения бесщеточного возбудителя. Для предотвращения срабатывания ограничителя двукратного тока ротора

<sup>17</sup> Для АРВ сильного действия, в которых имеется этот ограничитель.

следует ввести максимальную задержку по времени на ввод этого ограничителя<sup>18</sup>. Пример корректной работы ограничителя двукратного тока возбуждения бесщеточного возбудителя при моделировании затаянувшегося трехфазного КЗ на землю приведен на рисунке 40.



**Рисунок 40. Пример корректной работы ограничителя двукратного тока возбуждения бесщеточного возбудителя при моделировании трехфазного затаянувшегося КЗ вблизи шин электрической станции № 1. Уставка ограничителя двукратного тока возбуждения бесщеточного возбудителя задана на уровне  $2I_{ном}$  (уставка ограничителя напряжения ротора задана на уровне  $3U_{ном}$ )**

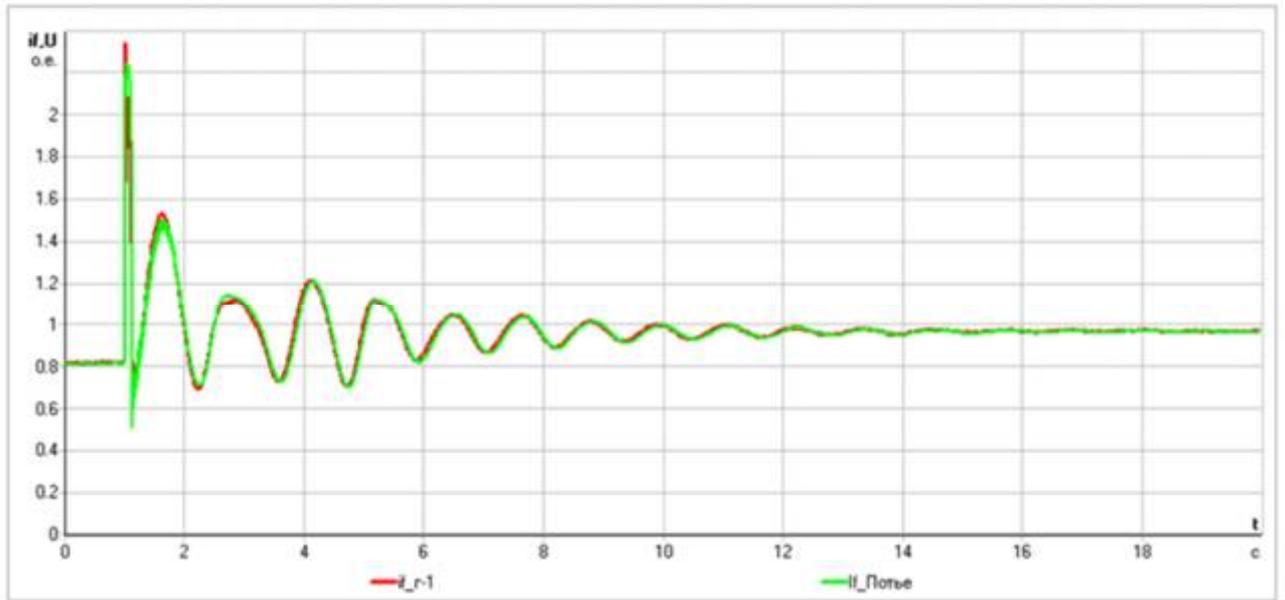
5.14. Проверка правильности расчета тока ротора по диаграмме Потье<sup>19</sup> производится путем повторения эксперимента 64. Корректность реализации алгоритма расчета тока ротора определяется путем сравнения его измеренного и расчетного значений после отключения короткого замыкания. Расчетное значение тока ротора должно отличаться от измеренного:

- по фазе – не более чем на 30 градусов;
- по амплитуде – не более чем на 20 %.

Пример корректной работы АРВ приведен на рисунке 41.

<sup>18</sup> Для АРВ сильного действия, в которых имеется этот ограничитель.

<sup>19</sup> Только для АРВ сильного действия, в которых ток ротора, рассчитанный по диаграмме Потье, используется для формирования параметра стабилизации.



**Рисунок 41. Пример корректной реализации алгоритма расчета тока ротора по диаграмме Потье**

## МЕТОДИКА

### **проведения испытаний автоматических регуляторов возбуждения сильного действия синхронных генераторов и алгоритмов их функционирования на математической модели энергосистемы с использованием ПАК РВ**

#### **1. Область применения**

Настоящая Методика должна применяться при проведении испытаний автоматических регуляторов возбуждения (далее – АРВ) сильного действия синхронных генераторов и алгоритмов их функционирования на математической модели энергосистемы для проверки на соответствие Требованиям к системам возбуждения и автоматическим регуляторам возбуждения сильного действия синхронных генераторов, утвержденным приказом Минэнерго России от 13.02.2019 № 98 (далее – Требования).

Проведение испытаний по настоящей Методике должно осуществляться на математической модели энергосистемы, созданной с использованием цифрового программно-аппаратного комплекса моделирования энергосистем в режиме реального времени (далее - ПАК РВ).

#### **2. Этапность подготовки и проведения испытаний**

Испытания АРВ сильного действия синхронных генераторов и алгоритмов их функционирования (далее – испытания) на математической модели энергосистемы должны содержать следующие этапы:

- разработка, настройка и подготовка математической модели энергосистемы (формирование математической модели);
- проведение испытаний;
- анализ результатов испытаний.

#### **3. Разработка, настройка и подготовка математической модели энергосистемы**

##### **3.1. Общие положения**

3.1.1. Для проведения испытаний математическая модель энергосистемы должна быть создана с использованием ПАК РВ типа Real Time Digital Simulator (RTDS) или иного ПАК РВ при обеспечении получения на нем переходных процессов, свойств математической модели и результатов испытаний, аналогичных переходным процессам, свойствам математической модели и результатам испытаний, полученным при использовании верифицированной АО «СО ЕЭС» математической модели, созданной в RTDS, или физической модели энергосистемы (далее по тексту настоящей Методики указанные ПАК РВ совместно именуются RTDS).

В случае использования для создания математической модели энергосистемы иного ПАК РВ определение аналогичности переходных процессов, свойств математической модели и результатов испытаний (далее – верификация математической модели) осуществляется АО «СО ЕЭС».

Для верификации математической модели энергосистемы организация, проводящая испытания, должна:

3.1.1.1. Предоставить в АО «СО ЕЭС» основные данные о математической модели энергосистемы, созданной с применением ПАК РВ, содержащие:

а) сведения об аппаратной части ПАК РВ, включающие:

- количество и тип вычислительных процессорных плат, осуществляющих функции расчета в режиме реального времени;
- количество и тип устройств аналогового вывода, ввода, дискретного вывода, ввода с указанием количества соответствующих каналов этих устройств и основных характеристик их входных или выходных сигналов;
- количество и тип устройств, осуществляющих преобразование (усиление) аналоговых сигналов с указанием количества каналов этих устройств и основных характеристик их входных или выходных сигналов;

б) сведения о предлагаемых схемах подключения АРВ сильного действия синхронных генераторов к аппаратной части ПАК РВ с указанием взаимосвязей физических входных и выходных сигналов с их ролью в математической модели энергосистемы, реализованной в ПАК РВ;

в) сведения о математической модели энергосистемы, включающие:

- описание схемы или набора схем (с указанием количества), используемой (использующихся) в качестве математической модели энергосистемы;
- описание возможностей по осуществлению переключений и моделирования схемно-режимных условий;
- описание элементов, осуществляющих моделирование действия релейной защиты и автоматики;
- описание элементов, осуществляющих измерения параметров электроэнергетического режима для устройств регулирования и для регистрации;
- описание системы регистрации параметров электроэнергетического режима.

3.1.1.2. Провести с использованием созданной такой организацией математической модели энергосистемы эксперименты по установленному АО «СО ЕЭС» перечню (из числа экспериментов, указанных в таблице 10) в отношении АРВ сильного действия синхронных генераторов, ранее с положительным результатом прошедшего испытания на другой верифицированной математической модели энергосистемы, созданной с

использованием *RTDS*, и представить результаты таких экспериментов в АО «СО ЕЭС» для оценки аналогичности ранее полученным результатам.

3.1.2. Математическая модель энергосистемы должна представлять собой схему или набор схем, разработанных в программном обеспечении *RTDS*, включающих:

- модели синхронных генераторов, трансформаторов, линий электропередачи, комплексных нагрузок<sup>20</sup>, конденсаторных батарей, реакторов, шин неизменного напряжения, АРВ, систем возбуждения, регуляторов скорости, турбин;

- элементы, обеспечивающие возможность осуществлять ручное управление мощностью и возбуждением генераторов;

- элементы, обеспечивающие моделирование действия устройств и комплексов релейной защиты и автоматики;

- элементы, обеспечивающие контроль и регистрацию параметров электроэнергетического режима.

Использование данной схемы (или набора схем) должно позволять:

- воспроизводить схемно-режимные условия, указанные на рисунках 3–20. В случае использования одной схемы она должна иметь возможность осуществления необходимых для воспроизведения указанных схемно-режимных условий переключений. В случае использования набора схем состав элементов, входящих в схемы, должен определяться исходя из расположения коммутационных аппаратов. При необходимости уменьшения вычислительного оборудования, необходимого для создания схемы, замещение трансформаторов, находящихся на холостом ходе, должно выполняться статическими шунтами в соответствии с параметрами замещаемых трансформаторов. Эквивалентность преобразований должна быть подтверждена путем проверки соответствия электрических режимов работы замещаемых элементов и соответствующих статических шунтов;

- при испытаниях АРВ сильного действия, работающих в составе бесщеточных систем возбуждения, воспроизводить все эксперименты программы испытаний, указанные в таблице 10;

- при испытаниях АРВ сильного действия, работающих в составе статических систем возбуждения, воспроизводить все эксперименты программы испытаний, указанные в таблице 10, за исключением экспериментов 89 и 90;

- осуществлять подключение испытываемого АРВ сильного действия в соответствии с документацией завода-изготовителя к элементам *RTDS*, реализующим полную имитацию подключения АРВ сильного действия непосредственно к натурному генератору и его системе возбуждения в условиях энергосистемы, позволяющее обеспечивать адекватное функционирование АРВ сильного действия при выполнении всех экспериментов программы испытаний.

---

<sup>20</sup> Комплексная нагрузка – нагрузка, включающая шунтовую и асинхронную нагрузку.

*Методические указания по проведению испытаний автоматических регуляторов возбуждения сильного действия синхронных генераторов и алгоритмов их функционирования*

3.1.2. Математическая модель энергосистемы должна обеспечивать реализацию в выходных сигналах по напряжениям фаз *A*, *B*, *C* статоров генераторов Г-1\_1 и Г-1\_3, поступающих к измерительным органам испытываемого АРВ сильного действия, выраженной третьей гармонике в мгновенных значениях на уровне 1,5 %, колебания частот 16,67 и 25 Гц в действующих значениях на уровне 0,08 %, составляющие обратной и нулевой последовательности на уровне 0,5 % от текущего действующего значения напряжений статоров генераторов Г-1\_1 и Г-1\_3.

3.1.3. В случае реализации математической модели энергосистемы в виде одной схемы и с учетом всех представленных в настоящей Методике требований и рекомендаций по реализации моделей элементов аппаратная часть *RTDS* должна содержать не менее 2 расчетных стоек и 7 процессорных плат типа *PB5* (или соответствующее по вычислительным возможностям и реализации моделей количество расчетных плат другого типа) для выполнения испытаний АРВ сильного действия, работающих в составе статических и/или бесщеточных систем возбуждения.

3.1.4. Математическая модель энергосистемы при испытаниях должна функционировать в режиме реального времени. Частота дискретизации расчета должна быть задана на уровне не менее чем 10 кГц.

## **3.2. Требования к моделям элементов математической модели энергосистемы**

3.2.1. Требования к моделям элементов распространяются на реализацию математической модели энергосистемы в виде одной схемы или набора схем.

3.2.2. Общая схема математической модели энергосистемы приведена на рисунке 1. На указанной схеме используются следующие обозначения:

- ЭС – электрическая станция;
- Г – генератор;
- Т – трансформатор;
- Д – асинхронный двигатель нагрузки;
- Р – активный шунт нагрузки;
- Л – линия электропередачи;
- С – емкость;
- В – выключатель;
- ШНН – шины неизменного напряжения;
- Т-Н – трансформатор нагрузки;
- ЛС – соединительные элементы.

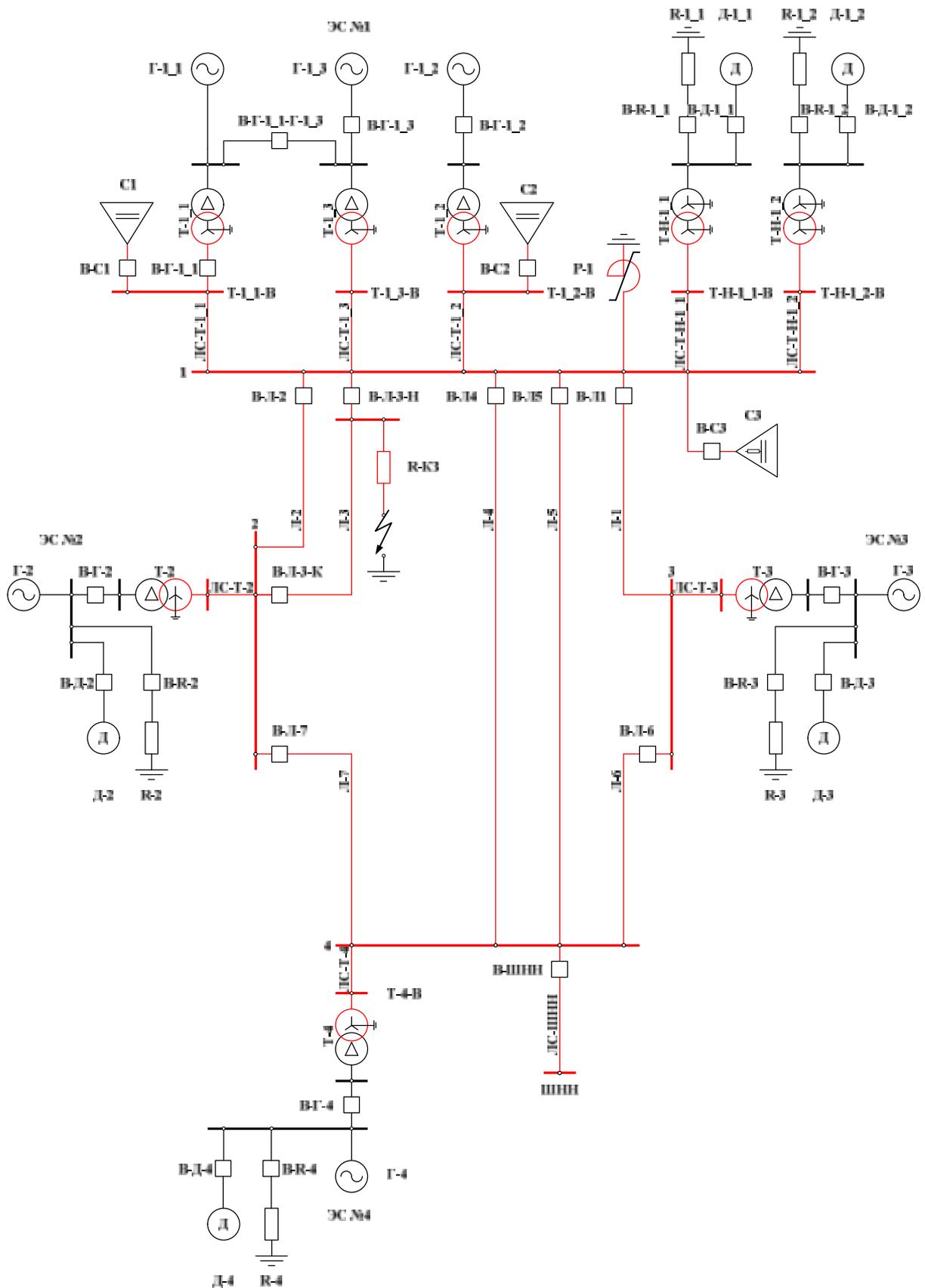


Рисунок 1. Общая схема математической модели энергосистемы

3.2.3. Параметры моделей генераторов и типы их систем возбуждения, автоматических регуляторов возбуждения, турбин и регуляторов скорости представлены в таблицах 3, 4 и примечаниях к ним.

3.2.4. В качестве моделей генераторов Г-1\_1, Г-1\_3, Е-1\_1 и Е-1\_3 должны использоваться модели генераторов *Phase-Domain Synchronous Machine (PDSM) for internal faults (\_rtds\_PDSM\_FLT\_v2.def)*.

3.2.5. В качестве моделей генераторов Г-2, Г-3, Г-4 должны использоваться модели генераторов *Phase-Domain Synchronous Machine (PDSM) for internal faults (\_rtds\_PDSM\_FLT\_v2.def)* либо *Synchronous Machine Model with transformer and loads (lf\_rtds\_sharc\_sld\_MACV31)* без опциональных блочных трансформаторов. Выбор модели осуществляется организацией, проводящей испытания, при разработке, настройке и подготовке математической модели энергосистемы.

3.2.6. В качестве модели генератора Г-1\_2 должна использоваться *Phase-Domain Synchronous Machine (PDSM) for internal faults (\_rtds\_PDSM\_FLT\_v2.def)* либо *Synchronous Machine Model with transformer and loads (lf\_rtds\_sharc\_sld\_MACV31)* без опционального блочного трансформатора или с опциональным блочным трансформатором. Выбор модели осуществляется организацией, проводящей испытания, при разработке, настройке и подготовке математической модели энергосистемы.

3.2.7. Параметры моделей трансформаторов приведены в таблице 5 и примечаниях к этой таблице. Допускается использовать любые модели трехфазных блочных трансформаторов библиотеки моделей *RTDS*, воспроизводящие указанные в таблице 5 режимные характеристики.

3.2.8. Параметры моделей шунтов (*lf\_rtds\_sharc\_sld\_SHUNTRLC* или аналогичные) приведены в таблице 6.

3.2.9. Сопротивление каждой фазы шунта короткого замыкания должно быть равно 0,453 Ом (на напряжении 500 кВ).

3.2.10. Параметры моделей асинхронных двигателей (*lf\_rtds\_risc\_sld\_INDM*) приведены в таблице 7.

3.2.11. Параметры моделей линий электропередачи и соединительных элементов, требования и рекомендации по выбору их типа приведены в таблице Д.1 и примечаниях к ней.

3.2.12. Параметры моделей конденсаторных батарей (*lf\_rtds\_sharc\_sld\_BRKRLC* или аналогичные) приведены в таблице 2 и примечаниях к ней.

3.2.13. В качестве модели шин неизменного напряжения должна использоваться модель шин неизменного напряжения *Source Model* из библиотеки *RTDS (lf\_rtds\_sharc\_sld\_SRC)*.

3.2.14. Параметры модели насыщающегося реактора и требования по выбору ее типа приведены в таблице 9.

3.2.15. При выполнении испытаний АРВ сильного действия, работающих в составе статических систем возбуждения, к выводам обмоток

возбуждения моделей генераторов Г-1\_1 и Г-1\_3 должны быть подключены математические модели статических систем возбуждения. При выполнении испытаний АРВ сильного действия, работающих в составе бесщеточных систем возбуждения, к выводам обмоток возбуждения моделей генераторов Г-1\_1 и Г-1\_3 должны быть подключены математические модели бесщеточных систем возбуждения.

3.2.16. В качестве математических моделей статических систем возбуждения синхронных генераторов Г-1\_1 и Г-1\_3 должны использоваться стандартные математические модели тиристорных трехфазных мостов (тиристорных преобразователей) библиотеки *RTDS*, моделирование которых выполняется с использованием уравнений электрических цепей (*Power System Components*). Для этой цели должна использоваться модель *rtds\_vsc\_HVDC6P* либо *lf\_rtds\_sld\_VGRP6*.

В качестве математической модели источника напряжения для математических моделей тиристорных преобразователей должна использоваться модель независимого источника трехфазного переменного напряжения (*lf\_rtds\_sharc\_sld\_SRC*).

3.2.17. Величина входного переменного напряжения математической модели независимого источника трехфазного напряжения тиристорных преобразователей статических систем возбуждения должна обеспечивать напряжение возбуждения генератора-возбудителя, равное  $2,0 \cdot U_{f\_ном}$  при мгновенном изменении угла управления тиристорами к значению  $(0-5)^\circ$  в номинальном режиме работы генератора, где  $U_{f\_ном}$  – номинальное напряжение возбуждения генератора.

3.2.18. Каждая из математических моделей бесщеточных систем возбуждения синхронных генераторов Г-1\_1, Г-1\_3 должна включать следующие элементы: трехфазный источник напряжения (*lf\_rtds\_sharc\_sld\_SRC*), тиристорный преобразователь (*lf\_rtds\_sharc\_sld\_VGRP6* или *rtds\_vsc\_HVDC6P*), генератор-возбудитель<sup>21</sup> (*\_rtds\_PDSM\_FLT\_v2.def*), диодный мост (*lf\_rtds\_sharc\_sld\_VGRP6* или *rtds\_vsc\_HVDC6P*). Трехфазный источник напряжения должен использоваться в качестве источника питания тиристорного преобразователя. Выходное напряжение тиристорного преобразователя должно быть подключено к обмотке возбуждения генератора-возбудителя. Напряжение статора генератора-возбудителя должно использоваться для электроснабжения математической модели диодного моста, выходное напряжение которого должно быть подключено к обмотке возбуждения синхронного генератора. Принципиальная схема приведена на рисунке 26.

3.2.19. Величина входного переменного напряжения моделей тиристорных преобразователей бесщеточных систем возбуждения должна обеспечивать напряжение возбуждения генератора-возбудителя, равное

<sup>21</sup> Генераторы-возбудители – генераторы Е-1\_1 и Е-1\_3 для генераторов Г-1\_1 и Г-1\_3 соответственно.

7.4  $U_{f\_nom}$  при мгновенном изменении угла управления тиристорами к значению  $(0-5)^\circ$  в номинальном режиме работы генераторов (Г-1\_1 либо Г-1\_3 соответственно), где  $U_{f\_nom}$  - напряжение возбуждения генератора-возбудителя, соответствующее номинальному режиму работы основного генератора (Г-1\_1 и Г-1\_3 соответственно).

### 3.3. Модели турбин, автоматических регуляторов возбуждения синхронных генераторов, автоматических регуляторов скорости турбин, момента сопротивления на валу асинхронного двигателя

3.3.1. Модели автоматических регуляторов возбуждения и систем возбуждения синхронных генераторов должны состоять из пропорционально-дифференциального регулятора напряжения, каналов внутренней и системной стабилизации в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 2а и таблице 8, а также обеспечивать релейную форсировку возбуждения со следующими параметрами:

- уставка ввода – 85% от исходного значения;
- уставка снятия – 90% от исходного значения;
- задержка на снятие отсутствует.

3.3.2. Модели регуляторов скорости совместно с моделями турбин генераторов Г-1\_1, Г-1\_2, Г-1\_3, Г-2 и Г-3 должны описываться следующим выражением (тип 1):

$$M_T = (-dW) \cdot K_{dW} + M_{уст}, \quad (1)$$

где:  $dW$  - отклонение скорости вращения генератора от номинальной (о.е.),

$K_{dW} = 1,0$  - коэффициент усиления для Г-1\_1, Г-1\_2, Г-1\_3, Г-3,

$K_{dW} = 0,1$  - коэффициент усиления для Г-2.

$K_{dW} = 0,07$  - коэффициент усиления для Г-4 при ручном управлении мощностью.

В качестве модели регулятора скорости Г-4 должна использоваться модель, работа которой описывается выражением (тип 2):

$$M_T = (-dW) \cdot K_{dW}, \quad (2)$$

где:  $dW$  - отклонение скорости вращения генератора от номинальной (о.е.),

$K_{dW} = 2,0$  - коэффициент усиления.

Скорость вращения роторов математических моделей генераторов-возбудителей Е-1\_1 и Е-1\_3 должна быть равна скоростям вращения роторов математических моделей генераторов Г-1\_1 и Г-1\_3 (тип 3).

3.3.3. Момент сопротивления на валу асинхронных двигателей должен описываться следующим выражением:

$$M_c = const, \quad (3)$$

где  $M_c$  - момент сопротивления,  
 $const$  - константа, определяемая требуемым электроэнергетическим режимом работы двигателя.

### 3.4. Система контроля и регистрации параметров электроэнергетического режима

3.4.1. Математическая модель энергосистемы должна быть оснащена системой контроля и регистрации параметров электроэнергетического режима.

3.4.2. Система контроля параметров электроэнергетического режима должна обеспечивать измерение и визуализацию напряжений во всех узлах и потоках активной и реактивной мощности во всех ветвях схемы.

3.4.3. Система регистрации параметров электроэнергетического режима должна обеспечивать одновременную синхронизированную по времени регистрацию следующих параметров электроэнергетического режима:

- потоки активной мощности по линиям электропередачи Л-1 [P\_1-3], Л-2 и Л-3 [P\_1-2], Л-4 и Л-5 [P\_1-4];
- активная и реактивная мощности генераторов Г-1\_1 [P\_г-1\_1, Q\_г-1\_1], Г-1\_2 [P\_г-1\_2, Q\_г-1\_2] и Г-1\_3 [P\_г-1\_3, Q\_г-1\_3];
- напряжения статора генераторов Г-1\_1 [U\_г-1\_1], Г-1\_2 [U\_г-1\_2], Г-1\_3 [U\_г-1\_3];
- напряжения возбуждения генераторов Г-1\_1 [Uf\_г-1\_1], Г-1\_2 [Uf\_г-1\_2], Г-1\_3 [Uf\_г-1\_3];
- токи возбуждения генераторов Г-1\_1 [If\_г-1\_1], Г-1\_2 [If\_г-1\_2], Г-1\_3 [If\_г-1\_3];
- напряжения фаз А [U\_1a], В [U\_1b] и С [U\_1c] на шинах 500 кВ узла 1;
- частота электрического тока в узле 1 [df];
- относительный угол между напряжением статора генератора Г-1\_1 (Г-1\_3) и напряжением узла 4 [ $\delta_{1-4}$ ];
- относительный угол между напряжением статора Г-3 и напряжением статора Г-1\_1;
- относительный угол между напряжением статора Г-2 и напряжением статора генератора Г-1\_1.

