

---

## *Общие требования к выполнению лабораторных работ*

---

---

### *Программа работы*

---

1. Работа выполняется программном модуле MATLAB Simulink.
2. В зависимости от исследуемого объекта формируется его схема с использованием типовых блоков библиотеки SimPowerSystems.
3. Замеры и осциллограммы формируются в соответствии с заданием на работу.

---

### *Требования к отчёту по работе*

---

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Этапы выполнения работы.
4. Результаты исследований в виде таблиц и графиков с пояснениями к ним.
5. Выводы по работе, в которых должен содержаться детальный анализ полученных результатов и их интерпретация.

---

*Лабораторная работа № 2. Исследование системы  
управления регулированием частоты и активной  
мощности синхронных генераторов.*

---

В данной работе предлагается использовать схему, представленную на рисунке ЛР2.1. Схема автоматического регулятора возбуждения сильного действия (АРВ СД) турбогенераторов представлена на рисунке ЛР2.2. Схема автоматического регулятора возбуждения пропорционального действия (АРВ ПД) турбогенераторов представлена на рисунке ЛР2.3. Схема автоматического регулятора скорости (АРС) турбины турбогенераторов представлена на рисунке ЛР2.4. Упрощенная схема математической модели паровой турбины представлена на рисунке ЛР2.5.

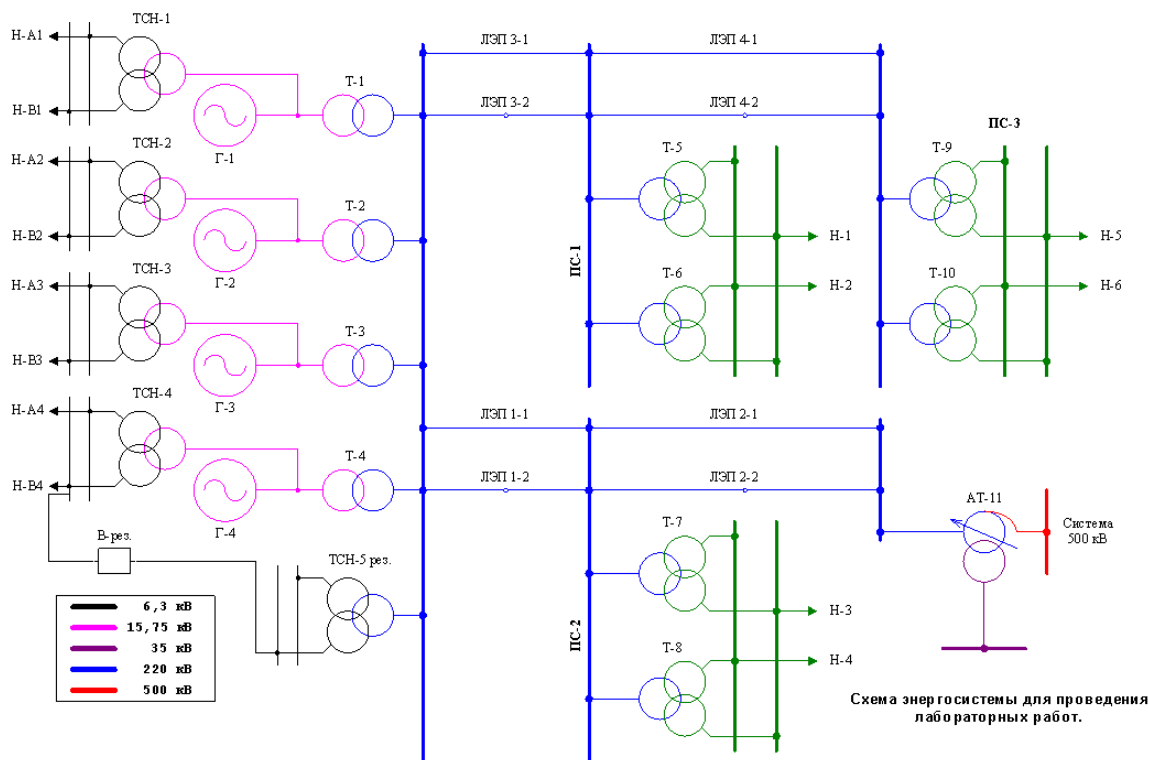
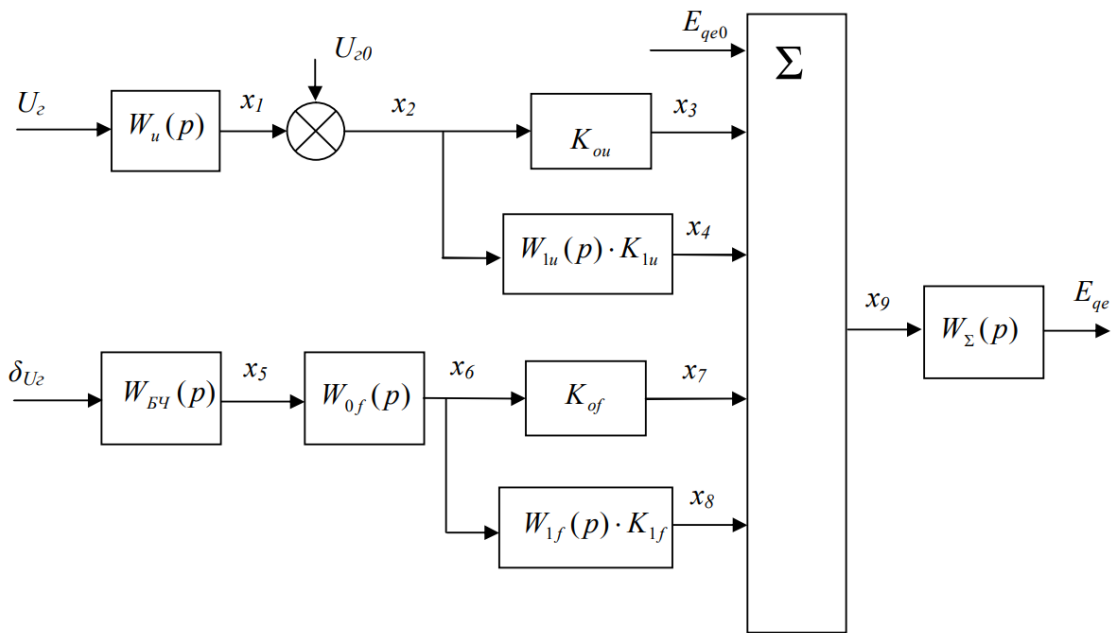