При испытании АРВ сильного действия, работающих в составе бесщеточных систем возбуждения, дополнительно должна выполняться регистрация следующих параметров:

- напряжения статора генераторов E-1\_1 [U-e-1\_1], E-1\_3 [U-e-1\_3];
- напряжения возбуждения генераторов E-1\_1 [Uf\_e-1\_1 или Uff\_г-1\_1], E-1\_3 [Uf\_e-1\_3 или Uff\_г-1\_3];
- токи возбуждения генераторов E-1\_1 [If\_e-1\_1 или Iff\_г-1\_1], E-1\_3 [If\_e-1\_3 или Iff\_г-1\_3];
- ток ротора генератора Г-1\_1, рассчитанный с использованием диаграммы Потье (сигнал подается от испытываемого АРВ) [If\_Потье].

3.4.4. Система регистрации параметров электроэнергетического режима должна обеспечивать:

- измерение фиксируемых параметров электроэнергетического режима с дискретностью не более 1 мс;
- запись фиксируемых параметров электроэнергетического режима с дискретностью не более 20 мс;
- запись фиксируемых параметров электроэнергетического режима в течение не менее 180 с.

### **3.5. Подключение испытываемого АРВ сильного действия к математической модели синхронного генератора**

3.5.1. Подключение испытываемого АРВ сильного действия к математической модели синхронного генератора должно осуществляться в соответствии с документацией завода - изготовителя АРВ. Подключение должно обеспечивать адекватное функционирование АРВ при выполнении всех экспериментов программы испытаний.

Подпункты 3.5.2 - 3.5.4 настоящей Методики предусматривают общие рекомендации по составу оборудования *RTDS* для выполнения подключения испытываемых АРВ и проведения испытаний.

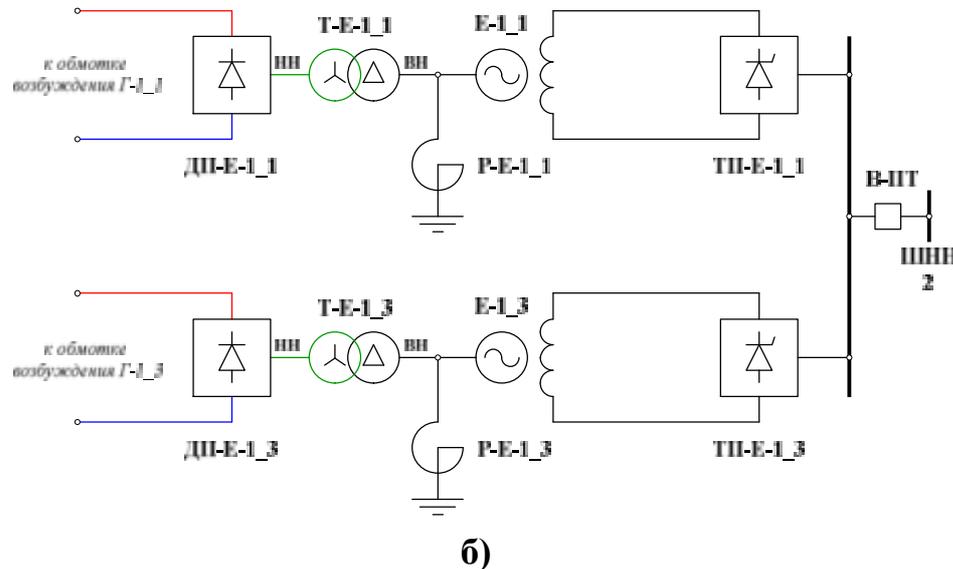
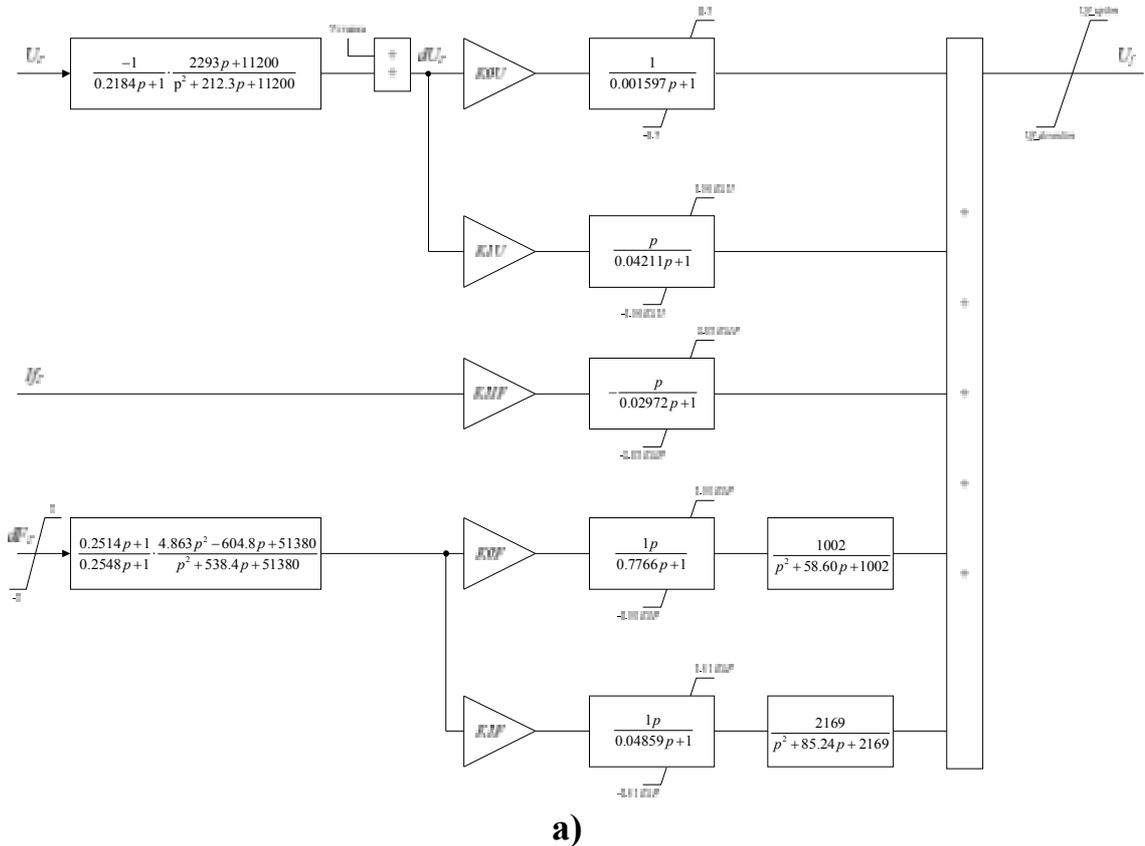
3.5.2. Для обеспечения возможности подключения промышленных образцов АРВ к математической модели энергосистемы рекомендуется иметь возможность выдачи с помощью усилителей не менее 12 сигналов по напряжению (порядка 100 В линейного напряжения в номинальном режиме работы модели генератора), не менее 12 сигналов по току (порядка 5 А в фазе в номинальном режиме работы генератора, а также соответствующие созданной математической модели энергосистемы значения токов при выполнении экспериментов).

3.5.3. Для обеспечения возможности подключения промышленных образцов АРВ к математической модели энергосистемы рекомендуется иметь возможность выдачи с помощью плат аналогового вывода *RTDS* не менее 24 аналоговых сигналов по напряжению ( $\pm 10$  В или более).

3.5.4. Для обеспечения возможности подключения промышленных образцов АРВ к математической модели энергосистемы рекомендуется иметь

возможность выдачи с помощью устройств дискретного вывода *RTDS* не менее 10 дискретных сигналов (по напряжению и/или сухих контактов).

3.5.5. Управление моделями тиристорных преобразователей статических и бесщеточных систем возбуждения генераторов Г-1\_1 и Г-1\_3 должно осуществляться с использованием импульсного выхода АРВ. Это требует наличия возможности приема не менее 12 дискретных сигналов с помощью плат дискретного ввода *RTDS*.



**Рисунок 2. Математическая модель автоматического регулятора сильного действия (АРВ-СД) и принципиальная схема моделей бесщеточных систем возбуждения для проведения испытаний<sup>22</sup>**

На рисунке 2 используются следующие обозначения:

$U_G$  – напряжение статора генератора, полученное с помощью безынерционных измерителей (е.н.с.);

$I_{fG}$  – ток возбуждения генератора (е.в.н.);

$dF_G$  – отклонение частоты напряжения статора генератора (Гц);

$U_f$  – напряжение возбуждения генератора (е.в.н.);

$p$  – оператор Лапласа;

ТП-Е-1\_1 и ТП-Е-1\_3 – тиристорные преобразователи;

ДП-Е-1\_1 и ДП-Е-1\_3 – диодные преобразователи;

Р-Е-1\_1 и Р-Е-1\_3 – реакторы;

Т-Е-1\_1 и Т-Е-1\_3 – согласующие трансформаторы.

**Примечание:**

- параметры Р-Е-1\_1: индуктивность реактора равна 0,06358 Гн, активное сопротивление – 1 Ом;

- параметры Р-Е-1\_3: индуктивность реактора равна 0,06224 Гн, активное сопротивление – 0,8175 Ом;

- параметры Т-Е-1\_1 и Т-Е-1\_3: напряжение высшей стороны равно 220 кВ, низшей стороны – 28,23 кВ, номинальная полная мощность 228 МВА, индуктивное сопротивление прямой последовательности трансформатора 0,01 о.е., потери холостого хода трансформатора 0,001 о.е., реактивные токи холостого хода – 0,1 %.

Таблица 1

Параметры моделей линий электропередачи и электрических связей

Номера узлов примыкания	Обозначение линии/связи	$X_1$ ,	$R_1$ ,
		Ом	Ом
1-3	Л-1	101	3,6
1-2	Л-2	49,3	2,6
	Л-3	99,9	6,8
1-4	Л-4	24,7	1,2
	Л-5	100,6	5,2
3-4	Л-6	50,9	2,5
2-4	Л-7	51,3	4,5
Т-1_1-В – 1	ЛС-Т-1_1	–	0,52
Т-1_2-В – 1	ЛС-Т-1_2	–	0,57
Т-1_3-В – 1	ЛС-Т-1_3	–	0,42
Т-Н-1_1-В – 1	ЛС-Т-Н-1_1	–	0,59
Т-Н-1_2-В – 1	ЛС-Т-Н-1_2	–	0,62
Т-2-В – 2	ЛС-Т-2	–	0,46
Т-3-В – 3	ЛС-Т-3	–	0,56
Т-4-В – 4	ЛС-Т-4	–	0,42
ШНН – 4	ЛС-ШНН	7,54	0,42

<sup>22</sup> Математическая модель АРВ-П получается из математической модели АРВ-СД подстановкой соответствующих коэффициентов, приведенных в таблице 8.

Обозначения, используемые в таблице 1:

$R_1$  – активное сопротивление прямой последовательности линии/связи;

$X_1$  – индуктивное сопротивление прямой последовательности линии/связи;

ШНН – шины неизменного напряжения;

ЛС – соединительные элементы.

**Примечание:** В качестве моделей линий электропередачи и связей должны использоваться модели *rtds\_sharc\_RLBKR* или аналогичные (например, *lf\_rtds\_sharc\_sld\_SERIESRLC*).

Таблица 2

Параметры моделей конденсаторных батарей

Название	$U_{\text{ном}}$	$Q_{\text{ш}}$
	кВ	Мвар
<i>C1</i>	500	188
<i>C2</i>	500	966
<i>C3</i>	500	984

Обозначения, используемые в таблице 2:

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение конденсаторной батареи;

$Q_{\text{ш}}$  – номинальная реактивная мощность, выдаваемая конденсаторной батареей.

**Примечание:** в ветвь треугольника конденсаторной батареи *C3* помимо конденсатора должно быть включено активное сопротивление, равное 1,68 Ом.

Таблица 3

Параметры моделей синхронных генераторов

Параметр	Ед. изм.	Значение							
		Г-1_1	Г-1_2	Г-1_3	Г-2	Г-3	Г-4	Е-1_1	Е-1_3
Название	-	Г-1_1	Г-1_2	Г-1_3	Г-2	Г-3	Г-4	Е-1_1	Е-1_3
Модель СВ <sup>23</sup>	-	СТН/БСВ	-	СТН/БСВ	-	-	-	-	-
Модель АРВ	-	-	АРВ-СД	-	АРВ-П	АРВ-П	АРВ-П	-	-
Модель турбины и РС	-	1	1	1	1	1	2	3	3
$S_{\text{ном}}$	МВА	2500	2500	2500	9000	2500	125000	257,678	267,46
$U_{\text{ном}}$	кВ	210	210	210	230	230	230	74,32	72,46
$\cos\varphi$	-	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	-	-
$X_a$	о.е.	0,065	0,056	0,062	0,06	0,053	0,593	0,056	0,060
$X_d$	о.е.	1,885	1,629	1,846	1,049	1,334	10,373	0,453	0,460
$X_d'$	о.е.	0,184	0,186	0,204	0,287	0,143	2,838	0,143	0,154
$X_d''$	о.е.	0,098	0,084	0,093	0,09	0,079	0,89	0,084	0,090
$X_q$	о.е.	1,650	1,010	1,777	0,900	1,181	6,685	0,400	0,443
$X_q''$	о.е.	0,112	0,097	0,106	0,110	0,09	1,088	0,106	0,103

<sup>23</sup> В зависимости от типа испытываемого АРВ.

$R_a$	о.е.	0,02	0,04	0,029	0,012	0,027	0,366	0,043	0,029
$T_{d0}'$	о.е.	8,125	5,924	8,55	7,198	5,574	1,817	0,943	0,955
$T_{d0}''$	о.е.	0,042	0,043	0,053	0,092	0,039	0,092	0,045	0,062
$T_{q0}''$	о.е.	0,06	0,062	0,076	0,110	0,056	0,131	0,060	0,083
$X_0$	о.е.	0,130	0,010	0,130	0,130	0,130	0,130	0,130	0,130
$T_J$	с	6,700	5,600	6,000	6,900	8,400	0,960	-	-
$D$	о.е.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-

Обозначения, используемые в таблице 3:

$S_{ном}$  – номинальная полная мощность генератора;

$U_{ном}$  – номинальное напряжение статора генератора;

$\cos\varphi$  – номинальный коэффициент мощности генератора;

$X_a$  – сопротивление рассеивания статора;

$X_d$  – ненасыщенное продольное синхронное индуктивное сопротивление обмотки статора;

$X_d'$  – ненасыщенное продольное переходное индуктивное сопротивление обмотки статора;

$X_d''$  – ненасыщенное продольное сверхпереходное индуктивное сопротивление обмотки статора;

$X_q$  – ненасыщенное поперечное синхронное индуктивное сопротивление обмотки статора;

$X_q''$  – ненасыщенное поперечное сверхпереходное индуктивное сопротивление обмотки статора;

$R_a$  – активное сопротивление обмотки статора;

$T_{d0}'$  – постоянная времени затухания переходных составляющих токов ротора в продольной оси при разомкнутой обмотке статора (ненасыщенное значение);

$T_{d0}''$  – постоянная времени затухания сверхпереходных составляющих токов ротора в продольной оси при разомкнутой обмотке статора (ненасыщенное значение);

$T_{q0}''$  – постоянная времени затухания сверхпереходных составляющих токов ротора в поперечной оси при разомкнутой обмотке статора (ненасыщенное значение);

$X_0$  – индуктивное сопротивление нулевой последовательности генератора;

$T_J$  – механическая инерционная постоянная агрегата (генератора и турбины);

$D$  – собственный коэффициент демпфирования агрегата (генератора и турбины);

БСВ – бесщеточная система возбуждения;

АРВ-СД – автоматический регулятор возбуждения сильного действия;

АРВ-П – автоматический регулятор возбуждения пропорционального действия;

СТН – статическая тиристорная независимая система возбуждения.

**Примечание:** тип модели турбины и регуляторов скорости см. раздел 3.3.

Таблица 4

Характеристики насыщения моделей синхронных генераторов

Точки Название генерато ра	Характеристика ( $i_f ; U_f$ ) (е.в.х.х., о.е.с.)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Г-1_1	0,000	0,376	0,518	0,609	1,000	1,088	1,192	1,373	1,762	-
	0,000	0,439	0,588	0,678	1,000	1,069	1,133	1,227	1,340	-
Г-1_2	Коэффициенты насыщения $SE10 = 0,0875$ ; $SE12 = 0,1875$									
Г-1_3	0,000	0,303	0,606	1,000	1,212	1,394	-	-	-	-
	0,000	0,351	0,660	1,000	1,154	1,270	-	-	-	-
Г-2	Коэффициенты насыщения $SE10 = 0,2420$ ; $SE12 = 0,5620$									
Г-3	Коэффициенты насыщения $SE10 = 0,1375$ ; $SE12 = 0,2875$									
Е-1_1	0,000	0,100	0,400	1,000	1,500	2,000	3,000	4,000	5,700	13,35

Методические указания по проведению испытаний автоматических регуляторов возбуждения сильного действия синхронных генераторов и алгоритмов их функционирования

	0,000	0,112	0,437	1,032	1,474	1,870	2,540	3,064	3,686	5,191
<b>E-1_3</b>	0,000	0,33	1,000	1,099	2,198	3,297	4,396	5,495	6,593	-
	0,000	0,343	1,000	1,088	2,012	2,770	3,355	3,765	3,995	
<b>Г-4</b>	Коэффициенты насыщения $SE10 = 0,0620$ ; $SE12 = 0,2260$									

Обозначения, используемые в таблице 4:

$SE10$  – разница токов возбуждения, необходимых для поддержания напряжения генератора, равного 1,0 о.е., на холостом ходу при характеристике без насыщения и характеристике с насыщением;

$SE12$  – разница токов возбуждения, необходимых для поддержания напряжения генератора, равного 1,2 о.е., на холостом ходу при характеристике без насыщения и характеристике с насыщением.

Таблица 5.

#### Параметры моделей трансформаторов

Название	$S_{ном}$	$U_B$	$U_H$	$P_x$	$P_k$	$u_k$	$I_x$
	МВА	кВ	кВ	МВт	МВт	%	%
<b>T-1_1</b>	2000	500	212,5	52,5	22,5	12,72	3,62
<b>T-1_2</b>	2000	500	211,5	70,5	26,8	12,13	4,22
<b>T-1_3</b>	2000	500	213,3	30,97	18,33	12,85	1,95
<b>T-2</b>	2000	500	220,0	108,5	6,8	4,09	7,36
<b>T-3</b>	2000	500	233,5	84,0	57,0	10,34	5,69
<b>T-4</b>	50000	500	233,0	110,7	2941	66,76	0,285
<b>T-H-1_1</b>	1600	500	234	75,0	19,8	2,13	9,48
<b>T-H-1_2</b>	1600	500	230	75,0	17,8	1,87	9,84

Обозначения, используемые в таблице 5:

$S_{ном}$  – номинальная полная мощность трансформатора;

$U_B$  – номинальное напряжение высокой стороны трансформатора;

$U_H$  – номинальное напряжение низкой стороны трансформатора;

$I_x$  – ток холостого хода трансформатора;

$P_x$  – потери холостого хода трансформатора;

$u_k$  – напряжение короткого замыкания трансформатора;

$P_k$  – потери короткого замыкания трансформатора.

Таблица 6

#### Параметры моделей шунтов

Название	$U_{ном}$	$P_{ш}$	$Q_{ш}$
	кВ	МВт	Мвар
<b>R-1_1</b>	230	416	-
<b>R-1_2</b>	230	222	-
<b>R-2</b>	230	2645	163
<b>R-3</b>	230	771	115
<b>R-4</b>	230	3027	225

Обозначения, используемые в таблице 6:

$U_{ном}$  – номинальное напряжение шунта;

$P_{ш}$  – номинальная активная мощность, потребляемая шунтом;

$Q_{ш}$  – номинальная реактивная мощность, потребляемая шунтом.

Таблица 7

Параметры моделей асинхронных двигателей

Название	$U_{ном}$	$P_{ном}$	$n_{ном}$	КПД	$\cos\varphi_{ном}$	$K_{пуск}$	$M_{пуск}$	$M_{max}$	$T_J$	$D$
	кВ	МВт	об/мин	%	-	о.е.	о.е.	о.е.	с	о.е.
Д-1_1	220	1120	1420	83,5	0,84	6,0	1,9	2,2	1,08	0,0
Д-1_2	220	680	1420	81,5	0,82	5,5	1,7	2,0	0,36	0,0
Д-2	220	2800	1440	86,0	0,84	6,5	1,5	2,0	0,48	0,0
Д-3	220	1800	1440	88,5	0,85	6,0	1,4	2,0	0,536	0,0
Д-4	220	5600	1450	88,5	0,88	5,0	1,3	2,0	0,84	0,0

Обозначения, используемые в таблице 7:

$U_{ном}$  – номинальное напряжение асинхронного двигателя;

$P_{ном}$  – номинальная активная мощность асинхронного двигателя;

$n_{ном}$  – номинальная скорость вращения асинхронного двигателя;

КПД – коэффициент полезного действия асинхронного двигателя;

$\cos\varphi_{ном}$  – номинальный коэффициент мощности асинхронного двигателя;

$K_{пуск}$  – кратность пускового тока асинхронного двигателя;

$M_{пуск}$  – кратность пускового момента асинхронного двигателя;

$M_{max}$  – кратность максимального момента асинхронного двигателя;

$T_J$  – механическая инерционная постоянная агрегата (двигателя и нагрузки на его валу);

$D$  – собственный коэффициент демпфирования агрегата (двигателя и нагрузки на его валу).

Таблица 8

Параметры моделей автоматических регуляторов возбуждения (коэффициенты усиления и потолочные значения)

Название	$K_{OU}$	$K_{IU}$	$K_{of}$	$K_{If}$	$K_{Iif}$	$U_{f\_downlim}$	$U_{f\_uplim}$
	е.в.н./е.н.с.	е.в.н./е.н.с./с	е.в.н./Гц	е.в.н./Гц/с	е.в.н./е.в.н.р./с	е.в.н.	е.в.н.
АРВ-СД Г-1_2	50	4,7	2,0	3,1	0,7	-1,7	1,72
АРВ-П Г-2	1,0	-	-	-	-	-0,15	2,10
АРВ-П Г-3	25,0	-	-	-	-	0,06	2,50
АРВ-П Г-4	5,0	-	-	-	-	0,0	0,2

Обозначения, используемые в таблице 8:

$K_{OU}$  – коэффициент усиления пропорционального канала регулятора напряжения (по отклонению напряжения);

$K_{IU}$  – коэффициент усиления дифференциального канала регулятора напряжения (по производной напряжения);

$K_{of}$  – коэффициент усиления канала системной стабилизации по частоте напряжения;

$K_{If}$  – коэффициент усиления канала системной стабилизации по производной частоты напряжения;

$K_{Iif}$  – коэффициент усиления канала внутренней стабилизации по производной тока ротора;

$U_{f\_uplim}$  – верхнее потолочное значение напряжения возбуждения;

$U_{f\_downlim}$  – нижнее потолочное значение напряжения возбуждения;

АРВ-СД – автоматический регулятор возбуждения сильного действия;

АРВ-П – автоматический регулятор возбуждения пропорционального действия.

Параметры реактора P-1

Параметр	Ед. изм.	Значение
Название	-	<b>P-1</b>
Модель	-	<i>rtds udc SAT4</i>
Тип соед.	-	Звезда с заземленной нейтралью
$L$	Гн	100
$R_s$	Ом	0,0
$U_{ном\_Л-Н}$	кВ	288,675
$L_{air}$	Гн	0,3
$Knee_{NL}$	о.е.	1,074
$T_i$	с	5
$Loop_{NL}$	%	0,0
$Edl_{NL}$	%	0,0001
$Lf_{NL}$	Гн	$10^6$
$sharp_{NL}$	-	0
$ND_{NL}$	-	0,1

Обозначения, используемые в таблице 9:

$L$  – индуктивность реактора при токе реактора, не вызывающем насыщение;

$R_s$  – активное сопротивление реактора;

$U_{ном\_Л-Н}$  – номинальное фазное напряжение реактора;

$L_{air}$  – индуктивность реактора при токе реактора, вызывающем насыщение;

$Knee_{NL}$  – напряжение насыщения реактора;

$T_i$  – постоянная времени, характеризующая изменение напряжения в переходных процессах, вызывающих насыщение реактора;

$Loop_{NL}$  – ширина петли гистерезиса;

$Edl_{NL}$  – величина потерь, вызванных вихревыми токами;

$Lf_{NL}$  – постоянная часть индуктивности реактора;

$sharp_{NL}$  – расчетный параметр, характеризующий расчетную характеристику намагничивания;

$ND_{NL}$  – расчетный параметр.

## 4. Проведение испытаний

### 4.1. Схемно-режимные условия проведения испытаний

4.1.1. Испытания должны проводиться в схемно-режимных условиях, приведенных на рисунках 3 – 20.

4.1.2. Проверка работы АРВ сильного действия синхронных генераторов осуществляется путем моделирования следующих возмущений:

1) тестовые возмущения:

- ступенчатое изменение уставки по напряжению испытываемого АРВ на +5% от номинального значения (тестовое возмущение 1);

- однофазное короткое замыкание (длительностью 0,04 с) на шинах электрической станции № 1 (тестовое возмущение 2);

- ступенчатое изменение напряжения на шинах электрической станции N 1 путем подключения емкости C2 к шинам электрической станции N 1

*Методические указания по проведению испытаний автоматических регуляторов возбуждения сильного действия синхронных генераторов и алгоритмов их функционирования*

(тестовое возмущение 3). В экспериментах 17 и 18 тестовое возмущение реализуется посредством подключения емкости  $C1$  к шинам электрической станции N 1;

2) нормативные возмущения в соответствии с 1 со следующими параметрами:

- длительность короткого замыкания (далее – КЗ) 0,12 с;
- длительность бестоковой паузы однофазного автоматического повторного включения (далее – ОАПВ) 1 с;
- длительность бестоковой паузы трехфазного автоматического повторного включения (далее – ТАПВ) 2 с;
- время отключения фазы действием устройства резервирования при отказе выключателя (далее – УРОВ) при отказе выключателя 0,35 с;
- запаздывание на ввод управляющего воздействия от ПА 0,4 с с момента возникновения короткого замыкания.