Рисунок ЛР2.1 – Схема энергосистемы



$$W_u(p) = \frac{1 + 0.022p}{1 + 0.05p + 0.000447p^2}$$

$$W_{lu}(p) = \frac{p}{1 + 0.0286p}$$

$$W_{БЧ}(p) = \frac{0.159p}{1 + 0.011p + 0.0000334p^2}$$

$$W_{0f}(p) = \frac{p}{1 + 1.196p + 0.08512p^2}$$

$$W_{1f}(p) = \frac{p}{1 + 0.073p + 0.001332p^2}$$

$$W_{\Sigma}(p) = \frac{1}{1 + 0.005p}$$

Рисунок ЛР 2.2 – Схема АРВ СД

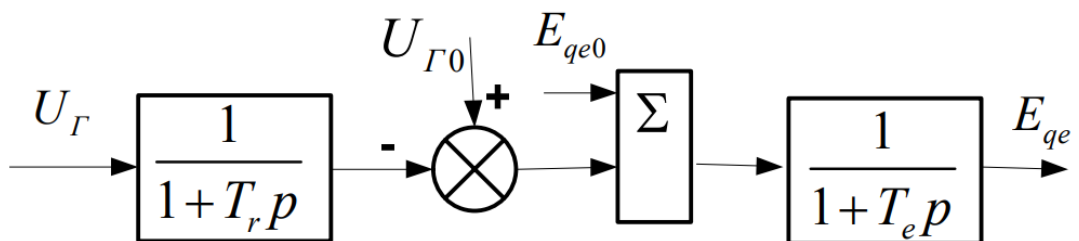


Рисунок ЛР 2.3 – Схема АРВ ПД

где  $T_r = 0,02$ ;  $T_e = 0,1$

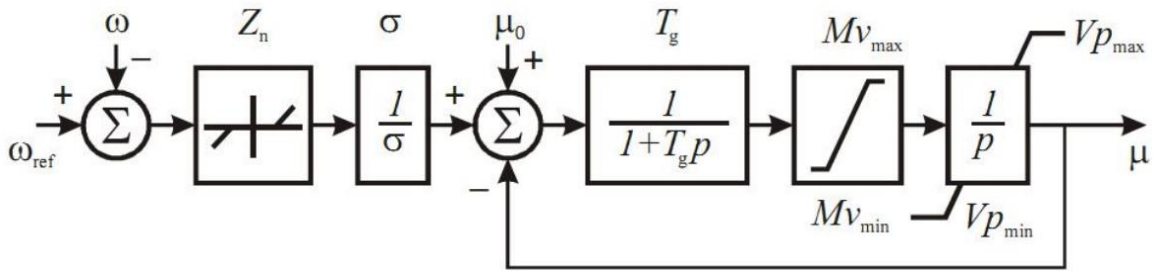


Рисунок ЛР 2.4 – Схема АРС паровой турбины

Обозначение	Физический смысл	Единицы измерения	Значение
$Z_n$	Зона нечувствительности	%	0,2
$\sigma$	Статизм	%	4
$T_g$	Постоянная времени регулятора	с	0,3
$Mv_{min}$	Минимальная скорость увеличения мощности	о.е./с	-
$Mv_{max}$	Максимальная скорость увеличения мощности	о.е./с	-
$Vp_{min}$	Минимальная мощность турбины	% (от $P_{ном}$ генератора)	0
$Vp_{max}$	Максимальная мощность турбины	% (от $P_{ном}$ генератора)	100