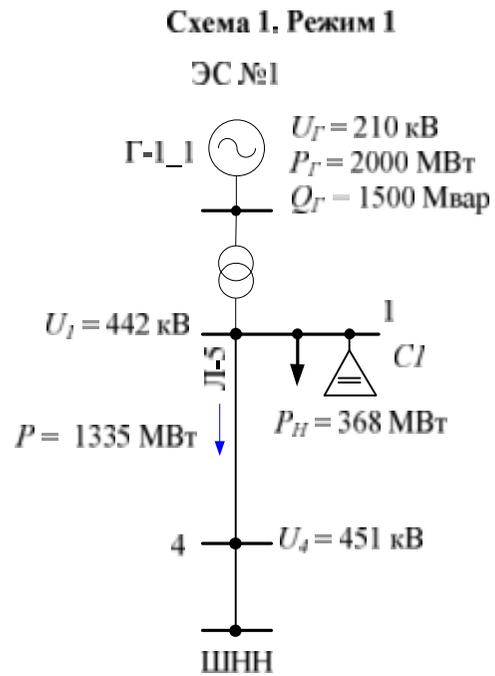


Рисунок 3

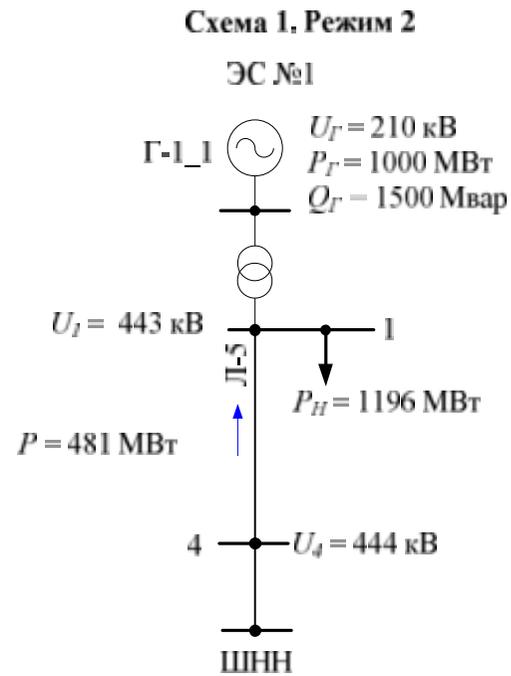


Рисунок 4

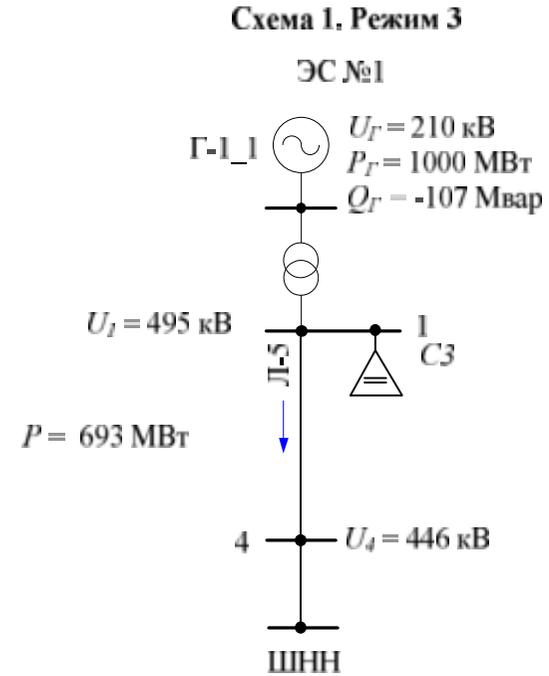


Рисунок 5

Схема 2.1. Режим 4

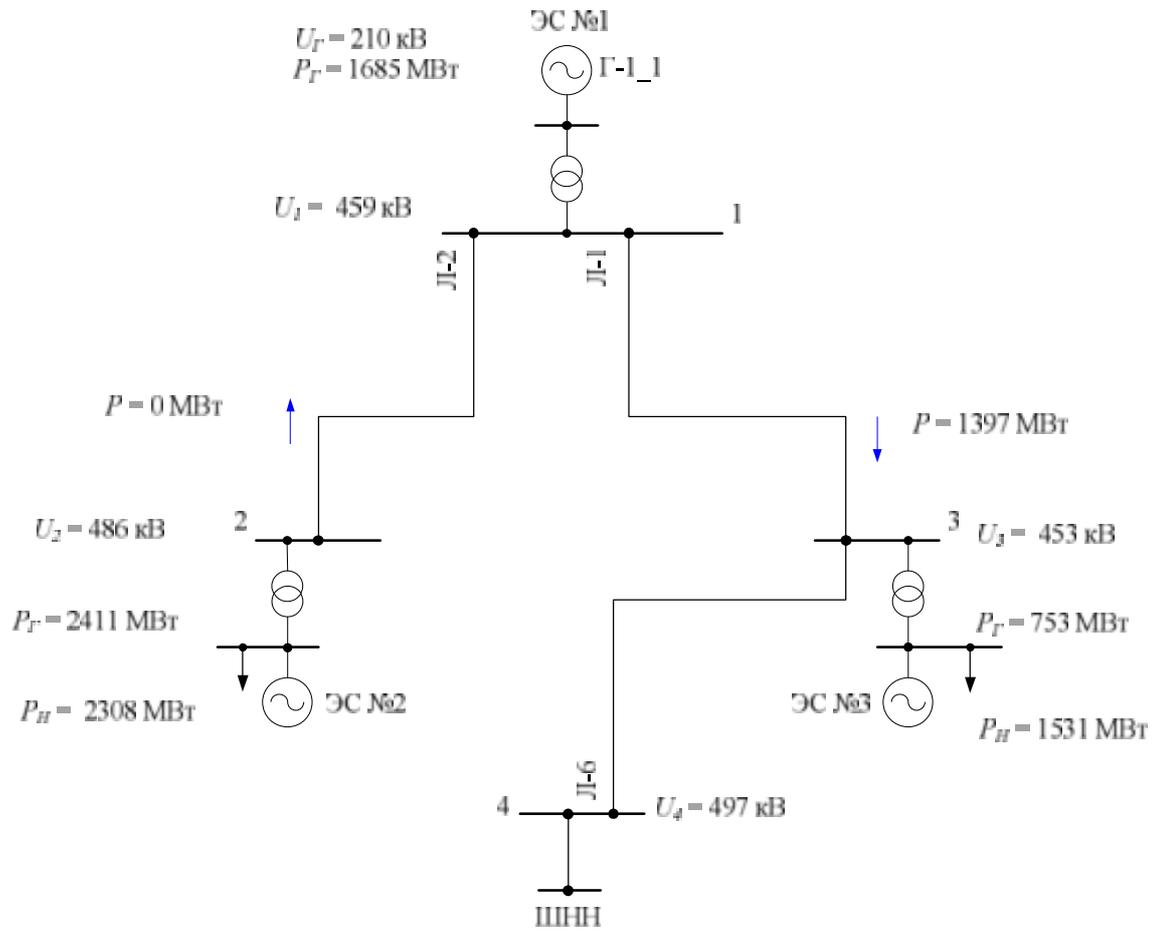


Рисунок 6

Схема 2.2. Режим 4

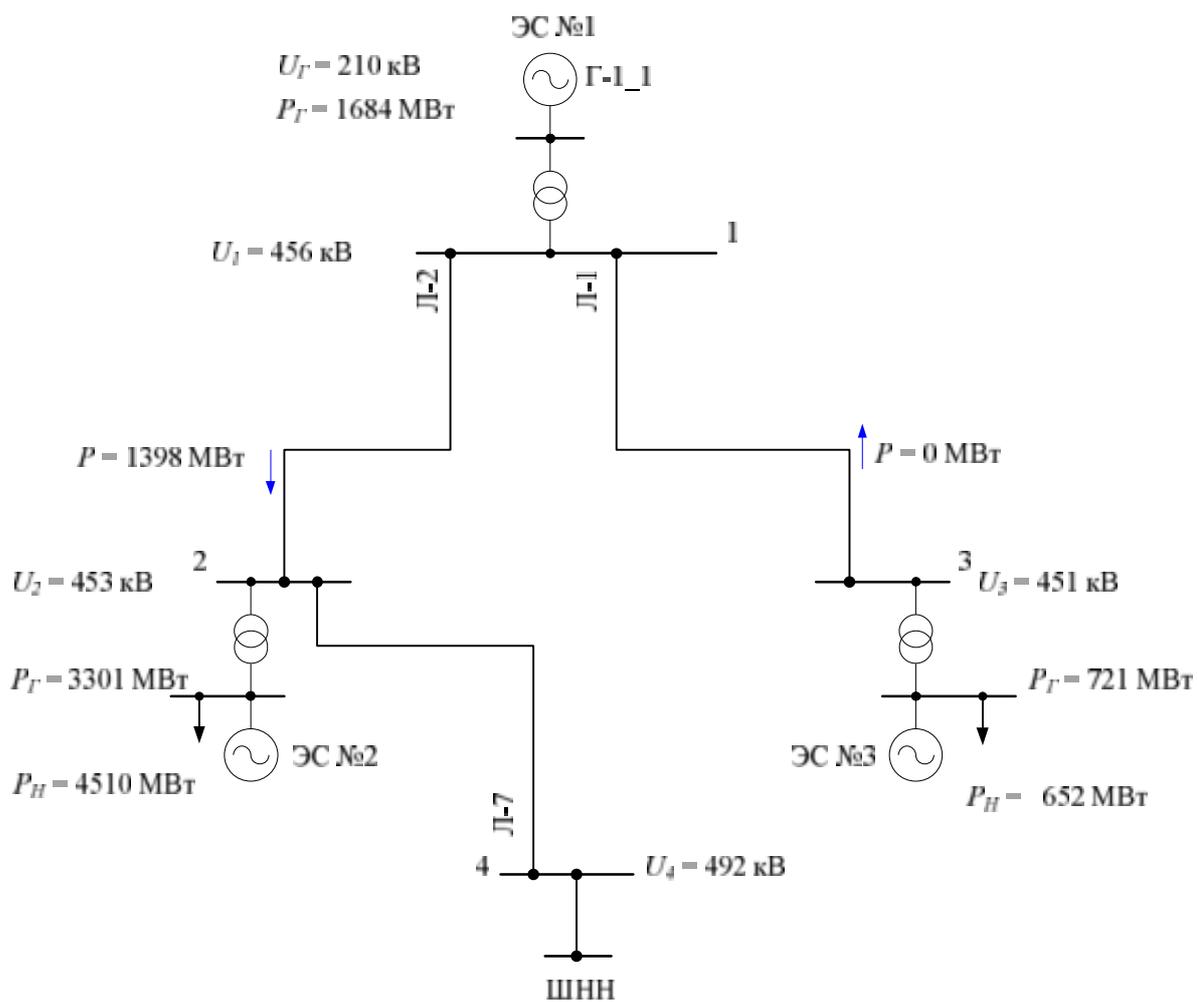


Рисунок 7

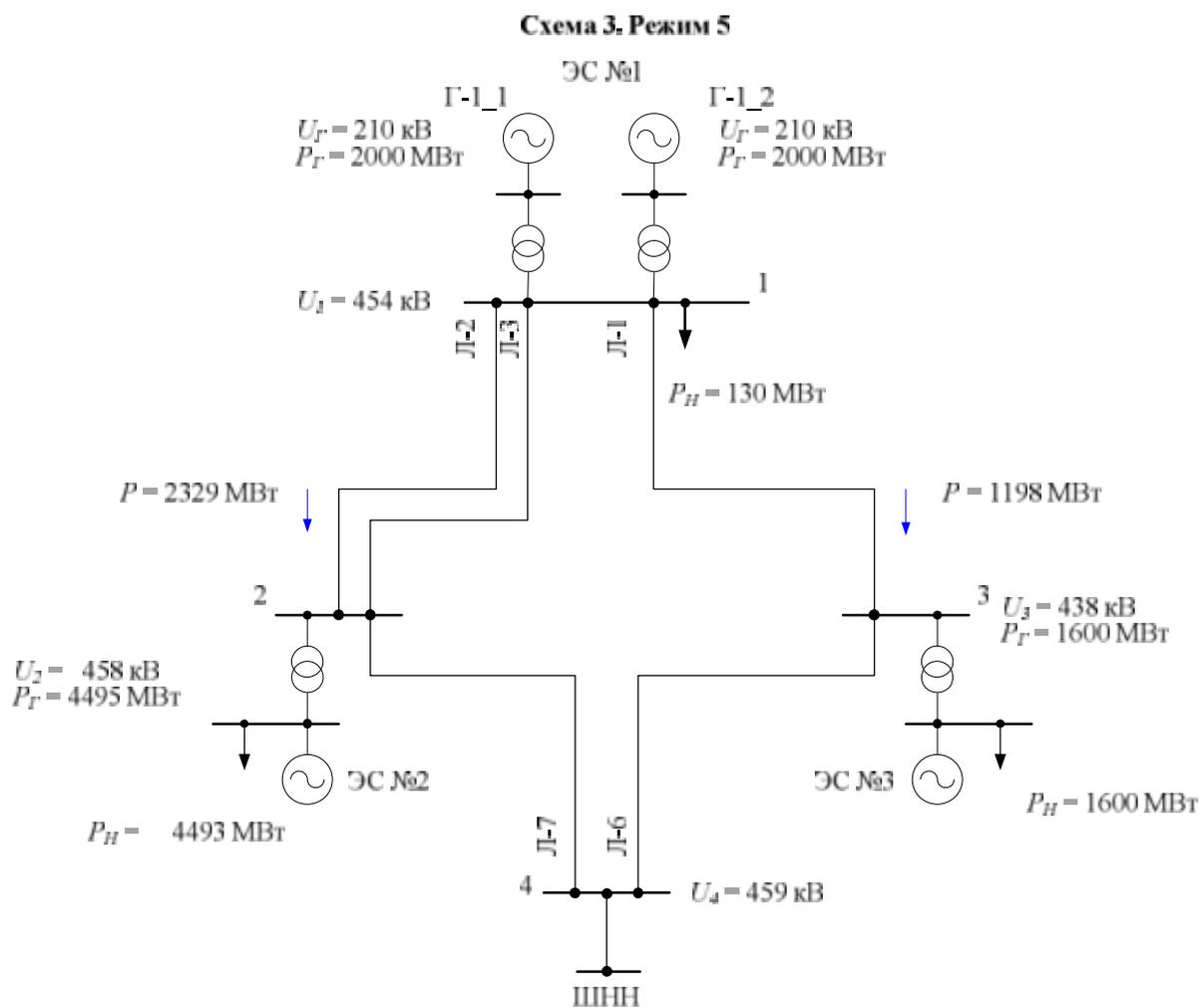


Рисунок 8

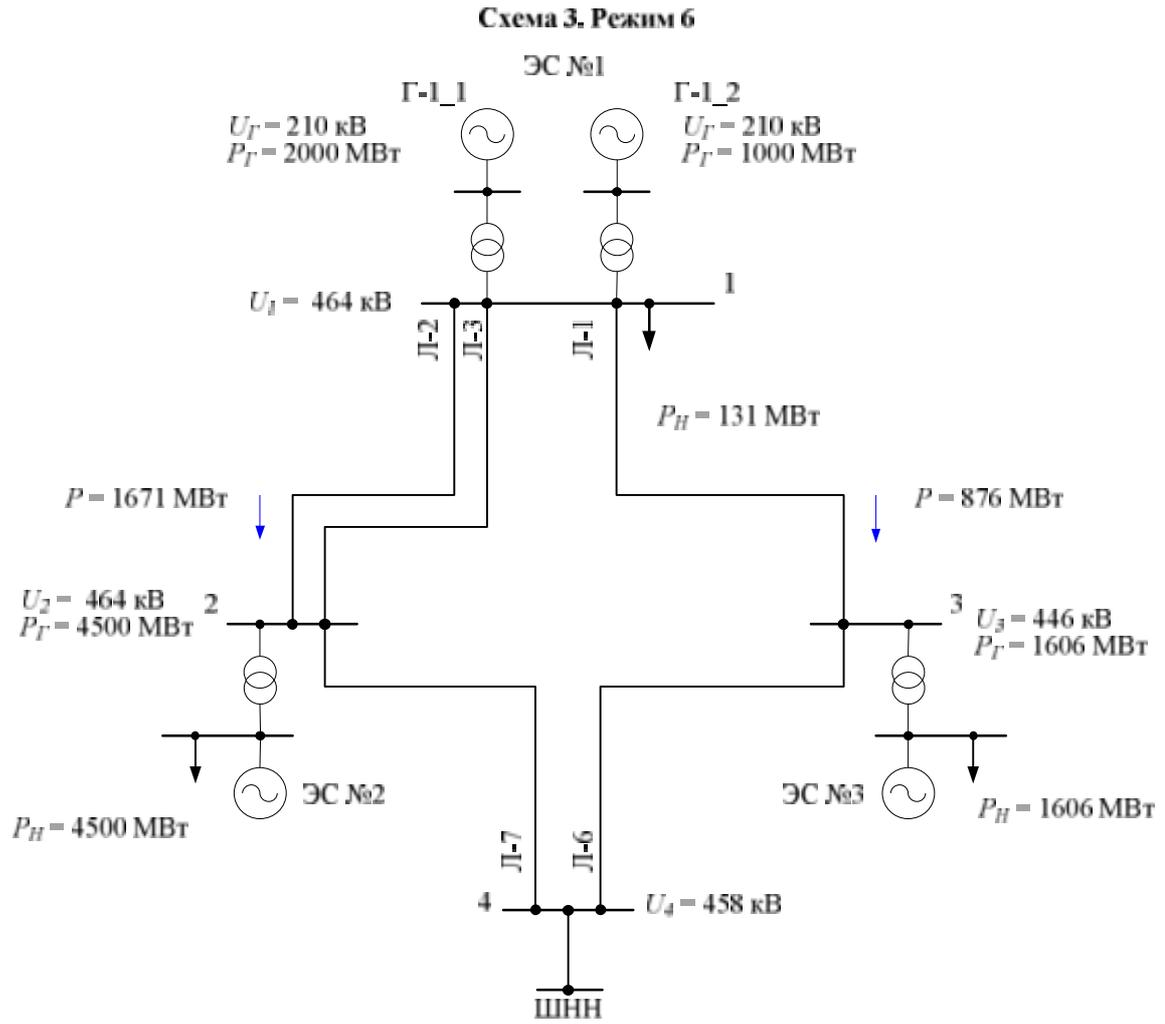


Рисунок 9

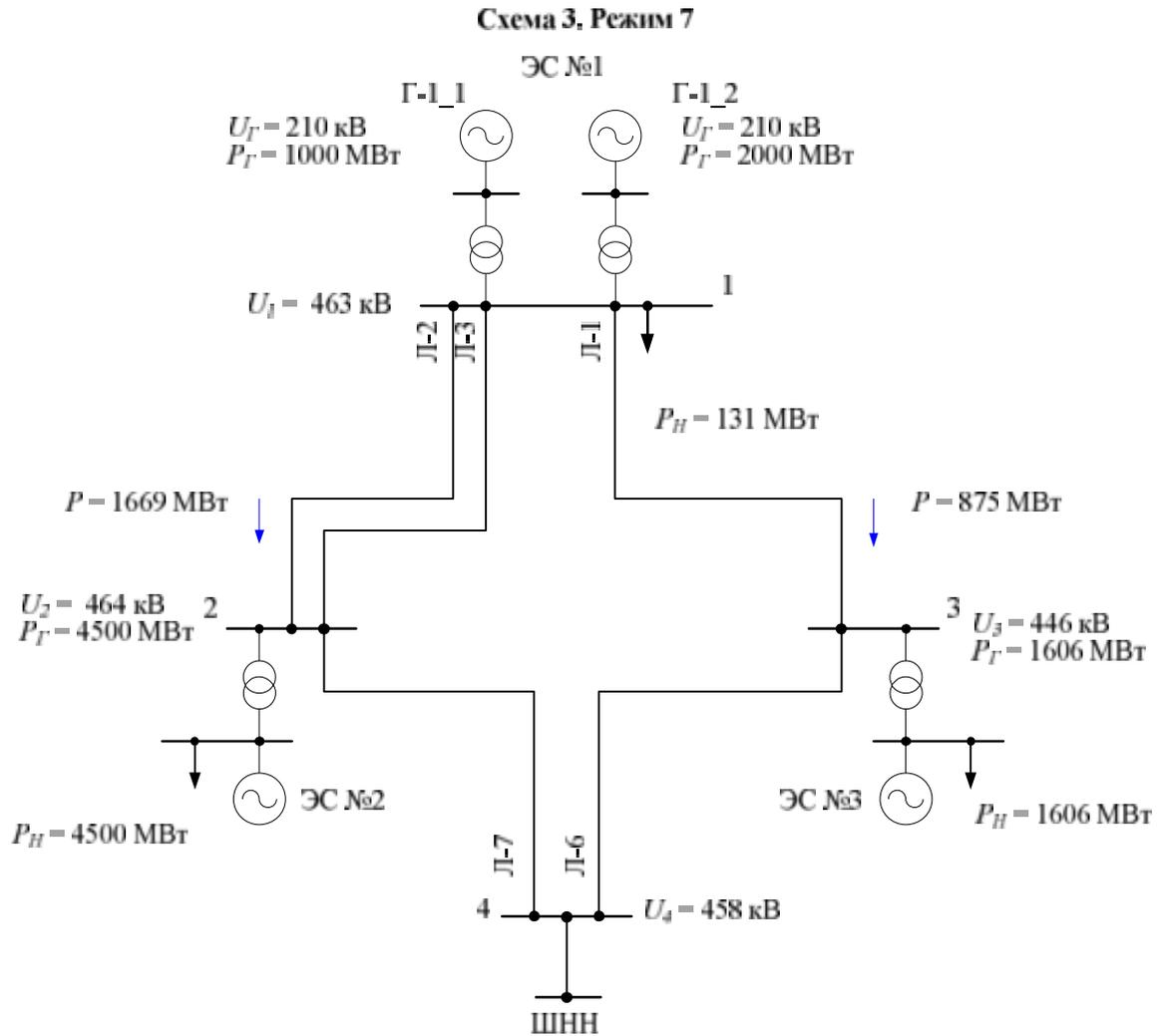


Рисунок 10

Схема 3. Режим 8

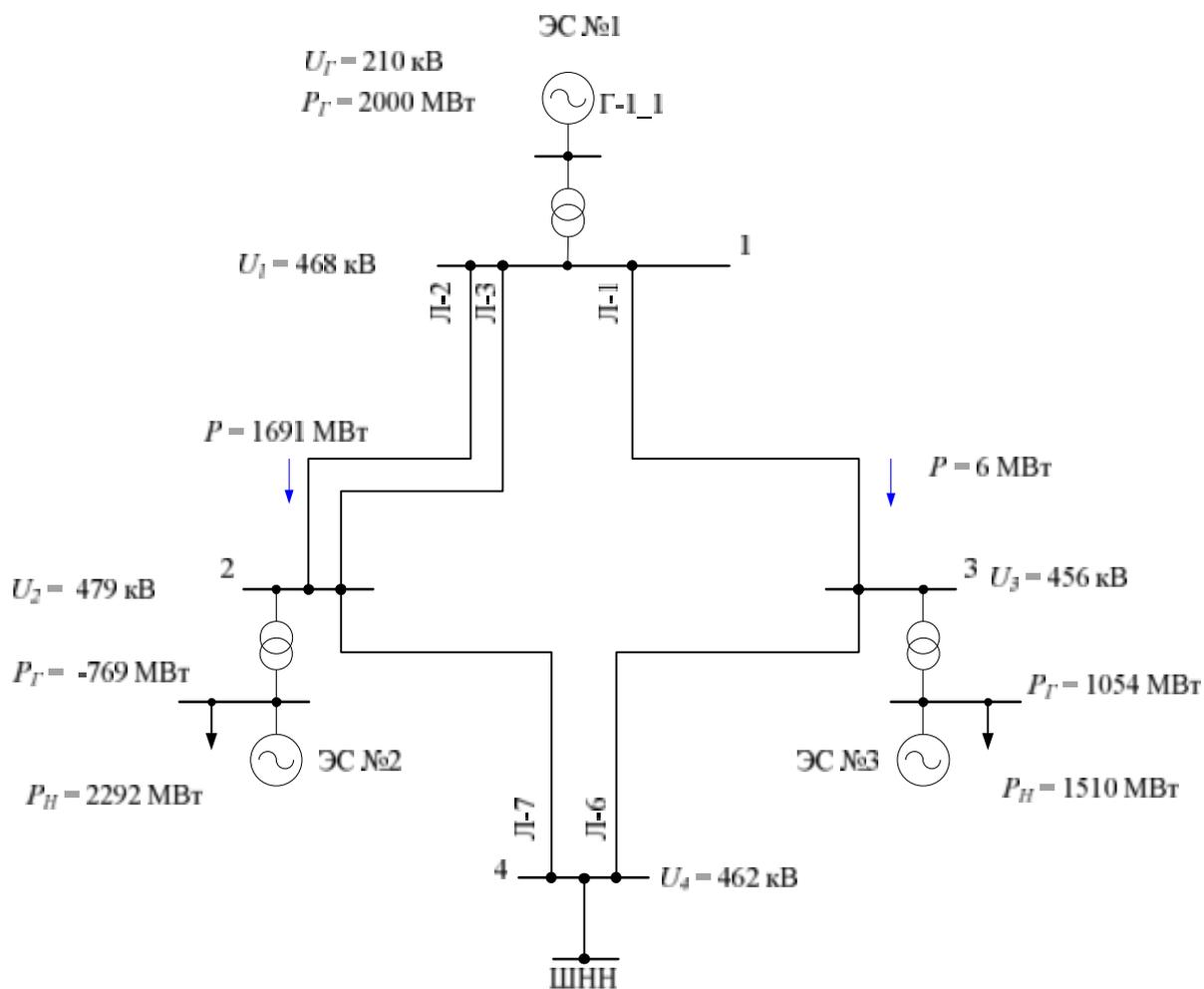


Рисунок 11

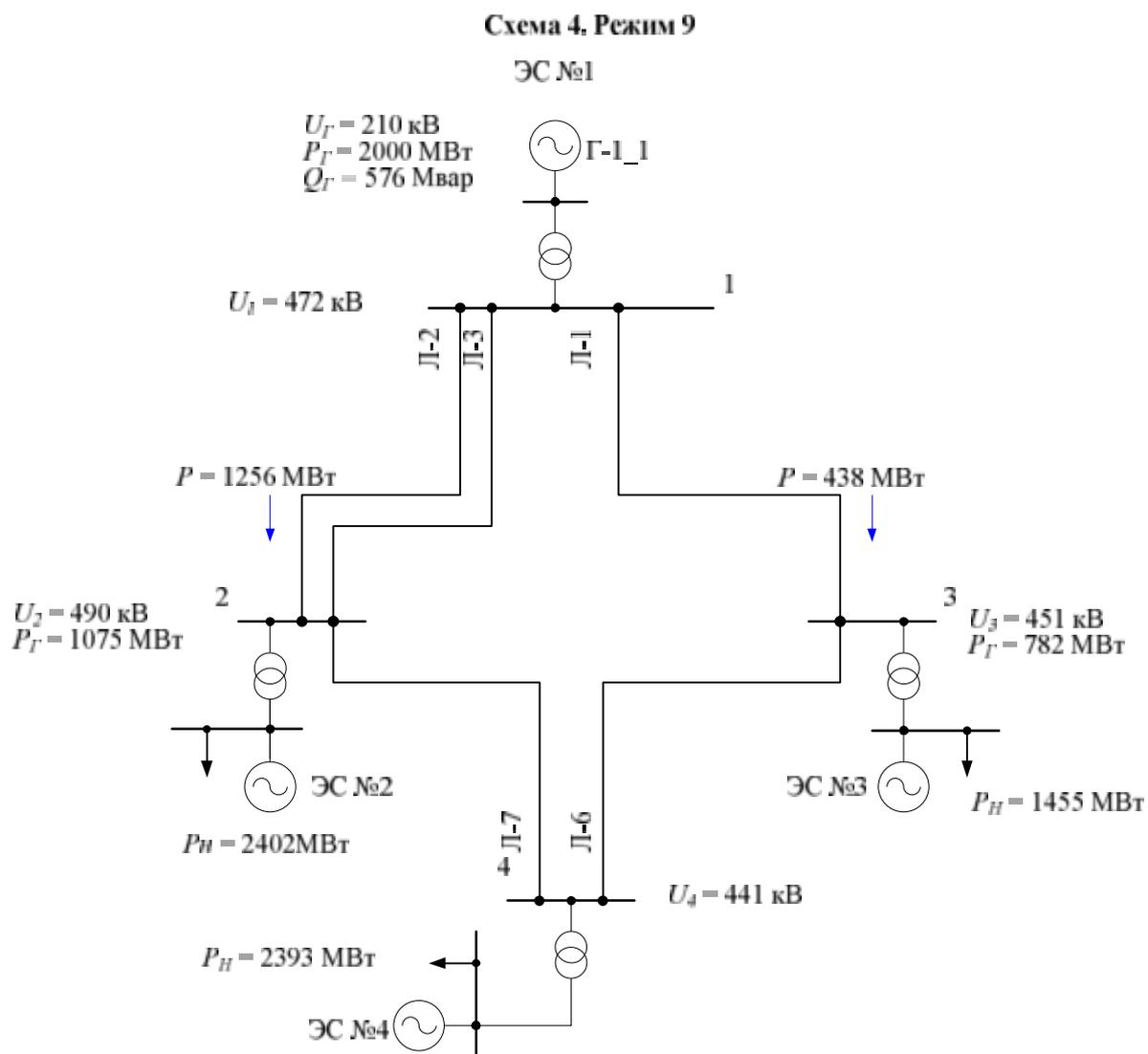


Рисунок 12

## Схема 4, Режим 10

ЭС №1

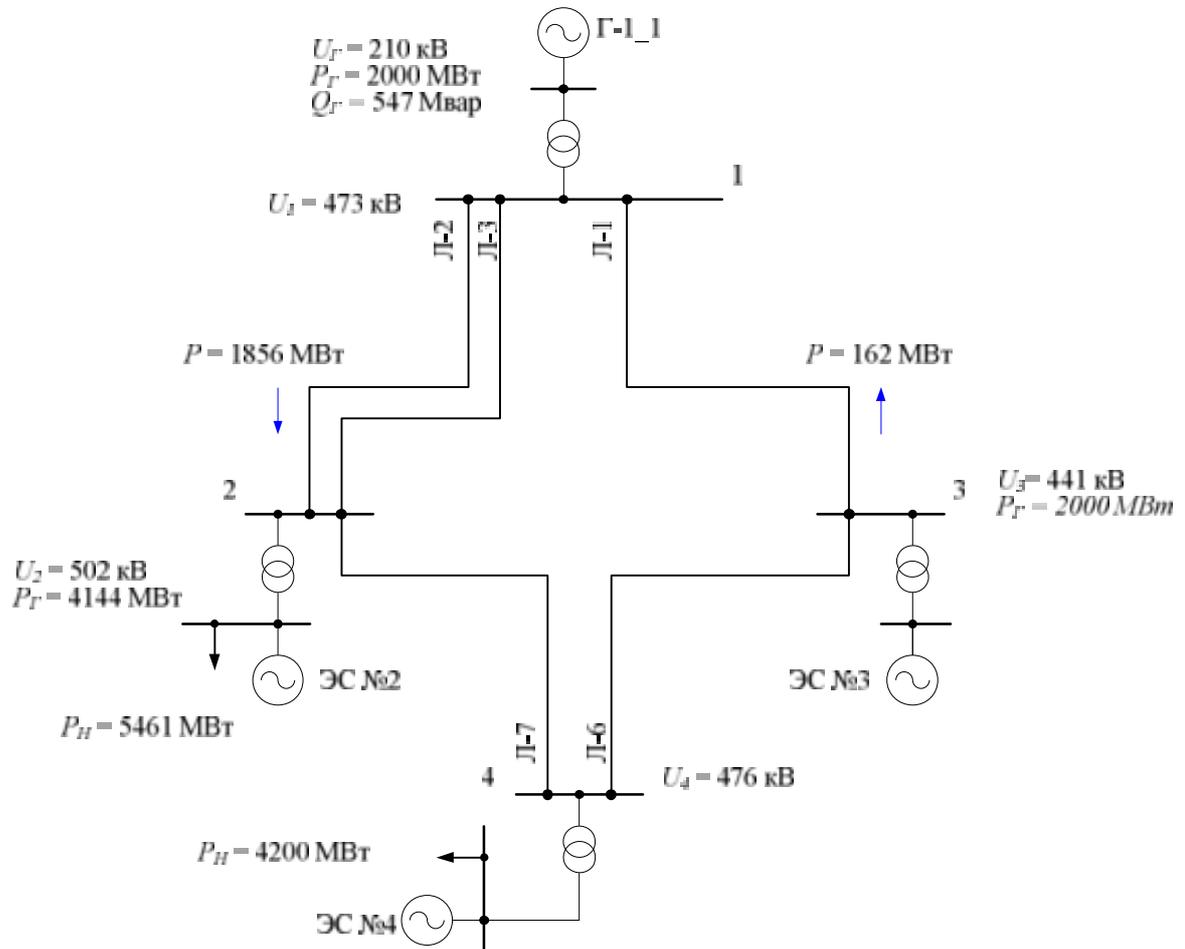


Рисунок 13

## Схема 5, Режим 11

ЭС №1

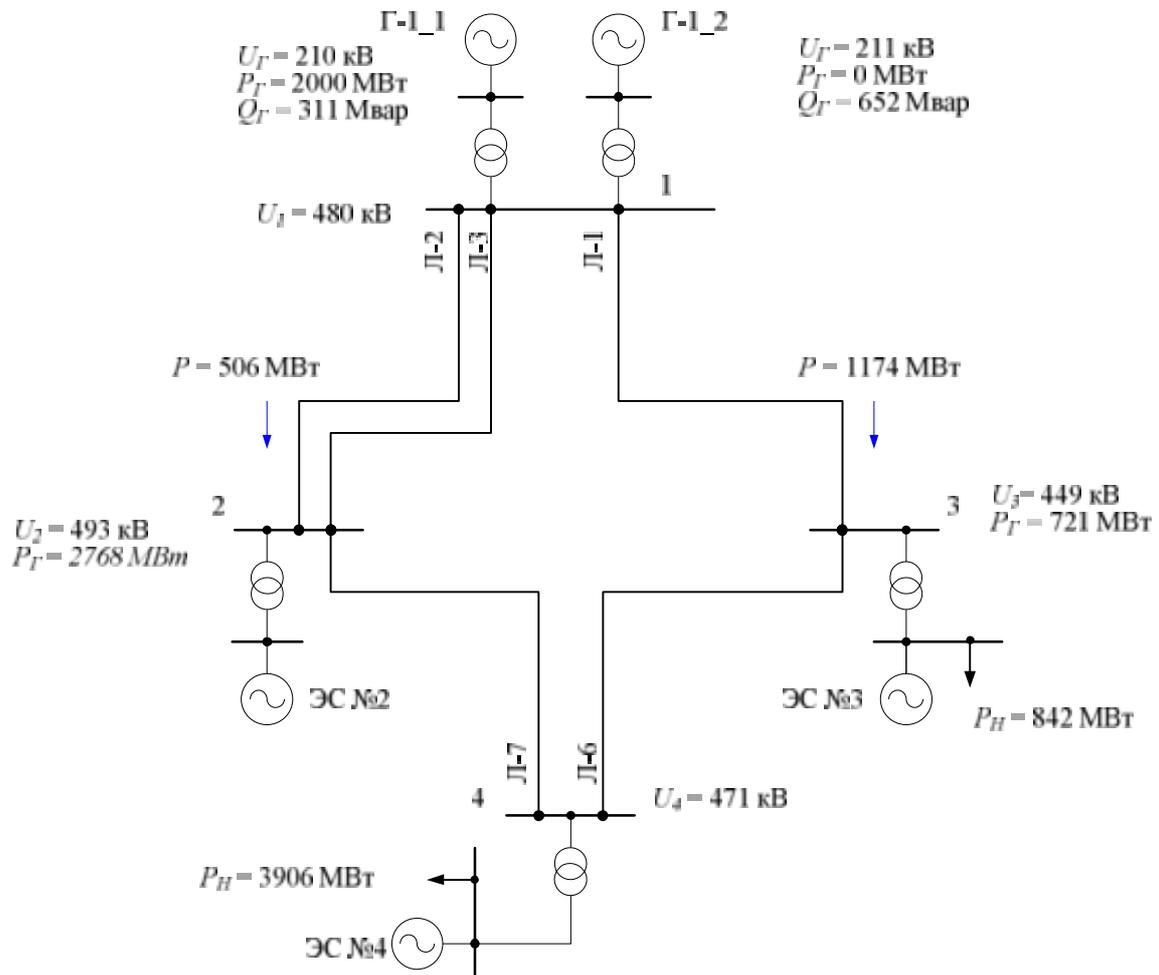


Рисунок 14

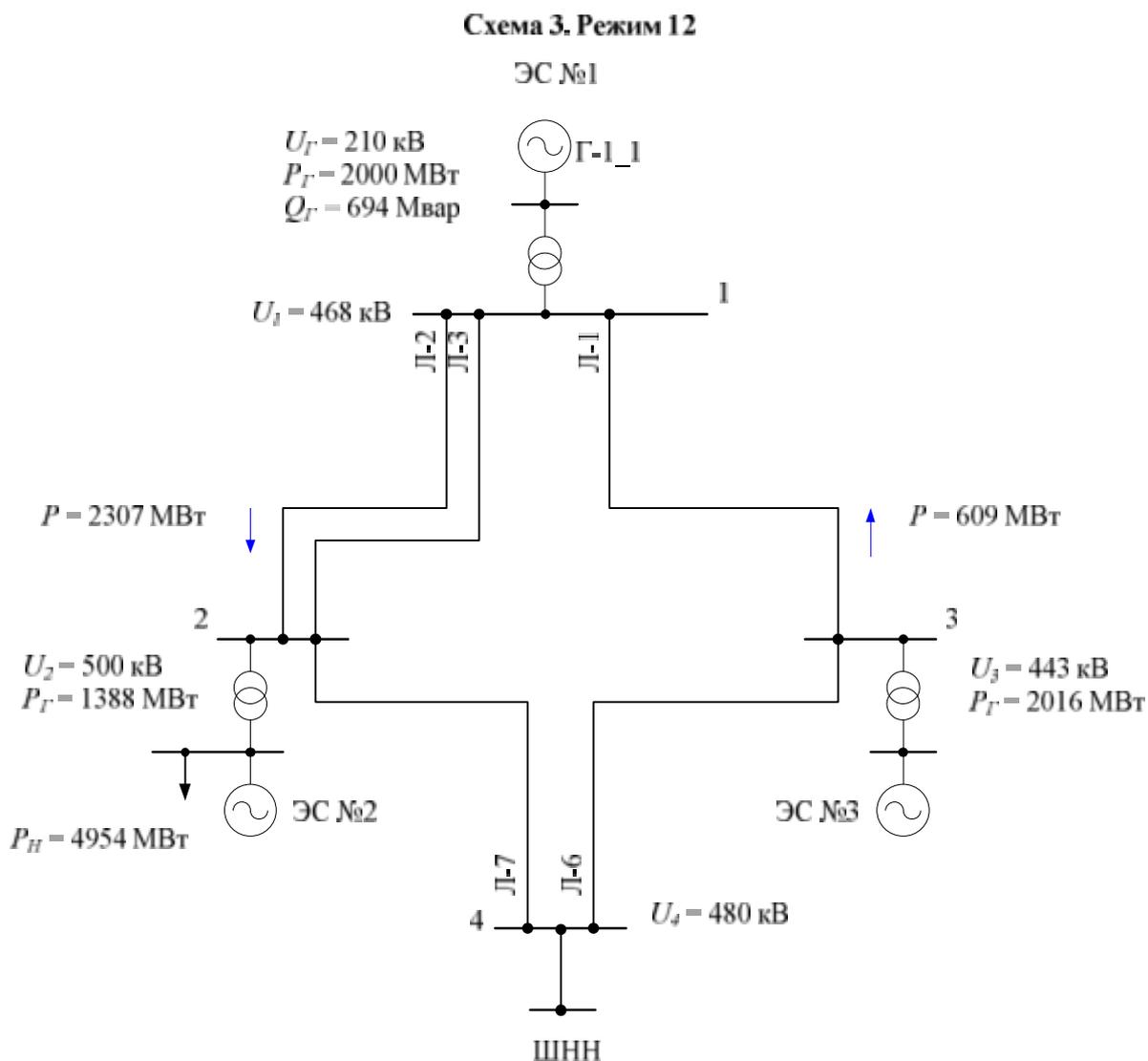


Рисунок 15

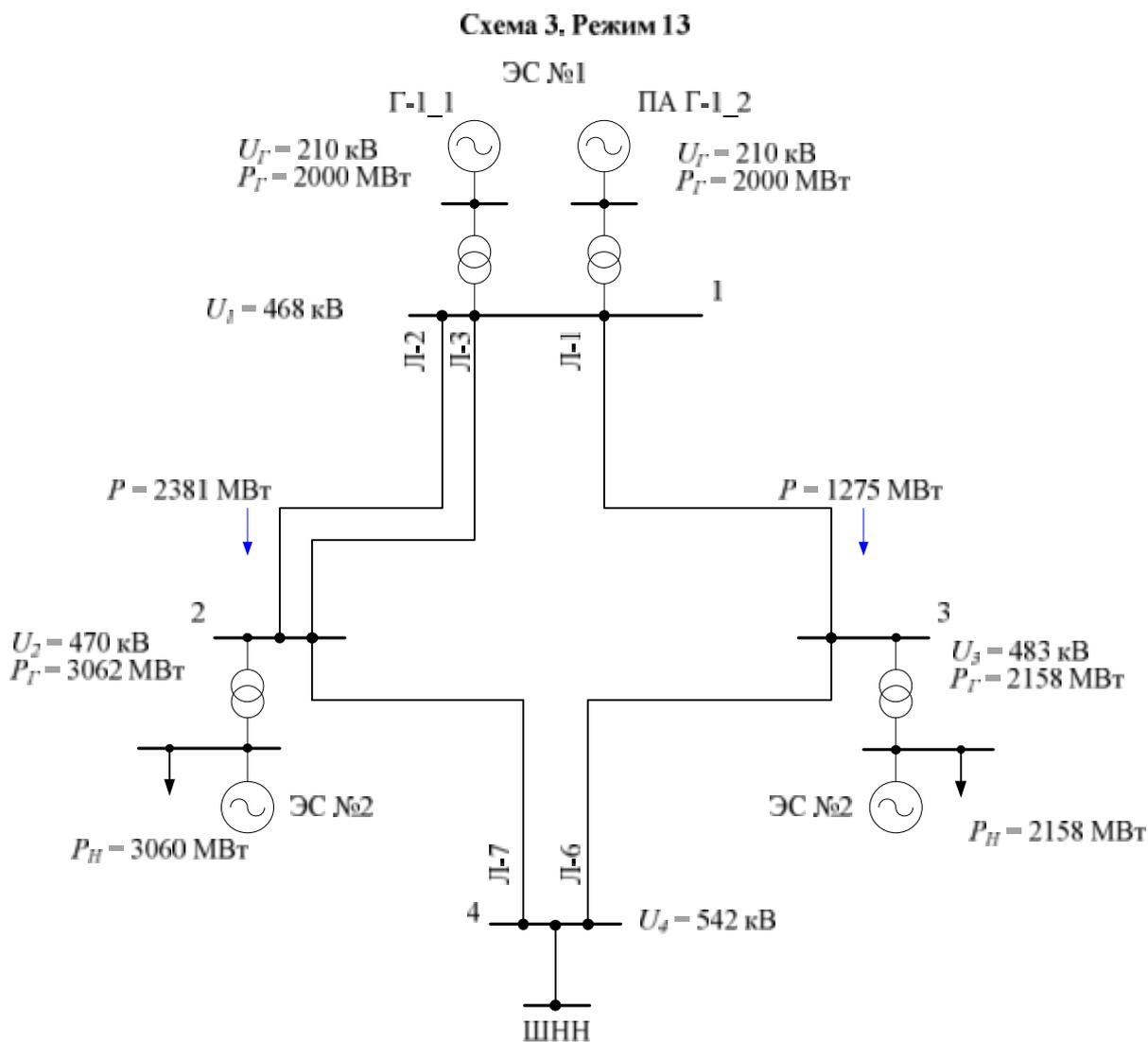


Рисунок 16

Схема 3. Режим 14

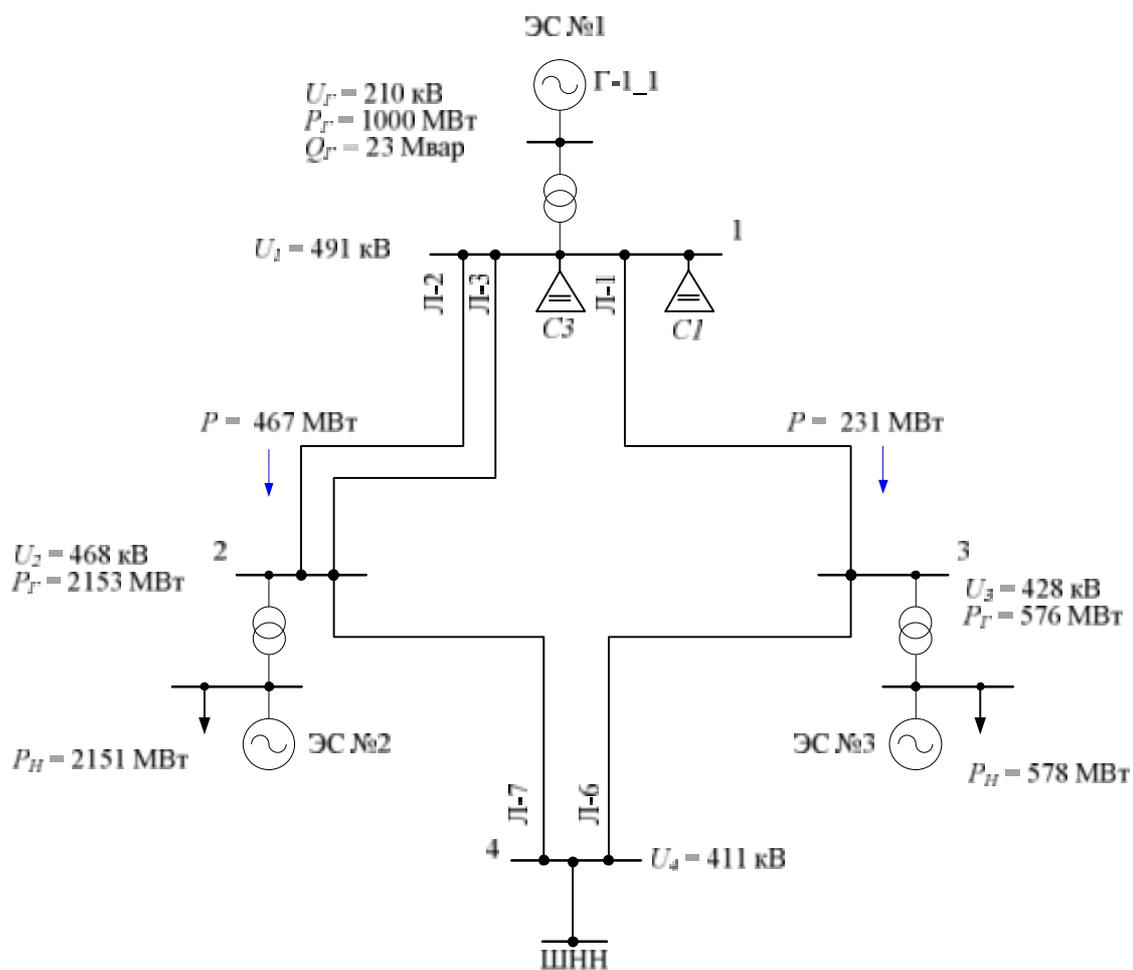


Рисунок 17

## Схема 6. Режим 15

ЭС №1

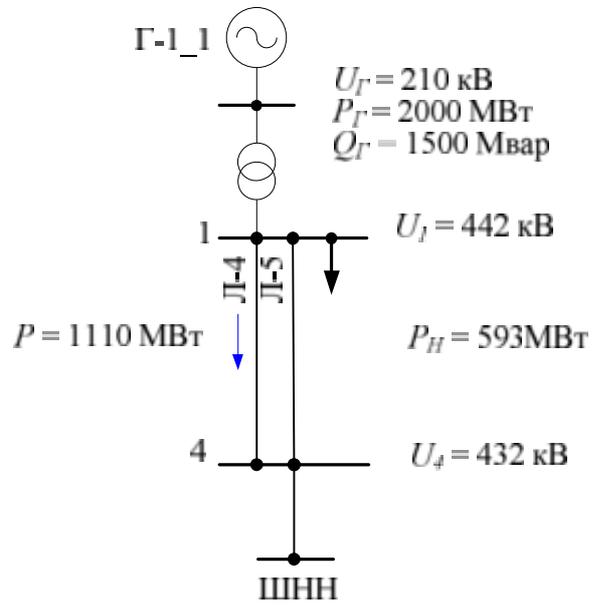


Рисунок 18

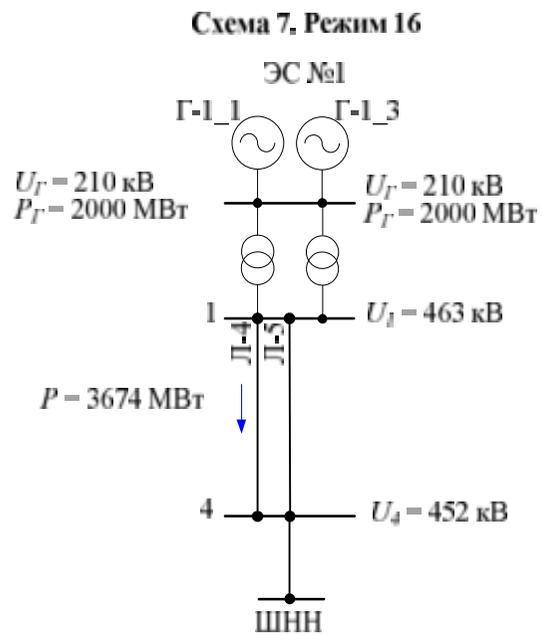


Рисунок 19

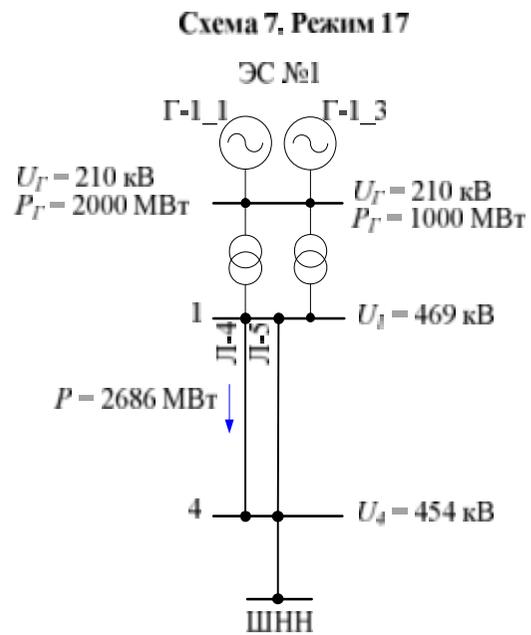


Рисунок 20

## 4.2. Проведение экспериментов в рамках испытаний

4.2.1. Испытания проводятся в соответствии с программой испытаний, разработанной организацией, проводящей испытания.

Программа испытаний должна включать эксперименты, проведение которых обеспечивает:

- проверку эффективности настройки каналов стабилизации или системного стабилизатора;
- проверку аperiodического характера нарушения статической устойчивости;
- оценку качества стабилизации режима и проверку отсутствия внутригрупповой неустойчивости при совместной работе синхронных генераторов с АРВ различной структуры;
- оценку качества демпфирования аварийных колебаний при моделировании коротких замыканий;
- оценку корректности работы функции блокировки каналов системной стабилизации (системного стабилизатора) АРВ при изменении частоты электрического тока;
- оценку корректности работы функции релейной форсировки возбуждения в режимах, близких к предельным;
- проверку обеспечения эффективности работы АРВ сильного действия синхронного генератора с учетом действия устройств и комплексов ПА;
- проверку корректности работы ограничителя минимального возбуждения;
- проверку корректности работы ограничителя двукратного тока ротора<sup>24</sup>;
- проверку корректности работы ограничителя двукратного тока возбуждения бесщеточного возбудителя<sup>25</sup>;
- проверку корректности работы ограничителя напряжения ротора<sup>26</sup>;
- проверку правильности расчета тока ротора по диаграмме Потье<sup>27</sup>
- проверку обеспечения эффективности работы АРВ сильного действия синхронных генераторов в схеме укрупненного блока.

При проведении испытаний АРВ сильного действия, применяющихся в составе бесщеточных систем возбуждения, минимальный объем экспериментов должен включать:

- для АРВ сильного действия, в которых реализован ограничитель двукратного тока ротора, - все эксперименты, приведенные в таблице 10;
- для АРВ сильного действия, в которых не реализован ограничитель

<sup>24</sup> Для тиристорных систем возбуждения; для бесщеточных систем возбуждения, АРВ сильного действия которых имеют этот ограничитель.

<sup>25</sup> Для бесщеточных систем возбуждения.

<sup>26</sup> Для бесщеточных систем возбуждения.

<sup>27</sup> Только для АРВ сильного действия, в которых ток ротора, рассчитанный по диаграмме Потье, используется для формирования параметра стабилизации.

двукратного тока ротора, - эксперименты, приведенные в таблице 10, за исключением экспериментов 75-77.

При проведении испытаний АРВ сильного действия, применяющихся в составе тиристорных систем возбуждения, минимальный объем экспериментов должен включать эксперименты, приведенные в таблице 10, за исключением экспериментов 89 и 90.

4.2.2. Настройка испытываемых АРВ сильного действия синхронных генераторов должна быть выполнена владельцем АРВ в соответствии с параметрами, выбранными для используемой математической модели энергосистемы.

4.2.3. Все эксперименты, предусмотренные в программе испытаний, должны выполняться при неизменных параметрах настройки испытываемых АРВ.

4.2.4. Если в процессе испытаний выявлена необходимость корректировки выбранных параметров настройки (отсутствие положительных результатов экспериментов в соответствии с таблицей 10), то владелец АРВ или уполномоченное им лицо осуществляет корректировку параметров настройки испытываемых АРВ.

В этом случае все эксперименты, предусмотренные программой испытаний, должны быть выполнены повторно с новыми параметрами настройки АРВ.

4.2.5. Соответствие испытываемого АРВ сильного действия синхронного генератора и алгоритма его функционирования Требованиям не может быть подтверждено при отсутствии возможности выбора параметров настройки, обеспечивающих наличие положительного результата каждого эксперимента.

4.2.6. Регистрация параметров электроэнергетического режима должна проводиться для каждого эксперимента.

Таблица 10

Минимально необходимый объем испытаний АРВ и алгоритма его функционирования

№ эксп.	Вид схемы	Режим	Вид возмущения или утяжеления электроэнергетического режима	Цель проверки	Состояние каналов стабилизации или системного стабилизатора
1	Схема 1	Режим 1 ( $P_{Г-1\_1}=P_{Гном}$ ; $Q_{Г-1\_1}=Q_{Гном}$ )	Тестовое возмущение 1	Проверка эффективности настройки каналов стабилизации или системного стабилизатора	введен
2			выведен		
3			введен		
4			выведен		
5			введен		
6			выведен		
7		Режим 2 ( $P_{Г-1\_1}=0,5P_{Гном}$ ; $Q_{Г-1\_1}=Q_{Гном}$ )	Тестовое возмущение 1		введен
8			выведен		
9			введен		
10			выведен		
11			введен		
12			выведен		
13		Режим 3 ( $P_{Г-1\_1}=0,5P_{Гном}$ ; $Q_{Г-1\_1}=-0,1Q_{Гном}$ )	Тестовое возмущение 1		введен
14			выведен		
15			введен		
16			выведен		
17			введен		
18			выведен		
19	Схема 2.1	Режим 4	Увеличение перетока по линии Л-1 за счет увеличения мощности Г-1_1 до нарушения устойчивости	Проверка аperiodического характера нарушения статической устойчивости	введен
20					выведен
21	Схема 2.2	Режим 4	Увеличение перетока по линии Л-3 за счет увеличения мощности Г-1_1 до нарушения устойчивости		введен
22					выведен

23	Схема 3	Режим 5 ( $P_{Г-1\_1} = P_{Г-1\_2} = P_{Гном}$ )	Тестовое возмущение 1	Оценка качества стабилизации режима и проверка отсутствия внутригрупповой неустойчивости при совместной работе синхронных генераторов с АРВ различной структуры (испытываемый АРВ устанавливается на Г-1_1; на Г-1_2 – регулятор типа АРВ-СД)	на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_2 введен		
24					на АРВ Г-1_1 введен; на АРВ Г-1_2 выведен		
25					на АРВ Г-1_1 выведен; на АРВ Г-1_2 введен		
26					на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_2 выведен		
27					на АРВ Г-1_1 введен; на АРВ Г-1_2 выведен		
28					на АРВ Г-1_1 выведен; на АРВ Г-1_2 введен		
29					на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_2 выведен		
30		на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_2 введен					
31		Режим 6 ( $P_{Г-1\_1} = P_{Гном}$ ; $P_{Г-1\_2} = 0,5P_{Гном}$ )	Тестовое возмущение 1		на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_2 введен		
32					на АРВ Г-1_1 введен; на АРВ Г-1_2 выведен		
33					на АРВ Г-1_1 выведен; на АРВ Г-1_2 введен		
34					на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_2 выведен		
35					Режим 7 ( $P_{Г-1\_1} = P_{Гном}$ ; $P_{Г-1\_2} = 0,5P_{Гном}$ )	Тестовое возмущение 2	на АРВ Г-1_1 введен; на АРВ Г-1_2 введен
36							на АРВ Г-1_1 введен; на АРВ Г-1_2 выведен
37	на АРВ Г-1_1 выведен; на АРВ Г-1_2 введен						

		$I_{1-1}=0,5P_{Гном};$ $P_{Г-1\_2}=P_{Гном})$			выведен
36					на АРВ Г-1_1 выведен; на АРВ Г-1_2 введен
37					на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_2 выведен
38					на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_2 введен
39	Схема 3	Режим 8	Отключение линии Л-2	Оценка качества демпфирования аварийных колебаний при моделировании коротких замыканий (КЗ)	введен
40					выведен
41			Однофазное КЗ вблизи шин ЭС № 1 с успешным ОАПВ линии Л-2 <sup>28</sup>		введен
42					выведен
43			Двухфазное КЗ на землю вблизи шин ЭС № 1 с успешным ТАПВ линии Л-2		введен
44					выведен
45			Двухфазное КЗ на землю вблизи шин ЭС № 1 с отключением линии Л-2		введен
46					выведен
47			Однофазное КЗ вблизи шин ЭС № 1 с неуспешным ОАПВ линии Л-2		введен
48					выведен
49			Двухфазное КЗ на землю вблизи шин ЭС № 1 с неуспешным ТАПВ линии Л-2		введен
50					выведен
51			Отключение линии Л-2 действием УРОВ при		введен

<sup>28</sup> Здесь и далее под понятием «КЗ вблизи шин ЭС № 1» понимается КЗ в точке присоединения линии Л-2 (Л-5) к шинам электрической станции № 1

52			двухфазном коротком замыкании на землю вблизи шин ЭС № 1 с отказом фазы выключателя		выведен
53	Схема 4	Режим 9	Аварийное отключение нагрузки в приемной энергосистеме – отключение нагрузки ЭС № 2 (частота в послеаварийном режиме 50,5 Гц)	Оценка корректности работы функции блокировки каналов системной стабилизации (системного стабилизатора) АРВ при изменении частоты электрического тока	введен <sup>29</sup>
54					введен <sup>30</sup>
55					выведен
56		Режим 10	Аварийное отключение генератора в приемной энергосистеме – отключение генератора ЭС № 3 (частота в послеаварийном режиме 49,5 Гц)		введен <sup>29</sup>
57					введен <sup>30</sup>
58					выведен
59	Схема 5	Режим 11	Аварийное отключение генератора в приемной энергосистеме – отключение генератора ЭС № 2 (частота в послеаварийном режиме 49,5 Гц)	введен <sup>29</sup>	
60				введен <sup>30</sup>	
61				выведен	
62	Схема 3	Режим 12	Двухфазное КЗ на землю вблизи шин ЭС № 1 с отключением линии Л-2	введен <sup>29</sup>	
63				введен <sup>30</sup>	
64	Схема 3	Режим 12	Двухфазное КЗ на землю вблизи шин ЭС № 1 с отключением линии Л-2	введен	
65				выведен	
66		Режим 12 снижение		введен	

<sup>29</sup> Блокировка каналов стабилизации (системного стабилизатора) при изменении частоты введена.

<sup>30</sup> Блокировка каналов стабилизации (системного стабилизатора) при изменении частоты выведена.

67		мощности ЭС № 2 до неустойчивого перехода <sup>31</sup>			выведен
68	Схема 3	Режим 13	Двухфазное КЗ на землю вблизи шин ЭС № 1 с отключением линии Л-2 и отключением от ПА Г-1_2	Обеспечение эффективности работы АРВ сильного действия синхронного генератора с учетом действия устройств и комплексов ПА	введен
69					выведен
70	Схема 3	Режим 14	Медленное увеличение напряжения $U_{г}$ ЭС. Вход в зону ОМВ	Проверка корректности работы ограничителя минимального возбуждения	введен
71			Медленное снижение напряжения $U_{г}$ ЭС. Выход из зоны ОМВ		введен
72			Медленное увеличение активной мощности генератора ЭС №1 до входа в зону ОМВ		введен
73			Скачкообразное увеличение напряжения на шинах 500 кВ ЭС № 1 (подключение емкостной нагрузки). Вход в зону ОМВ		введен
74			Скачкообразное снижение напряжения на шинах 500 кВ ЭС № 1 (отключение емкостной нагрузки). Выход из зоны ОМВ		введен
75	Схема 6	Режим 15	Ступенчатое увеличение уставки АРВ сильного действия Г-1_1 по напряжению генератора <sup>32</sup>	Проверка корректности работы ограничителя двукратного тока ротора	введен
76			Двухфазное затянувшееся КЗ (длительностью 0,4 с) на землю вблизи шин ЭС № 1		введен

<sup>31</sup> Величина снижения мощности электрической станции № 2 составляет  $\approx 350$  МВт.

<sup>32</sup> Величина ступенчатого изменения уставки должна быть задана максимальной в пределах реализованного диапазона изменения уставки АРВ, но не более 30% от номинального напряжения статора. Задаваемая уставка ограничителя тока ротора должна быть согласована с величиной ступенчатого изменения уставки, но не может быть ниже, чем  $1,05I_{f_{ном}}$ .

77			Серия из двух двухфазных КЗ на землю вблизи шин ЭС № 1 <sup>33</sup>		введен
78	Схема 7	Режим 16 ( $P_{Г-1\_1} = P_{Г-1\_3} = P_{НОМ}$ )	Тестовое возмущение 1 (на АРВ Г-1_1)	Проверка обеспечения эффективности работы АРВ сильного действия синхронных генераторов в схеме укрупненного блока	на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_3 введен
79			Тестовое возмущение 2		на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_3 введен
80					на АРВ Г-1_1 выведен; на АРВ Г-1_3 введен
81					на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_3 введен
82			Тестовое возмущение 3		на АРВ Г-1_1 выведен; на АРВ Г-1_3 введен
83		Отключение Г-1_3	на АРВ Г-1_1 введен		
84		Режим 17 ( $P_{Г-1\_1} = P_{ГНОМ}; P_{Г-1\_3} = 0,5P_{ГНОМ}$ )	Тестовое возмущение 1 (на АРВ Г-1_1)		на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_3 введен
85			Тестовое возмущение 2		на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_3 введен
86					на АРВ Г-1_1 выведен; на АРВ Г-1_3 введен
87					на АРВ Г-1_1 и АРВ Г-1_3 введен
88	Тестовое возмущение 3		на АРВ Г-1_1 выведен; на АРВ Г-1_3 введен		
89	Схема 6	Режим 15	Трехфазное затянувшееся КЗ (длительностью 0,35 с) на землю вблизи шин ЭС № 1	Проверка корректности работы ограничителя напряжения ротора	введен

<sup>33</sup> Время между КЗ 0,3 с, длительность повторного КЗ составляет 0,35 с.

90			Трехфазное затянувшееся КЗ (длительностью 0,35 с) на землю вблизи шин ЭС № 1	Проверка корректности работы ограничителя двукратного тока возбуждения возбудителя	введен
----	--	--	--	--	--------

## 5. Анализ результатов испытаний

Результаты испытаний считаются положительными, а АРВ и алгоритм его функционирования - прошедшим испытания, при выполнении указанных далее условий.

Необходимые условия разделены на общие требования к результатам экспериментов и индивидуальные количественные и качественные критерии оценки результатов экспериментов.

Общие необходимые требования к результатам экспериментов должны выполняться для всех экспериментов, предусмотренных программой испытаний. Индивидуальные количественные и качественные критерии оценки результатов экспериментов должны выполняться в соответствующих экспериментах.

### 5.1. Общие необходимые требования к результатам экспериментов

5.1.1. Введение каналов стабилизации или системного стабилизатора не должно приводить к возникновению колебаний активной мощности генератора Г-1\_1 частот 2,5-15 Гц, уровень которых оказывается выше 0,5% от  $P_{ном\_Г-1\_1}$ , вызванных высокочастотными пульсациями на выходе возбудителя (аналогично для Г-1\_3).

5.1.2. При реализации всех возмущений, связанных с воспроизведением коротких замыканий, сопровождающихся понижением напряжения статора генератора, должна работать функция релейной форсировки в соответствии с требованиями, описанными в п. 5.2.6 настоящей Методики.

5.1.3. При реализации различных возмущений (кроме экспериментов по проверке корректности действия ограничителей минимального возбуждения, двукратного тока ротора, напряжения ротора, двукратного тока возбуждения возбудителя) действующее значение напряжения  $U_{Г-1\_1}(U_{Г-1\_3})$  прямой последовательности статора генератора Г-1\_1 (Г-1\_3) в результате действия релейной форсировки возбуждения не должно превышать 1,1 о.е. от исходного (предаварийного) действующего значения напряжения  $U_{Г-1\_1}(U_{Г-1\_3})$ .

### 5.2. Индивидуальные количественные и качественные критерии оценки результатов экспериментов

5.2.1. В экспериментах 1 - 18 проверяется эффективность настройки каналов стабилизации или системного стабилизатора:

- время затухания электромеханических переходных процессов при введенных каналах стабилизации или включенном системном стабилизаторе должно снижаться по сравнению со временем при выведенных каналах стабилизации или отключенном системном стабилизаторе;

- значение постоянной времени затухания переходного процесса  $T$  должно быть меньше 3 секунд.

Пример корректной работы каналов стабилизации или системного стабилизатора приведен на рисунке 22.

$T$  должна определяться по осциллограмме выполненного эксперимента, содержащей активную мощность генератора Г-1\_1 при введенных каналах системной стабилизации или введенном системном стабилизаторе. Для определения  $T$  должны быть построены вспомогательная огибающая колебательного процесса (см. рисунок 21) и вспомогательная линия, соответствующая установившемуся значению активной мощности генератора Г-1\_1 (на рисунке обозначены синим и розовым цветом соответственно).

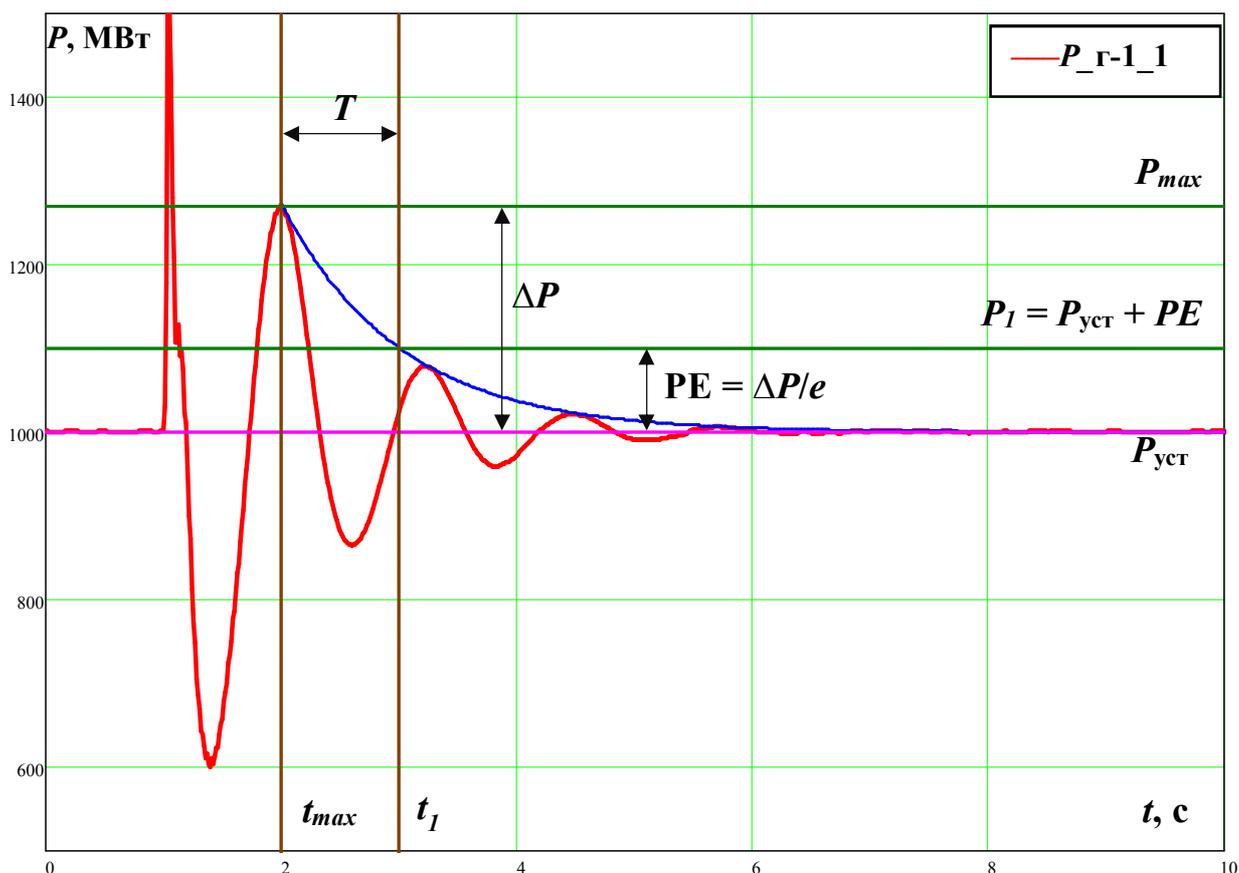


Рисунок 21. Способ определения постоянной времени затухания колебательного процесса

Для расчета  $T$  должны быть определены значения следующих параметров переходного процесса:

$P_{max}$  - максимальное значение активной мощности генератора Г-1\_1 при первом свободном колебании (должно определяться по кривой переходного процесса  $P_{Г-1_1}$ );

$P_{уст}$  - установившееся значение активной мощности генератора Г-1\_1 (должно определяться по кривой переходного процесса  $P_{Г-1_1}$ );

$t_{max}$  - момент времени (абсцисса), соответствующий  $P_{max}$ ;

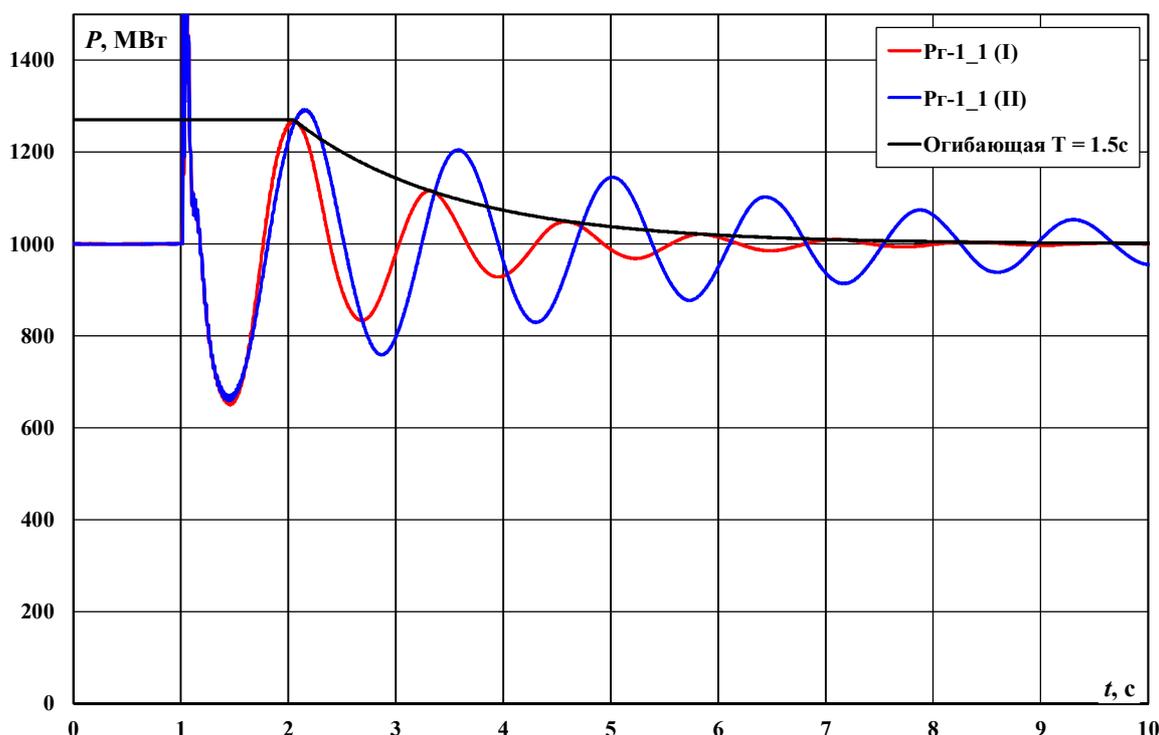
$\Delta P$  - амплитуда колебания активной мощности генератора Г-1\_1 (должна определяться по формуле  $\Delta P = P_{max} - P_{уст}$ );

$PE = \Delta P / \epsilon$  - величина затухания активной мощности в  $\epsilon = 2,718$  раз;

$P_1 = P_{уст} + PE$  - величина активной мощности с учетом затухания в  $\epsilon$  раз;

$t_1$  - момент времени, соответствующий величине активной мощности с учетом затухания в  $\epsilon$  раз (должен определяться как абсцисса точки пересечения вспомогательной огибающей колебательного процесса  $P_{Г-1_1}$  и прямой, описываемой выражением  $P(t) = P_1$ );

$T$  должно рассчитываться как разница между значениями  $t_1$  и  $t_{max}$ .



**Рисунок 22. Пример корректной работы каналов стабилизации или системного стабилизатора**

I - каналы стабилизации или системный стабилизатор введены,  
II - каналы стабилизации или системный стабилизатор выведены

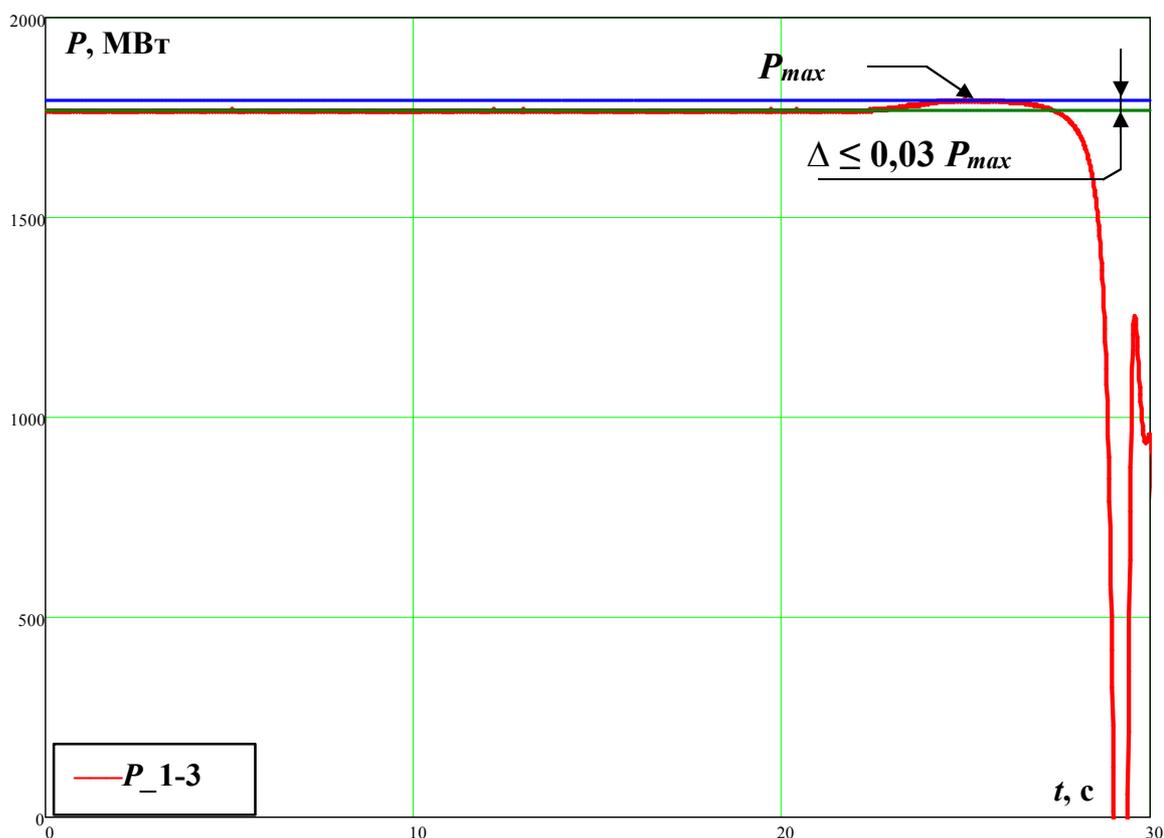
5.2.2. Положительным результатом прохождения экспериментов 19 - 22 является отсутствие возникновения незатухающих автоколебаний при увеличении перетоков активной мощности по линиям Л-1 и Л-3 вплоть до 97 % от предельных по аperiodической статической устойчивости перетоков активной мощности при введенных каналах стабилизации или введенном системном стабилизаторе. Отсутствие возникновения незатухающих автоколебаний должно проверяться по следующим параметрам электроэнергетического режима:

- фазное напряжение шин 500 кВ электрической станции № 1;

- активная мощность генератора Г-1\_1;
- перетоки активной мощности по линиям Л-1 и Л-3.

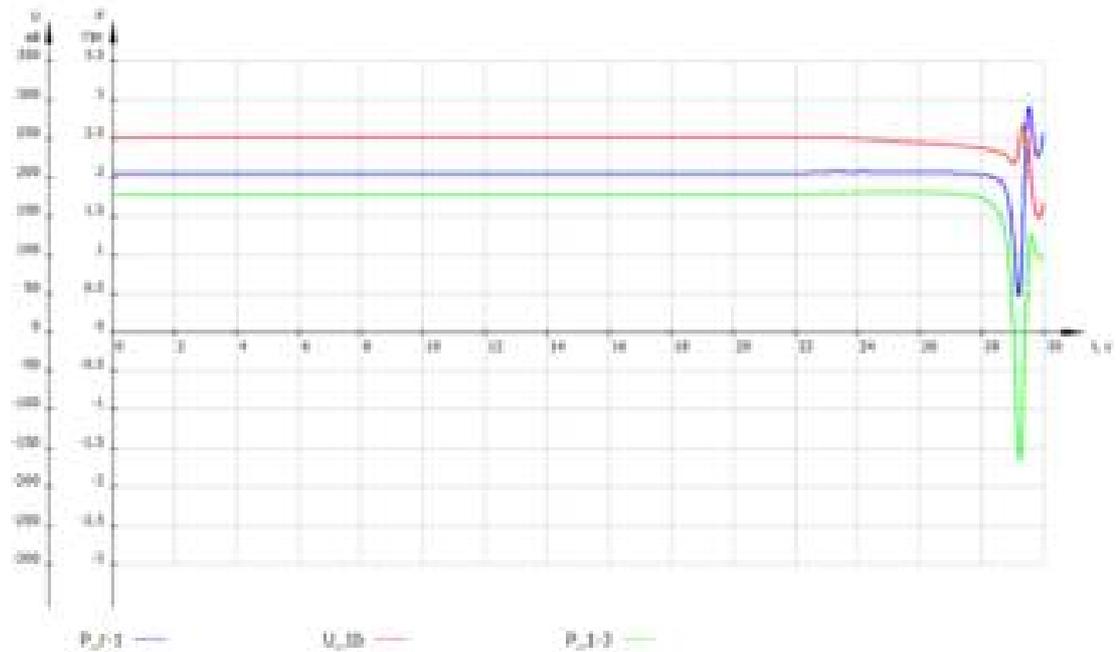
Эксперименты 19 - 22 должны выполняться путем последовательного увеличения активной мощности генератором Г-1\_1 на одинаковую величину. Время между каждым изменением активной мощности генератором Г-1\_1 должно быть достаточным для выявления возникновения и развития незатухающих автоколебаний. Увеличение перетока активной мощности по линии Л-1 (в экспериментах 19 и 20) или по линии Л-3 (в экспериментах 21 и 22)  $\Delta$  при каждом изменении активной мощности генератором Г-1\_1 должно составлять 2,5-3% от предельных по апериодической статической устойчивости перетоков активной мощности по линии Л-1 или Л-3 соответственно.

Пример корректного проведения эксперимента 19 приведен на рисунке 23.

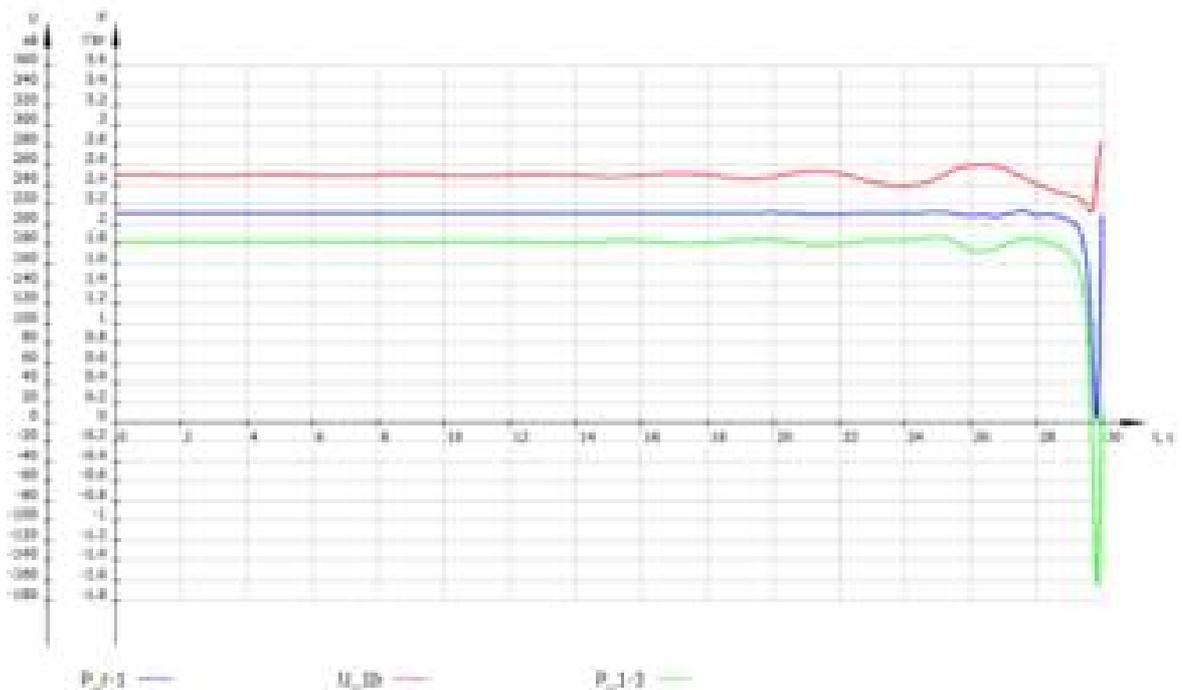


**Рисунок 23. Пример корректного проведения эксперимента по проверке апериодического характера нарушения статической устойчивости**

Пример корректной работы каналов стабилизации или системного стабилизатора при электроэнергетических режимах, близких к пределу статической устойчивости, приведен на рисунке 24а, пример некорректной работы - на рисунке 24б.



а)

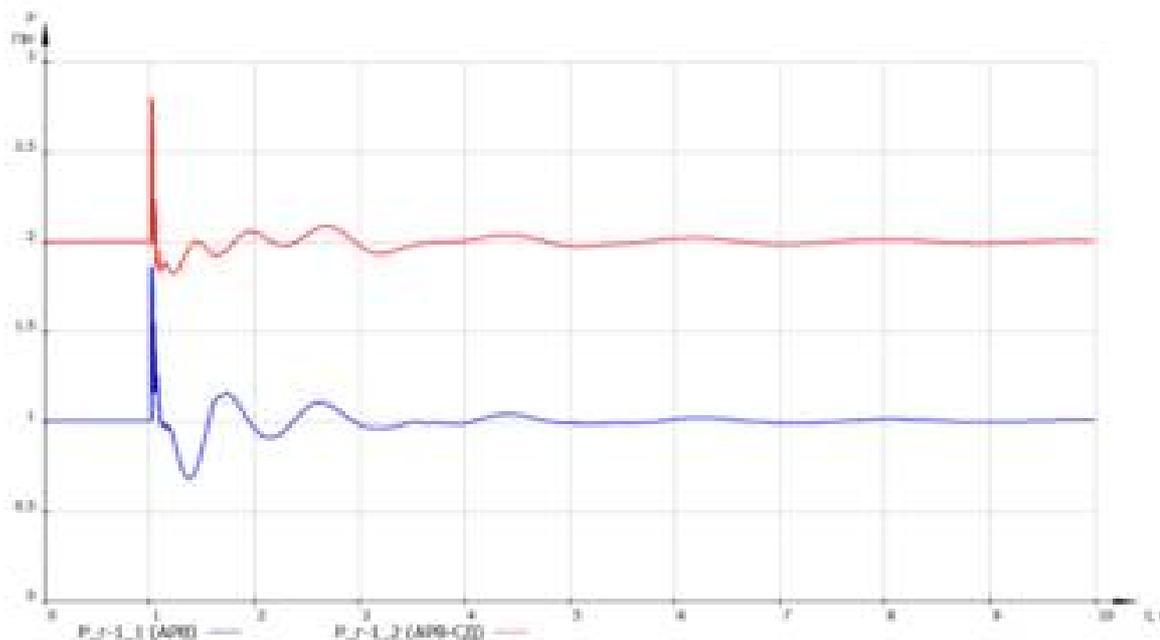


б)

**Рисунок 24. Пример корректной работы каналов стабилизации или системного стабилизатора (а), некорректной работы (б)**

5.2.3. В экспериментах 23–38 должна проверяться внутригрупповая устойчивая параллельная работа генераторов электрической станции № 1 при моделировании тестовых возмущений. Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронного генератора (наличие демпфирования

электромеханических переходных процессов и отсутствие взаимного раскачивания синхронных генераторов) приведен на рисунке 25.



**Рисунок 25. Пример корректной работы АРВ сильного действия при совместной работе с регуляторами другого типа в пределах одной электростанции**

2.4. В экспериментах 39 - 52 должно проверяться качество демпфирования колебаний при моделировании коротких замыканий:

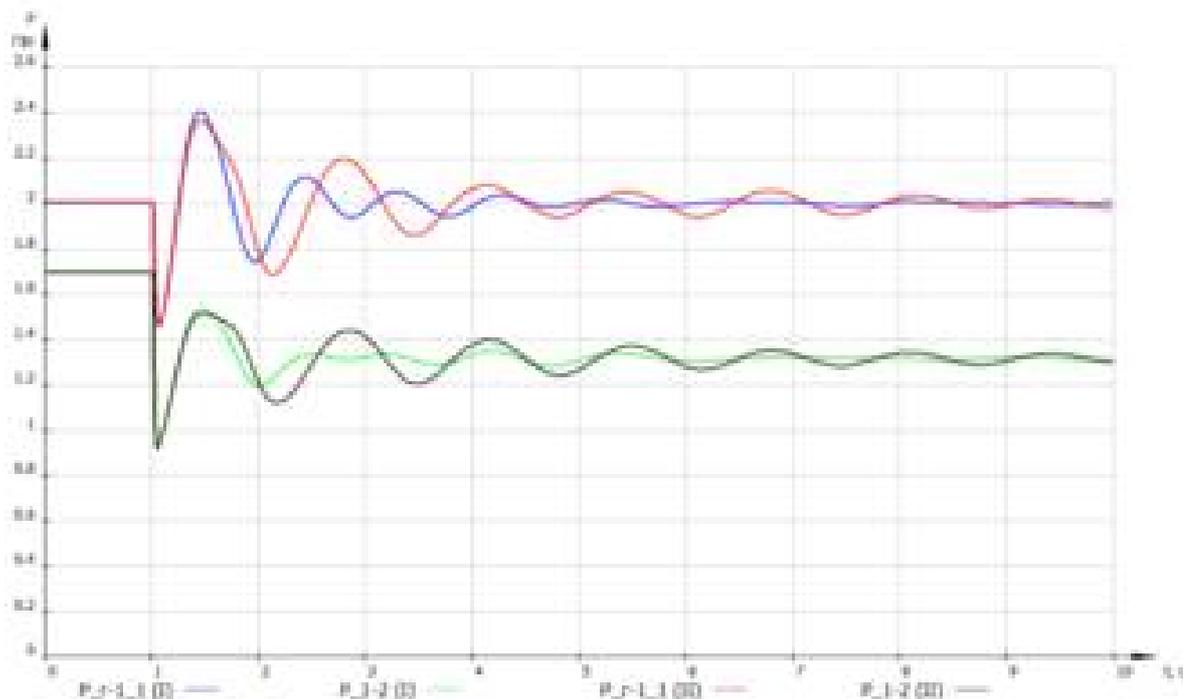
- время затухания электромеханических переходных процессов при введенных каналах стабилизации или включенном системном стабилизаторе должно уменьшаться по сравнению со временем затухания при выведенных каналах стабилизации или отключенном системном стабилизаторе при моделировании нормативных возмущений I, II и III групп 1 в соответствии с перечнем, указанным в таблице 10;

- колебания частот 0,1-2,5 Гц должны демпфироваться при введенных каналах стабилизации или включенном системном стабилизаторе за время, не превышающее 20 с;

- начиная с момента времени, отстающего на 15 секунд после моделирования последнего из нормативных возмущений<sup>34</sup>, размах колебаний активной мощности генератора Г-1\_1 при введенных каналах стабилизации или включенном системном стабилизаторе не должен превышать 6% от величины мощности генератора, предшествующей возмущающему воздействию.

<sup>34</sup> Отсчет необходимо начинать с момента времени, соответствующего: в экспериментах 39, 40, 45-48, 51, 52 - отключению линии Л-2; в экспериментах 41, 42 - включению поврежденной фазы линии Л-2; в экспериментах 43, 44 - включению линии Л-2; в экспериментах 49, 50 - повторному отключению линии Л-2.

Пример корректной работы каналов стабилизации или системного стабилизатора при отключении линии Л-2 приведен на рисунке 26.



**Рисунок 26. Пример корректной работы каналов стабилизации или системного стабилизатора при отключении линии Л-2,**

I - каналы стабилизации или системный стабилизатор введены,

II - каналы стабилизации или системный стабилизатор выведены

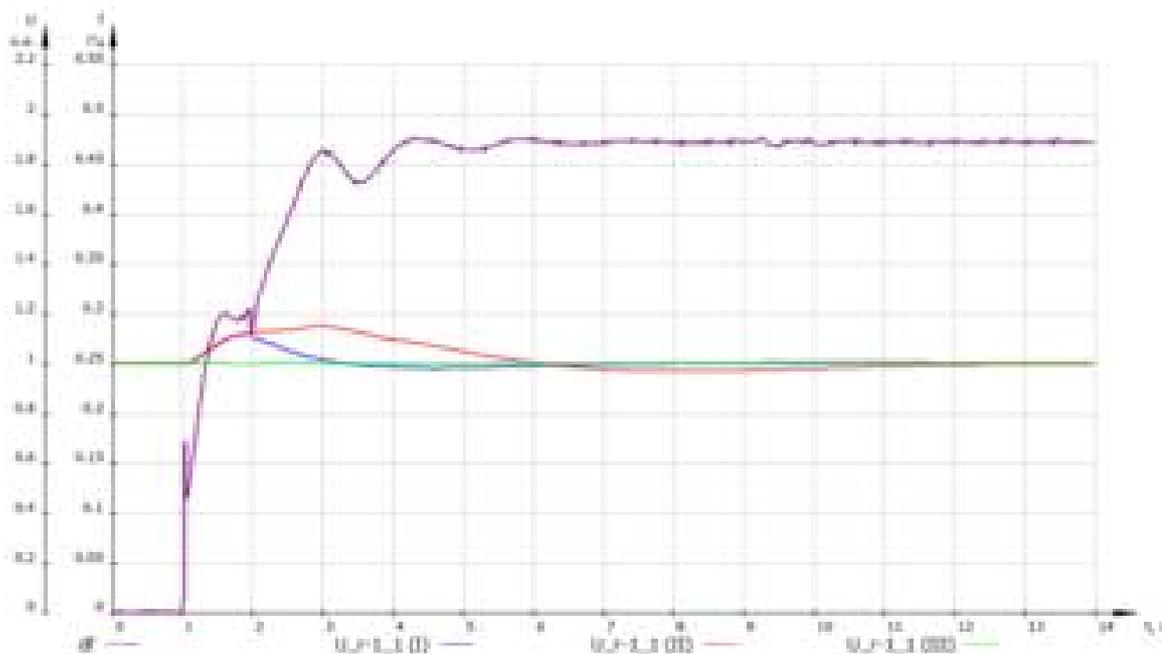
5.2.5. В экспериментах 53 - 63 должна проверяться функция блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора при возникновении небалансов мощности, приводящих к увеличению/уменьшению частоты в энергосистеме со скоростью 0,05 Гц/с и более.

Проверка функции блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора выполняется путем аварийного отключения нагрузки электрической станции № 2 (эксперименты 53 - 55), аварийного отключения генератора электрической станции № 3 (эксперименты 56 - 58) и аварийного отключения генератора электрической станции № 2 (эксперименты 59 - 61) в энергосистеме. Каждое аварийное отключение моделируется трижды: при введенной функции блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора, при выведенной функции блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора и при выведенных каналах стабилизации или системном стабилизаторе.

Корректность работы функции блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора при возникновении небалансов мощности в энергосистеме должна оцениваться путем сравнения характера изменения напряжения Г-1\_1 при введенной функции блокировки каналов стабилизации

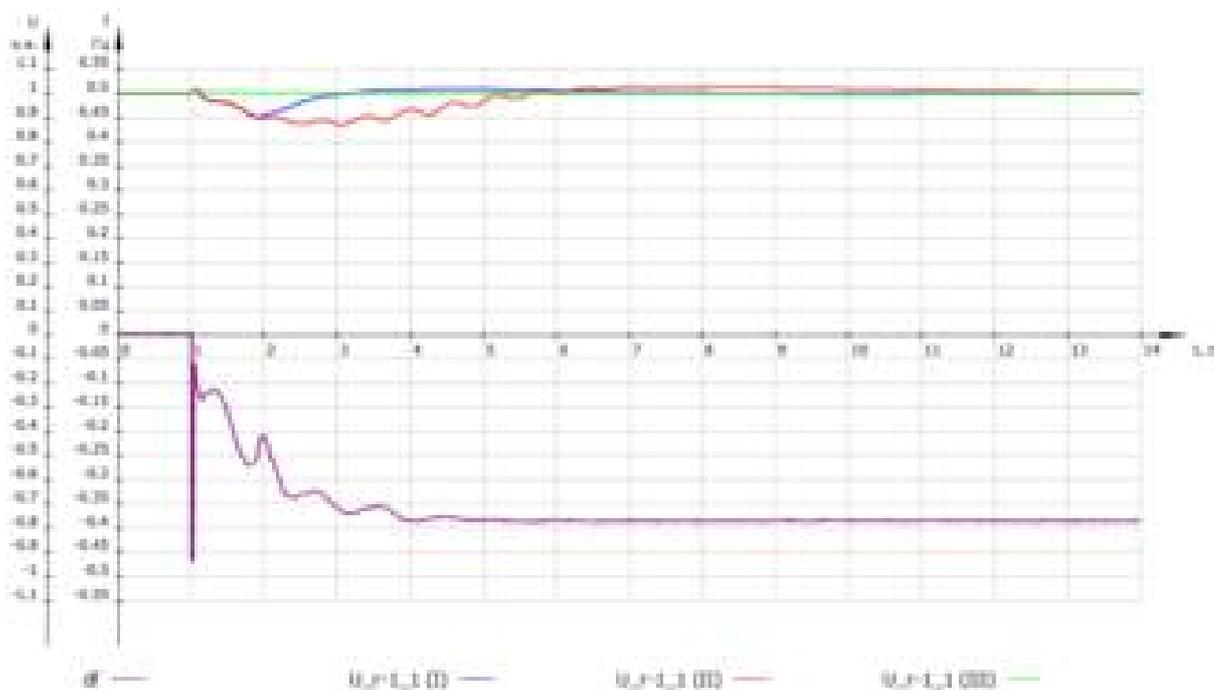
или системного стабилизатора, при выведенной функции блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора и при выведенных каналах стабилизации или системном стабилизаторе (см. рисунки 27, 28 и 29).

Критерием корректности работы АРВ сильного действия синхронного генератора является введение функции блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора за время, не превышающее 1,5 с после аварийного отключения нагрузки (генерации).



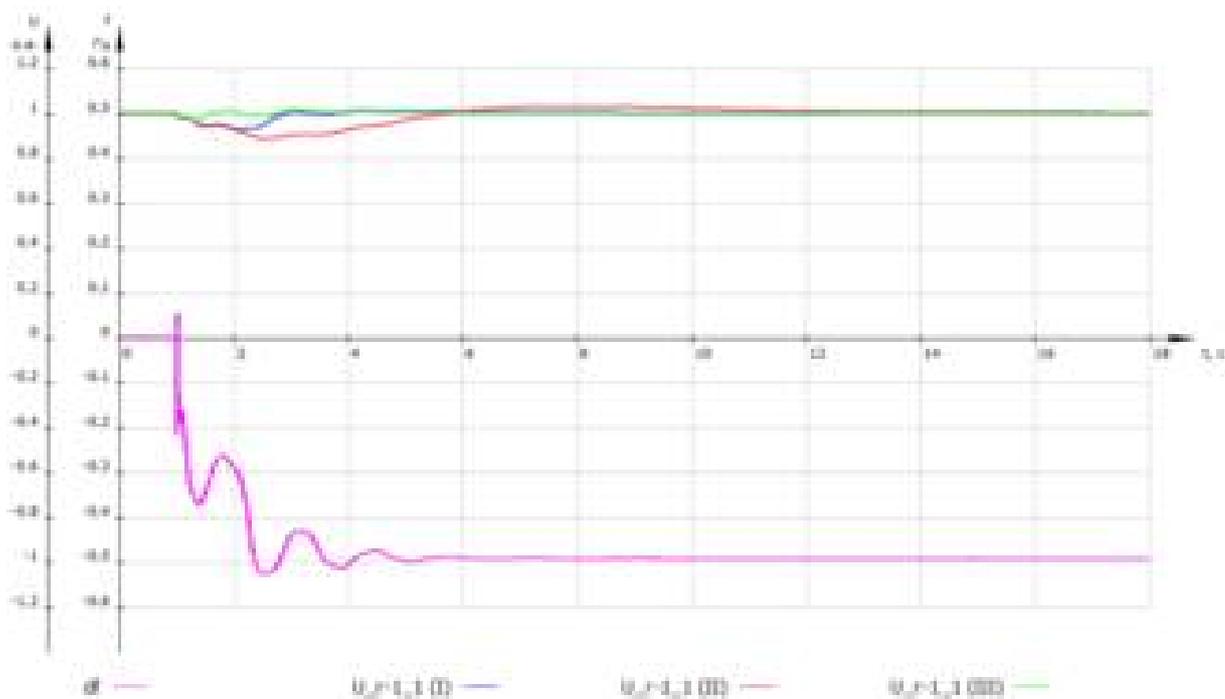
**Рисунок 27. Пример корректной работы функции блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора при аварийном отключении нагрузки электрической станции № 2**

- I - функция блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора введена,
- II - функция блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора выведена,
- III - каналы стабилизации или системный стабилизатор выведены



**Рисунок 28. Пример корректной работы функции блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора при аварийном отключении генератора электрической станции № 3**

- I - функция блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора введена,  
 II - функция блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора выведена,  
 III - каналы стабилизации или системный стабилизатор выведен

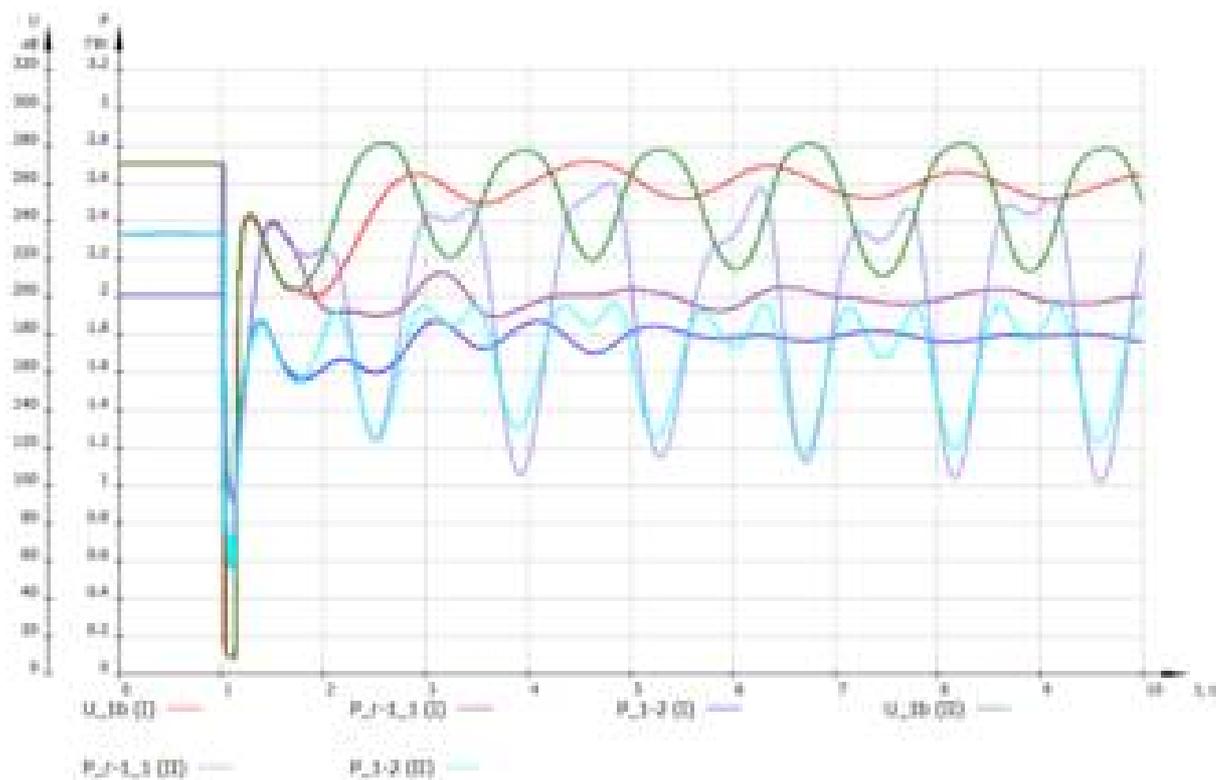


**Рисунок 29. Пример корректной работы функции блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора при аварийном отключении генератора электрической станции № 2**

- I - функция блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора введена,  
 II - функция блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора выведена,  
 III - каналы стабилизации или системный стабилизатор выведены

Проверка селективности действия функции блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора должна выполняться путем моделирования двухфазного КЗ на землю вблизи шин электрической станции № 1 с отключением линии Л-2 с введенной и выведенной функцией блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора (эксперименты 62 и 63 соответственно).

Критерием корректности работы АРВ сильного действия синхронного генератора является идентичность электромеханических переходных процессов в экспериментах 62 и 63. Пример некорректной работы АРВ сильного действия (неселективности функции блокировки каналов стабилизации или системного стабилизатора) приведен на рисунке 30.



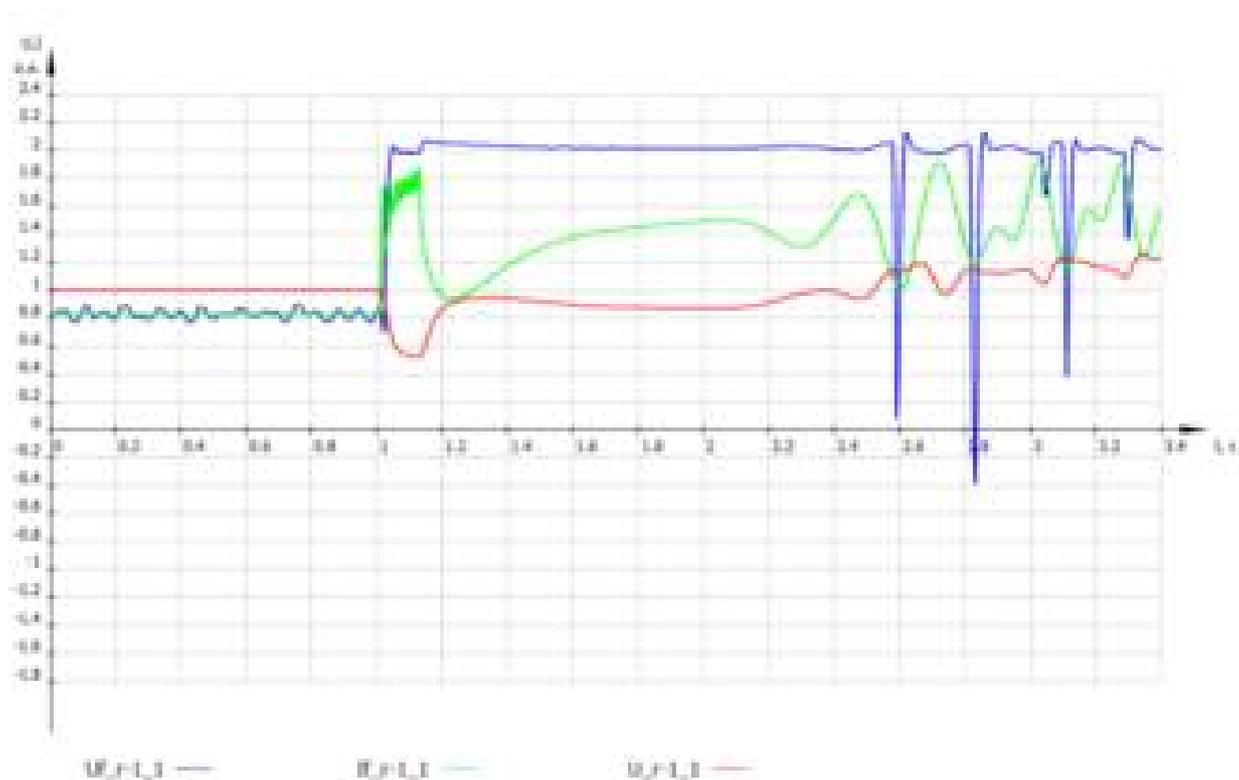
**Рисунок 30. Пример некорректной работы функции блокировки каналов системной стабилизации (системного стабилизатора) АРВ сильного действия синхронного генератора**

- I - функция блокировки выведена,  
 II - функция блокировки введена (блокировка вводится при синхронных колебаниях)

5.2.6. В экспериментах 64 - 67 должна проверяться корректность работы функции релейной форсировки возбуждения в режимах, близких к

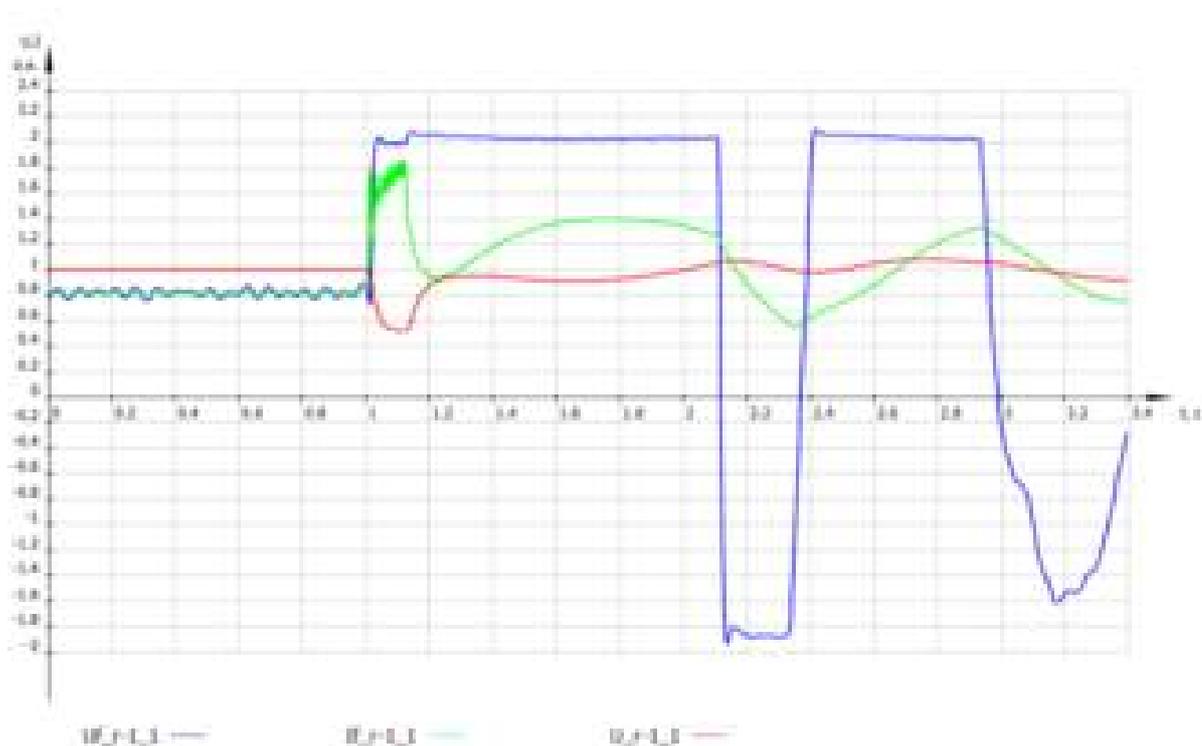
предельным, при нормативных возмущениях. При этом должна рассматриваться работа АРВ сильного действия синхронного генератора в предельном по устойчивости режиме и нарушении динамической устойчивости. Ввод релейной форсировки возбуждения должен осуществляться без временной задержки при снижении напряжения на статоре генератора ниже 85% от исходного значения. Потолочное значение напряжения возбуждения должно удерживаться вплоть до восстановления напряжения на статоре генератора до своего исходного значения<sup>35</sup>.

Критерием корректности работы АРВ сильного действия синхронного генератора является обеспечение поддержания потолочного значения напряжения возбуждения генератора вплоть до восстановления напряжения на статоре генератора до своего исходного значения или до нарушения динамической устойчивости. Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронного генератора при нарушении динамической устойчивости приведен на рисунке 31, в предельном по устойчивости режиме на рисунке 32.



**Рисунок 31. Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронного генератора при нарушении динамической устойчивости**

<sup>35</sup> Указанное требование должно обеспечиваться посредством выбора уставки снятия релейной форсировки возбуждения и временной задержки на снятие релейной форсировки возбуждения.



**Рисунок 32. Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронного генератора в предельном по устойчивости режиме**

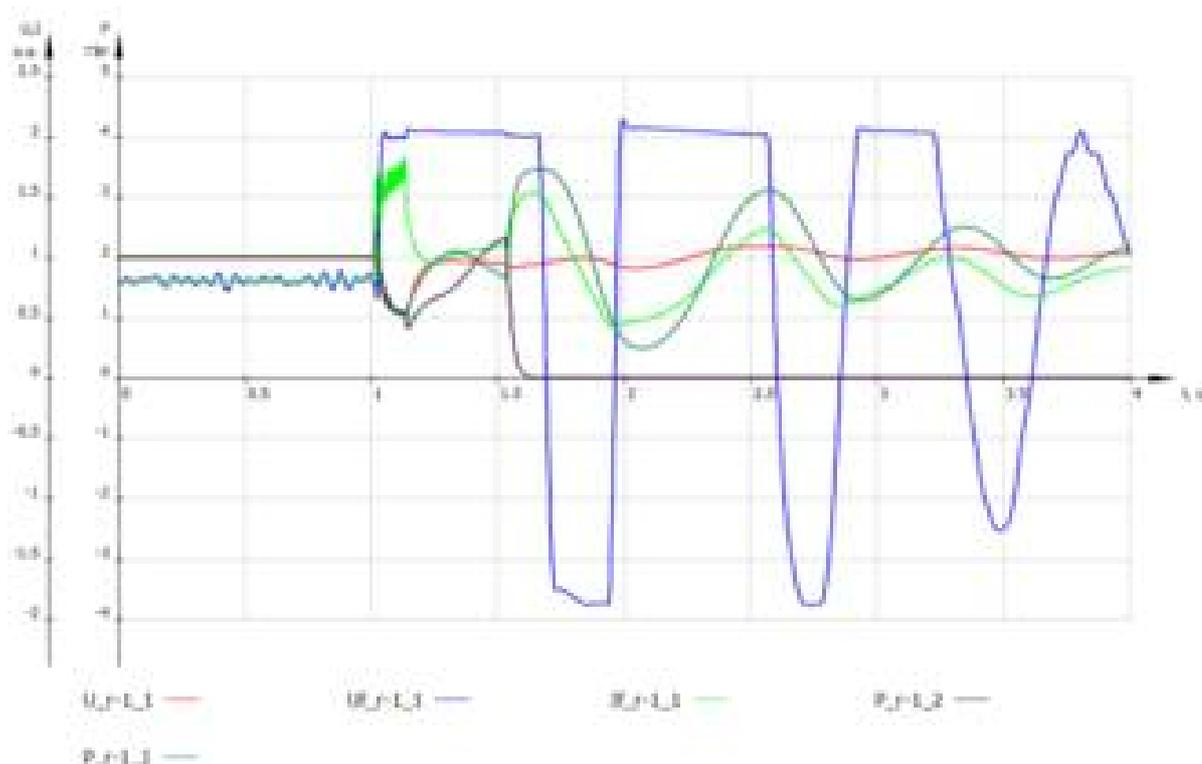
5.2.7. В экспериментах 68, 69 должно проверяться снижение времени затухания электромеханических переходных процессов при введенных каналах стабилизации или включенном системном стабилизаторе по сравнению со временем затухания при выведенных каналах стабилизации или отключенном системном стабилизаторе с учетом действия устройств ПА.

Проверка должна выполняться посредством моделирования аварийного режима, устойчивость которого в послеаварийной схеме может быть обеспечена только за счет снижения перетока активной мощности от электрической станции № 1.

Должен рассматриваться аварийный режим, вызванный двухфазным коротким замыканием на землю с отключением линии.

Для сохранения устойчивости через 0,4 секунды с момента возникновения короткого замыкания должна срабатывать ПА, действующая на отключение Г-1\_2 электрической станции № 1.

Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронного генератора с учетом работы устройств ПА приведен на рисунке 33.



**Рисунок 33. Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронного генератора с учетом работы устройств ПА**

5.2.8. В экспериментах 70 - 74 должна проверяться корректность работы АРВ сильного действия синхронного генератора в режиме ограничения минимального возбуждения. Проверка должна выполняться в статическом и динамическом режимах. При проведении экспериментов должна быть задана характеристика ограничителя минимального возбуждения (далее - ОМВ) в соответствии с таблицей 11.

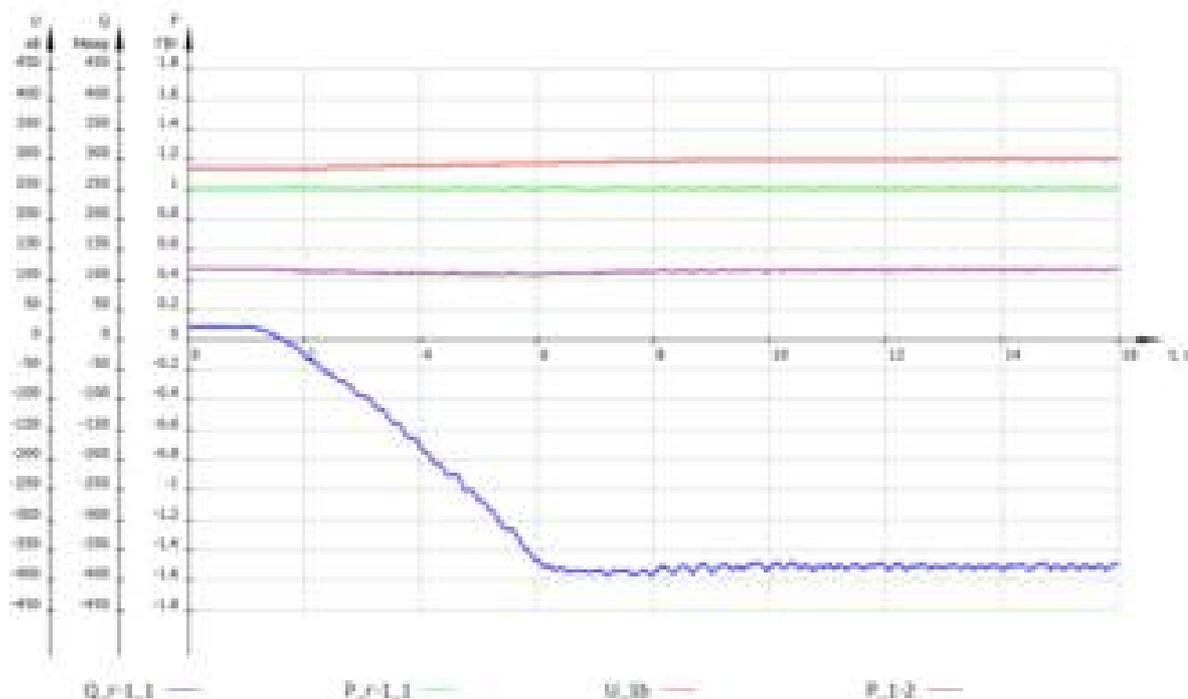
Таблица 11

Пример характеристики ОМВ

Точка характеристики	$P$	$Q$
	МВт	Мвар
1	0	-600
2	1000	-500
3	1500	-390
4	2000	-300

В статическом режиме (при медленном изменении напряжения в энергосистеме или при медленном увеличении активной мощности генератора без моделирования возмущения) вход в зону ОМВ и выход из зоны ОМВ должны носить плавный характер. Работа АРВ сильного действия синхронного генератора признается корректной, если в статическом режиме процесс входа в зону ОМВ или выхода из зоны ОМВ имеет апериодический

(не колебательный) характер. Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронного генератора в статическом режиме при медленном изменении напряжения в энергосистеме показан на рисунке 34, при медленном увеличении активной мощности генератора - на рисунке 35.



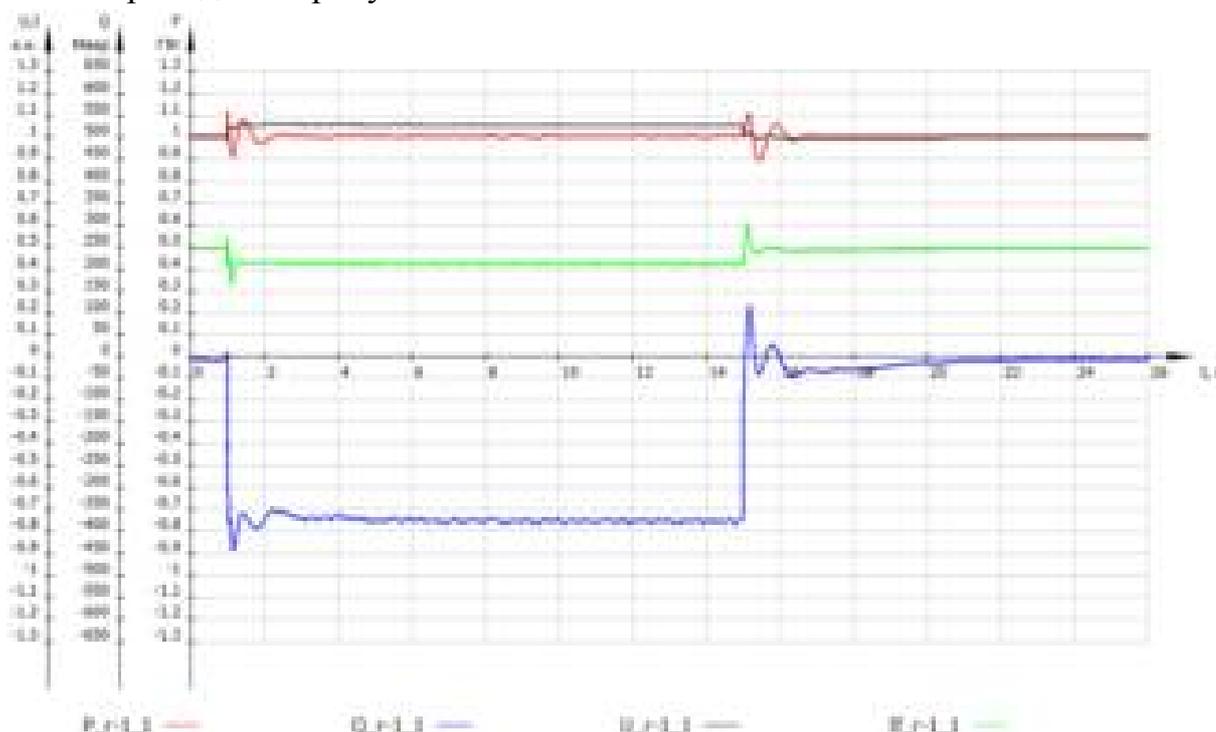
**Рисунок 34. Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронного генератора (плавного входа в зону ОМВ) в статическом режиме при медленном изменении напряжения в энергосистеме**



**Рисунок 35. Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронного генератора (плавного входа в зону ОМВ) в статическом режиме при медленном увеличении активной мощности генератора**

В динамическом режиме при изменении баланса реактивной мощности за счет включения емкости на шинах электрической станции № 1 и последующего (через 6-10 с) отключения емкости на шинах электрической станции № 1 при корректной работе АРВ вход в зону ОМВ в начальной фазе переходного процесса не должен приводить к превышению потребляемой синхронным генератором реактивной мощности более, чем на 30% по отношению к заданной уставке ОМВ.

Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронного генератора при входе в зону ОМВ и выходе из зоны ОМВ в динамическом режиме приведен на рисунке 36.

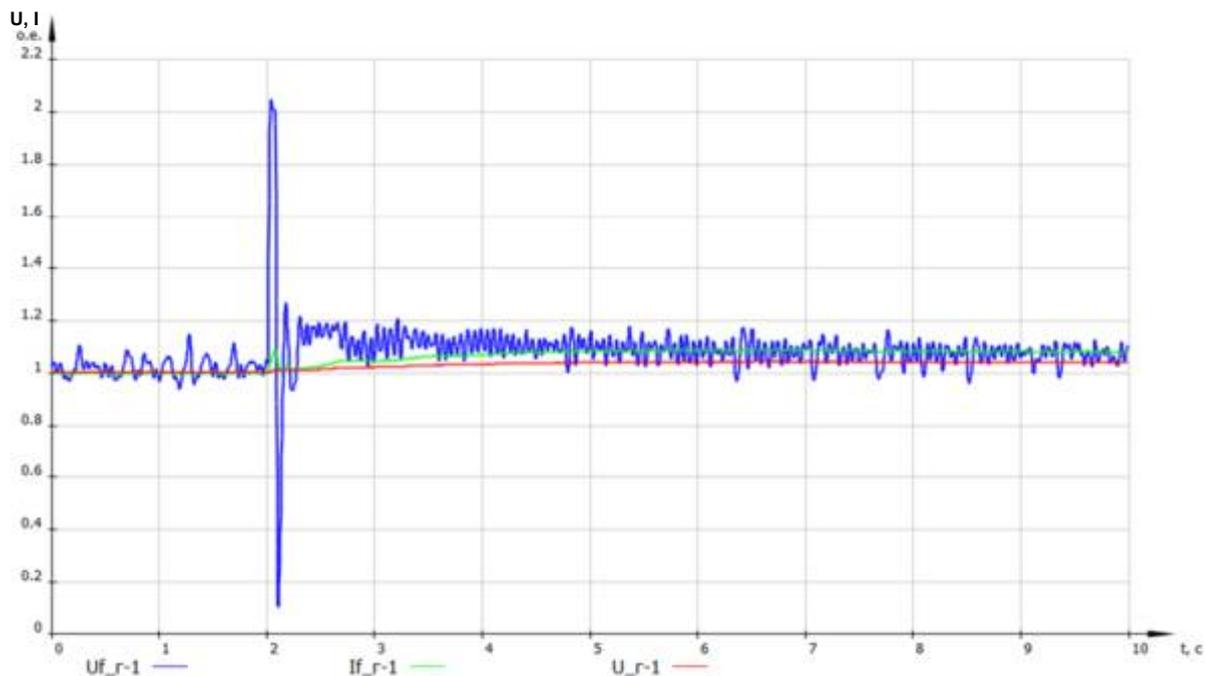


**Рисунок 36. Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронного генератора при входе в зону ОМВ и выходе из зоны ОМВ в динамическом режиме**

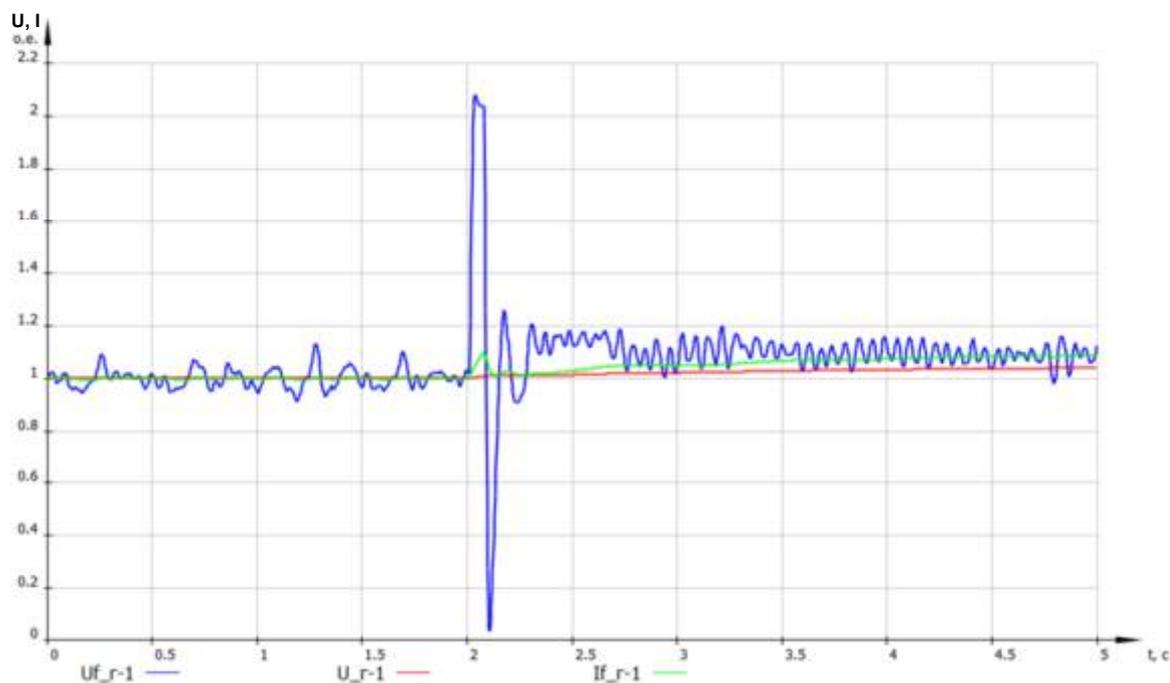
Работа в зоне ОМВ не должна сопровождаться колебаниями тока возбуждения и реактивной мощности. Если в опыте с введенными каналами стабилизации или включенным системным стабилизатором будут наблюдаться колебания тока возбуждения и реактивной мощности, то в алгоритм функционирования АРВ сильного действия синхронного генератора следует ввести блокировку каналов стабилизации или системного стабилизатора при переходе в зону ОМВ.

5.2.9. В экспериментах 75 - 77 должна проверяться корректность работы ограничителя двукратного тока ротора. Проверка должна выполняться тремя способами: путем подачи тестового сигнала на увеличение уставки по напряжению генератора (эксперимент 75), путем моделирования затянувшегося двухфазного КЗ на землю (эксперимент 76) и серии из двух двухфазных КЗ на землю (эксперимент 77).

В эксперименте 75 ограничитель двойного тока ротора должен вступать в работу без выдержки времени и перерегулирования (см. рисунок 37).



а)



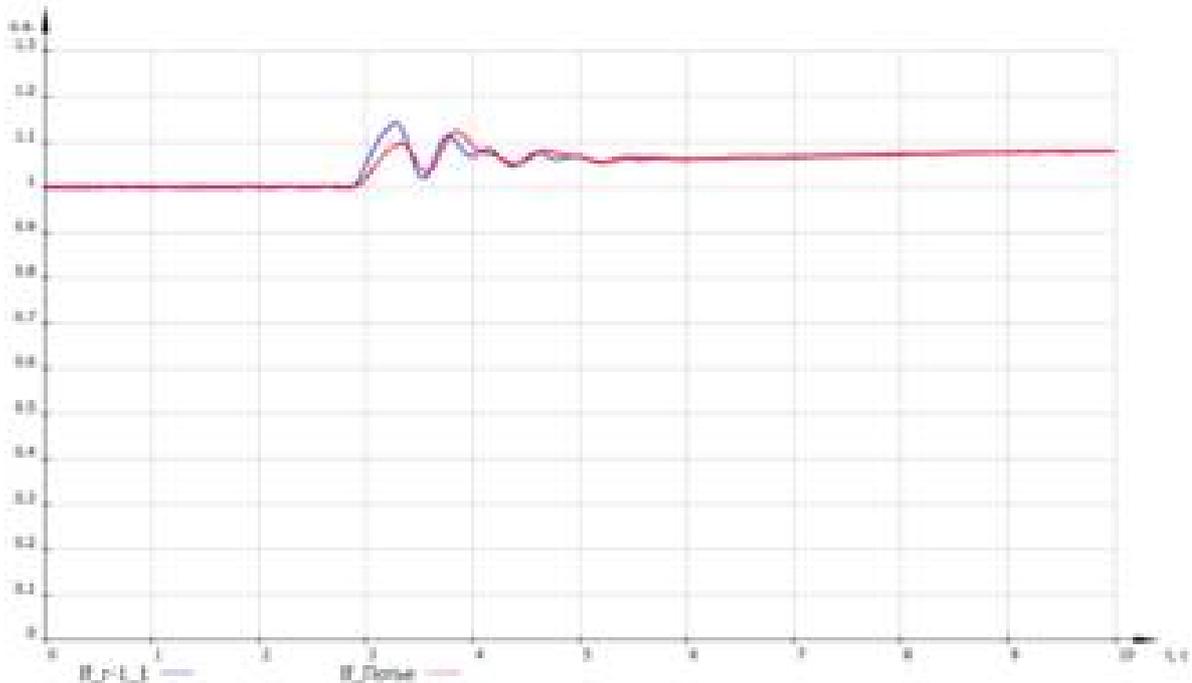
б)

**Рисунок 37. Пример корректной работы ограничителя двукратного тока ротора при подаче тестового сигнала на увеличение уставки по напряжению генератора на 30%.**

**Уставка ограничителя задана на уровне  $1,1U_{ном}$**

При проведении эксперимента 75 для АРВ сильного действия, у которых реализован ограничитель двойного тока ротора для бесщеточной системы

возбуждения, следует дополнительно регистрировать расчетный ток ротора, определяемый по диаграмме Потье. Критерием корректности работы ограничителя является совпадение установившегося значения измеренного и расчетного значений тока ротора (см. рисунок 38).

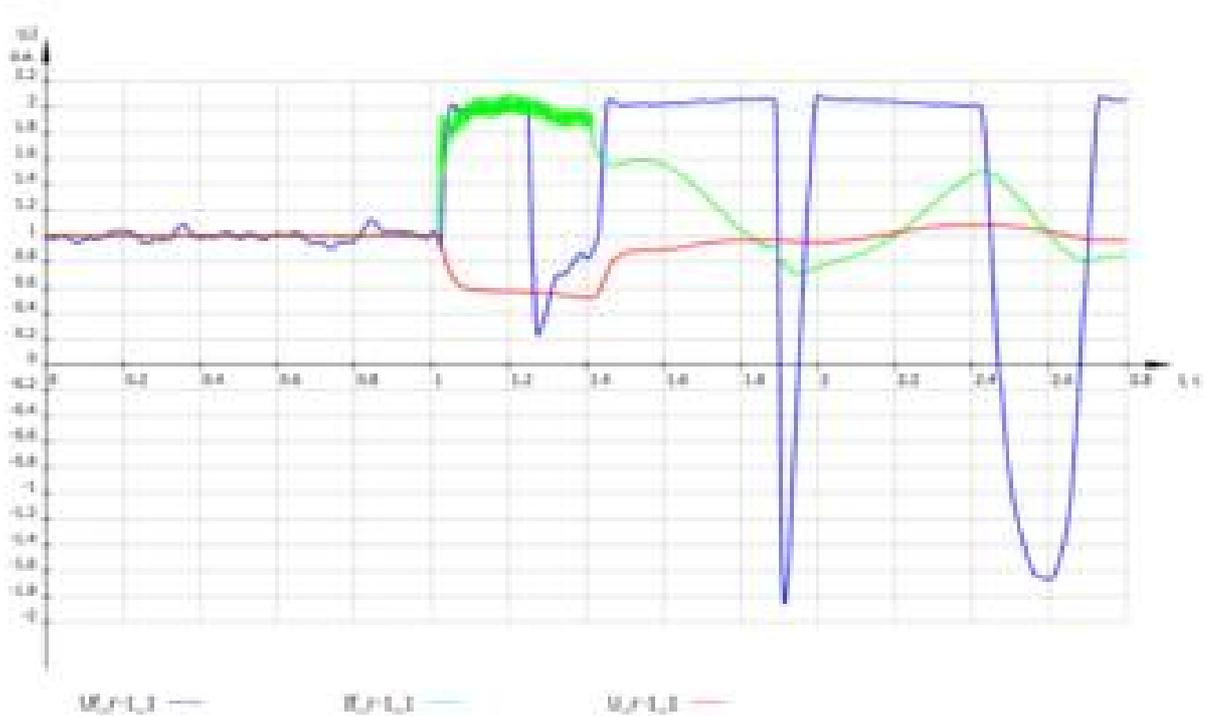


**Рисунок 38. Пример корректной работы ограничителя двукратного тока ротора при подаче тестового сигнала на увеличение уставки по напряжению генератора на 30%.**

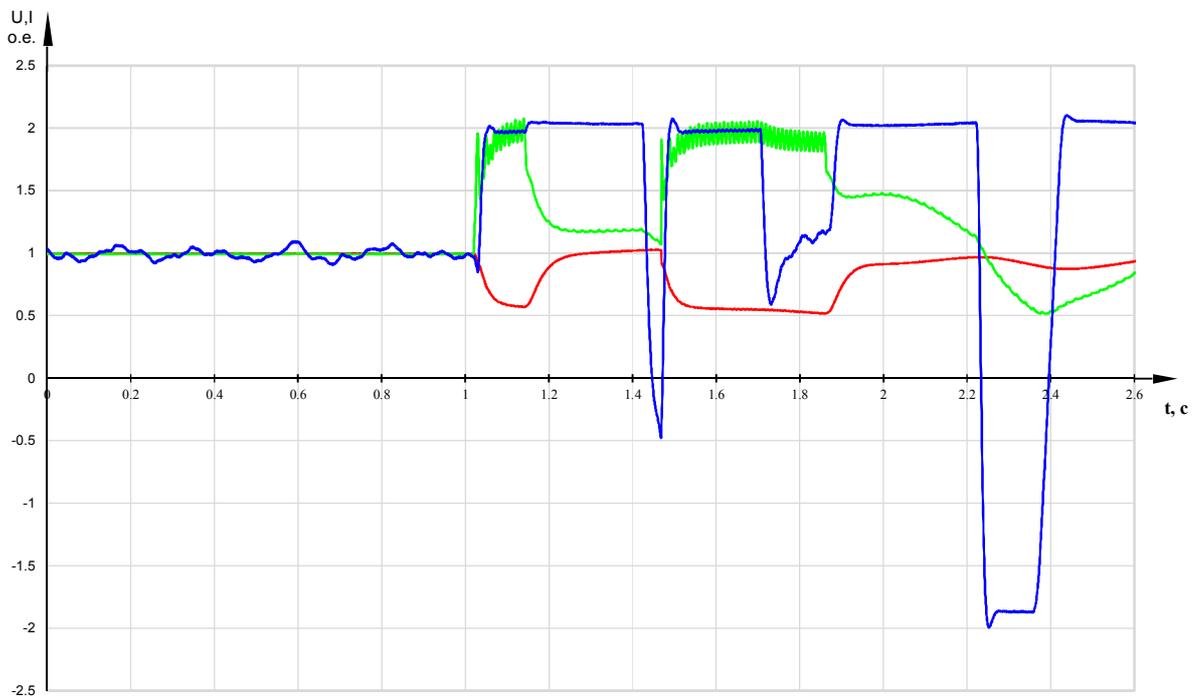
**Уставка ограничителя задана на уровне  $1,1I_{ном}$**

Ввод ограничения двукратного тока ротора в экспериментах 76 и 77 должен осуществляться с выдержкой времени, достаточной для затухания периодических токов, вызванных близкими короткими замыканиями, не препятствуя тем самым вводу релейной форсировки возбуждения. Задержка времени на ввод ограничителя должна регулироваться в диапазоне от 100 до 600 мс.

Примеры корректной работы ограничителя двукратного тока ротора при моделировании затянувшегося двухфазного КЗ на землю и при моделировании серии из двух двухфазных КЗ приведены на рисунке 39 и рисунке 40 соответственно.



**Рисунок 39.** Пример корректной работы ограничителя двукратного тока ротора при моделировании затянувшегося двухфазного КЗ на землю. Уставка ограничителя задана на уровне  $2I_{ном}$



**Рисунок 40.** Пример корректной работы ограничителя двукратного тока ротора при моделировании серии из двух двухфазных КЗ на землю.

Уставка ограничителя задана на уровне  $2I_{ном}$

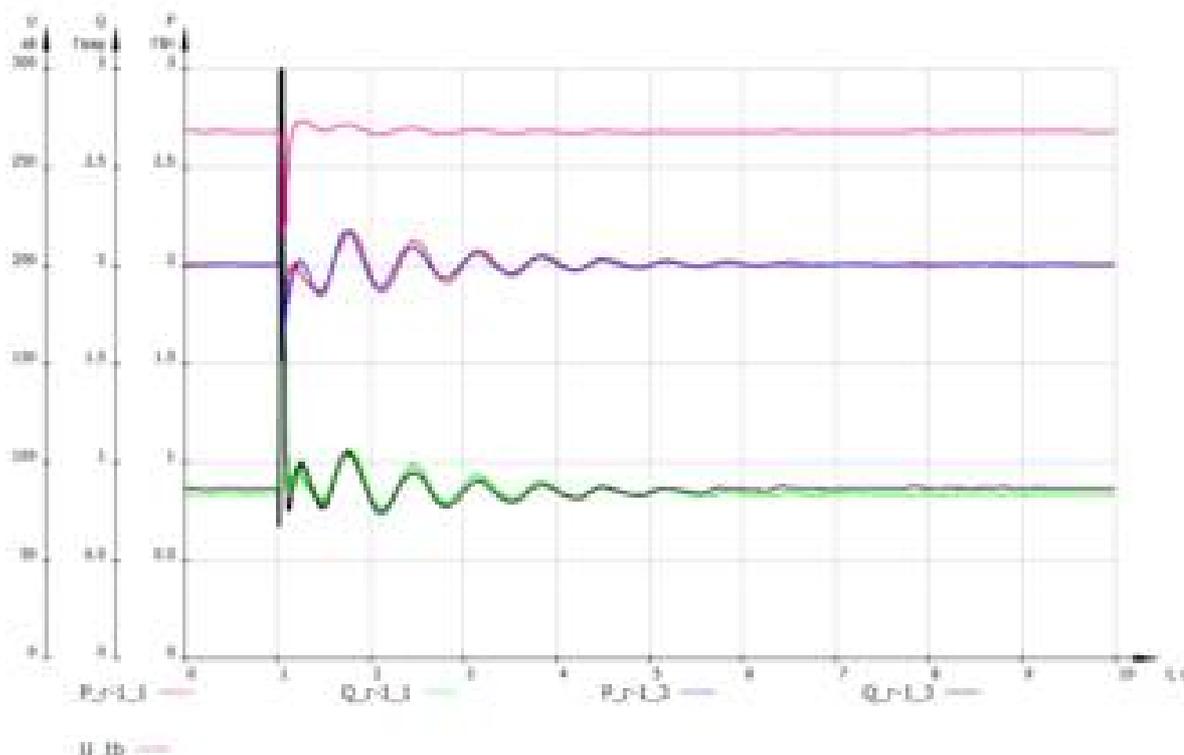
5.2.10. В экспериментах 78 - 88 должны проверяться:

- устойчивость регулирования реактивной мощности и стабилизации режима при совместной работе двух регуляторов в составе укрупненного блока синхронных генераторов;
- оцениваться корректность распределения реактивной мощности между синхронными генераторами, объединенными в одной точке на генераторном напряжении;
- отсутствие внутригрупповой неустойчивости.

Проверка должна выполняться путем подачи тестовых возмущений при введенных и выведенных на обоих АРВ сильного действия синхронных генераторов каналах стабилизации или включенном и выключенном системном стабилизаторе, а также при введенных каналах стабилизации или включенном системном стабилизаторе только на одном из АРВ сильного действия синхронного генератора.

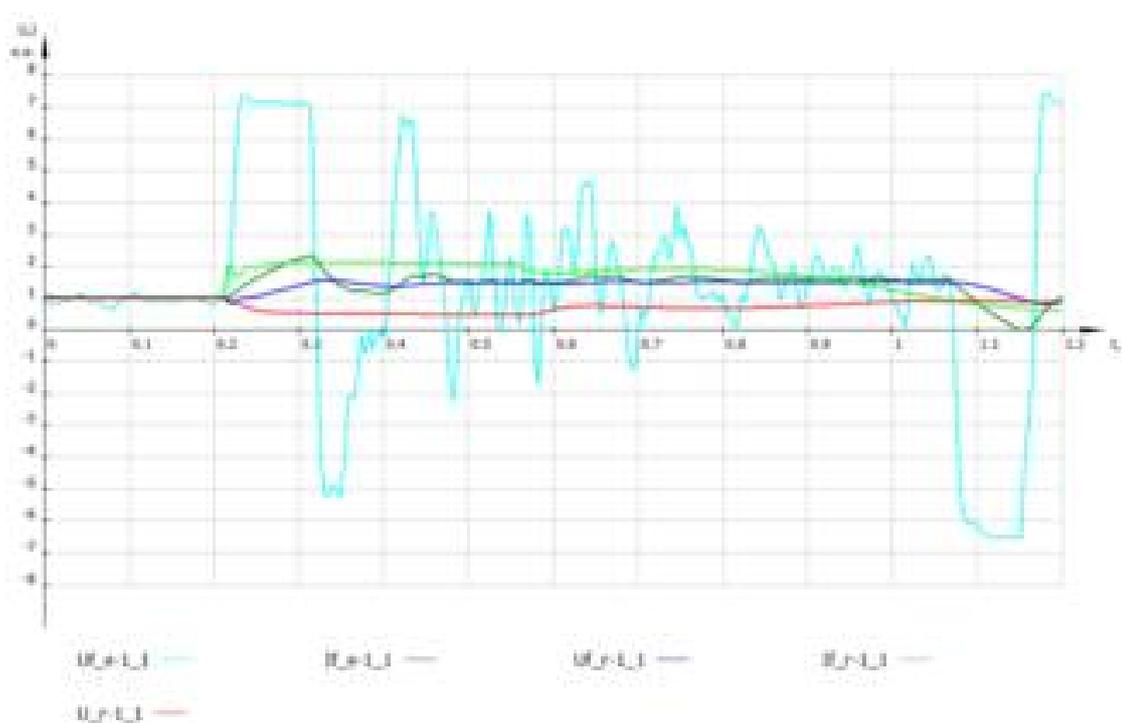
При корректной работе АРВ сильного действия синхронных генераторов во всех опытах после снятия тестовых возмущений должна восстанавливаться исходная загрузка синхронных генераторов по реактивной мощности, а сами тестовые возмущения не должны приводить к возникновению и развитию взаимных колебаний между синхронными генераторами.

Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронных генераторов приведен на рисунке 41.



**Рисунок 41. Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронных генераторов при однофазном КЗ на шинах электрической станции № 1 при совместной работе двух регуляторов в составе укрупненного блока синхронных генераторов**

5.2.11. В эксперименте 89 должна проверяться корректность работы ограничителя напряжения ротора. Проверка должна выполняться путем моделирования затянувшегося трехфазного КЗ на землю. Ограничитель должен вступать в работу без перерегулирования. Для исключения срабатывания ограничителя двукратного тока бесщеточного возбудителя уставка этого ограничителя при проведении эксперимента 89 должна быть задана большей (в относительных единицах), чем уставка ограничителя напряжения ротора. Для предотвращения срабатывания ограничителя двукратного тока ротора следует ввести максимальную задержку по времени на ввод этого ограничителя<sup>36</sup>. Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронных генераторов приведен на рисунке 42.



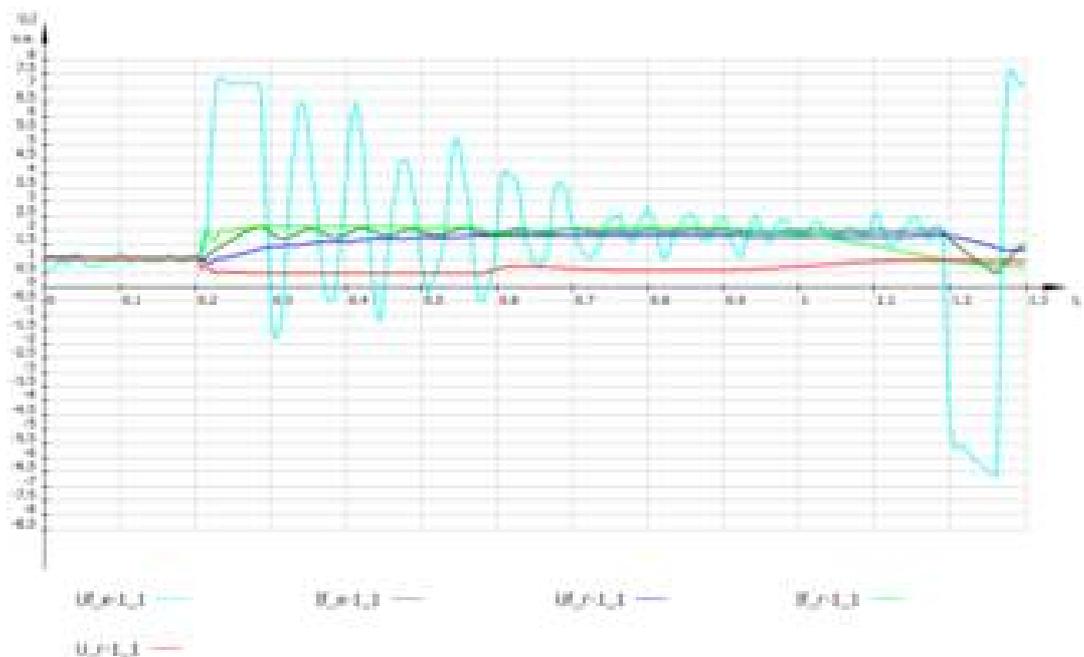
**Рисунок 42. Пример корректной работы ограничителя напряжения ротора при моделировании трехфазного затянувшегося КЗ вблизи шин электрической станции**

**№ 1. Уставка ограничителя напряжения ротора задана на уровне  $1,5U_{ном}$  (уставка ограничителя максимального тока возбуждения бесщеточного возбудителя задана на уровне  $3I_{ном}$ )**

5.2.12. В эксперименте 90 должна проверяться корректность работы ограничителя двукратного тока возбуждения бесщеточного возбудителя. Проверка должна выполняться путем моделирования затянувшегося трехфазного КЗ на землю. Ограничитель должен вступать в работу без перерегулирования. Для исключения срабатывания ограничителя напряжения ротора уставка этого ограничителя при проведении эксперимента 90 должна

<sup>36</sup> Для АРВ сильного действия, в которых имеется этот ограничитель.

быть задана большей (в относительных единицах), чем уставка ограничителя тока возбуждения бесщеточного возбудителя. Для предотвращения срабатывания ограничителя двукратного тока ротора следует ввести максимальную задержку по времени на ввод этого ограничителя<sup>37</sup>. Пример корректной работы АРВ сильного действия синхронных генераторов приведен на рисунке 43.



**Рисунок 43. Пример корректной работы ограничителя двукратного тока возбуждения бесщеточного возбудителя при моделировании трехфазного затянувшегося КЗ вблизи шин электрической станции № 1. Уставка ограничителя двукратного тока возбуждения бесщеточного возбудителя задана на уровне  $2I_{ном}$  (уставка ограничителя напряжения ротора задана на уровне  $3U_{ном}$ )**

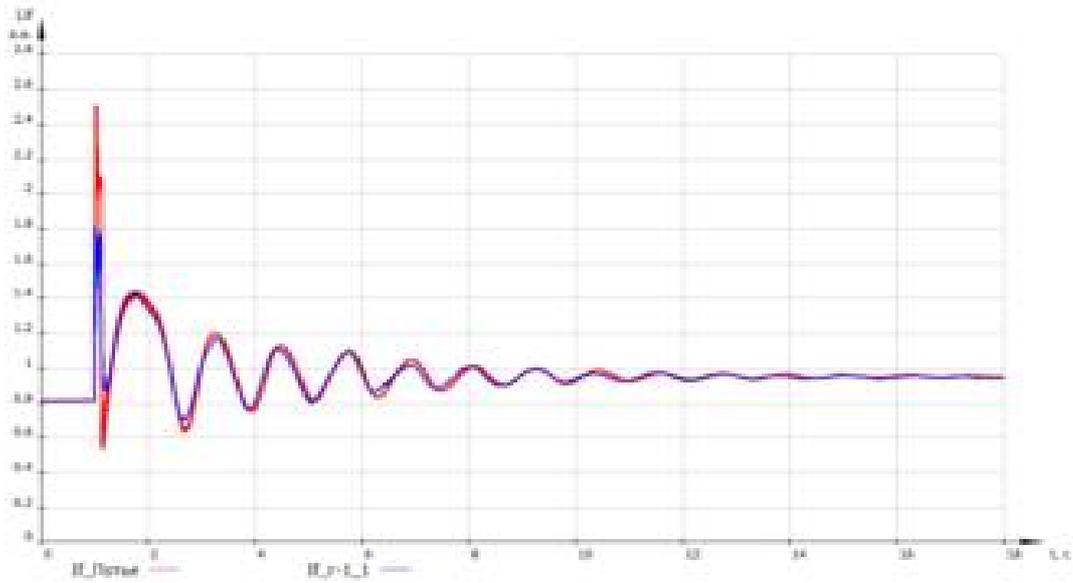
5.2.13. Проверка правильности расчета тока ротора по диаграмме Потье<sup>38</sup> производится путем повторения эксперимента 64. Корректность реализации алгоритма расчета тока ротора определяется путем сравнения его измеренного и расчетного значений после отключения короткого замыкания. Расчетное значение тока ротора не должно отличаться от измеренного:

- по фазе - не более чем на 30 градусов;
- по амплитуде - не более чем на 20%.

Пример корректной работы АРВ приведен на рисунке 44.

<sup>37</sup> Для АРВ сильного действия, в которых имеется этот ограничитель.

<sup>38</sup> Только для АРВ сильного действия, в которых ток ротора, рассчитанный по диаграмме Потье, используется для формирования параметра стабилизации.



**Рисунок 44. Пример корректной реализации алгоритма расчета тока ротора по диаграмме Потье**