Модель паровой турбины с двойным промперегревом описывается функцией:

$$M_T(p) = \left( \alpha + \frac{1-\alpha}{1+T_{III}p} \right) \frac{1}{1+T_{II}p} \mu(p)$$

$T_{III} = 7\text{ с}$  – эквивалентная постоянная времени паровых объемов тракта промперегрева и ЦВД (7 с);

$T_{II} = 0,3\text{ с}$  – эквивалентная постоянная времени паровых объемов ЦВД;

$\alpha = 0,3$  – коэффициент участия ЦВД.

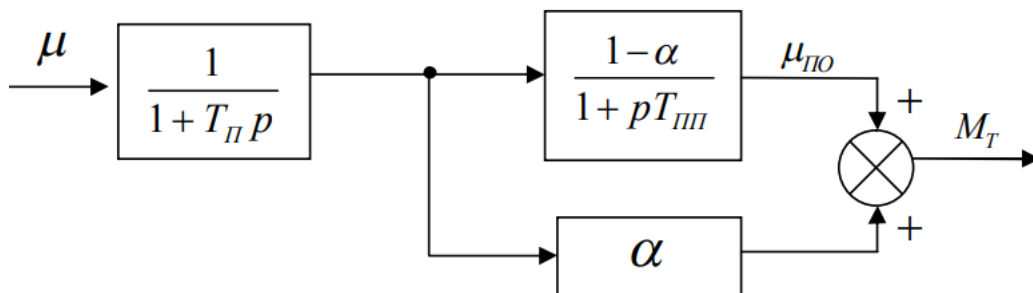


Рисунок ЛР 2.5 – Математическая модель паровой турбины

Параметры для элементов схемы представлены ниже.

<b>Турбогенераторы</b>				
Параметр		Обозначение	Значение	Ед. изм.
Тип турбогенератора			<b>ТГВ-200-2У3</b>	
Обозначение на схеме			<b>Г-1, Г-2, Г-3, Г-4</b>	
Номинальная мощность		$P_{ном}$	<b>200</b>	МВт
Коэффициент мощности		$\cos \varphi_{ном}$	<b>0,85</b>	о.е.
Напряжение на выходе генератора		$U_{ном}$	<b>15,75</b>	кВ
Система возбуждения			<b>Тиристорная</b>	
Механическая постоянная инерции турбоагрегата		$T_j$	<b>7,4</b>	с.
Синхронное индуктивное сопротивление по продольной оси		$x_d$	<b>1,84</b>	о.е.
Переходное индуктивное сопротивление по продольной оси		$x'_d$	<b>0,29</b>	о.е.
Сверхпереходное индуктивное сопротивление по продольной оси		$x''_d$	<b>0,19</b>	о.е.
Синхронное индуктивное сопротивление по поперечной оси		$x_q$	<b>1,78</b>	о.е.
Постоянная времени по продольной оси при разомкнутой обмотке статора.		$T'_{d0}$	<b>6,85</b>	с.
<b>Трансформаторы</b>				
Параметр		Обозначение	Значение	Ед. изм.
Тип трансформатора			<b>ТДЦ-250000/220</b>	
Обозначение на схеме			<b>Т-1 ÷ Т-4</b>	
Номинальная мощность		$S_{ном}$	<b>250000</b>	кВА
Коэффициент трансформации		$k_{тр}$	<b>0,06508</b>	о.е.
Напряжение обмоток	Высшего напряжения	$U_{вн}$	<b>242</b>	кВ
	Низшего напряжения	$U_{нн}$	<b>15,75</b>	кВ
Сопротивление трансформатора		$r_T$	<b>0,00238</b>	Ом
		$x_T$	<b>0,109</b>	Ом
Параметр		Обозначение	Значение	Ед. изм.
Тип трансформатора			<b>ТРДС-25000/15,75</b>	
Обозначение на схеме			<b>ТСН1 ÷ ТСН4</b>	
Номинальная мощность		$S_{ном}$	<b>25000</b>	кВА
Коэффициент трансформации		$k_{тр}$	<b>0,04000</b>	о.е.
Напряжение обмоток	Высшего напряжения	$U_{вн}$	<b>15,75</b>	кВ
	Низшего напряжения	$U_{нн}$	<b>6,3/6,3</b>	кВ
Сопротивление обмоток трансформатора		$x_H$	<b>0,2380</b>	Ом
		$r_H$	<b>0,0073</b>	Ом
		$x_{\theta}$	<b>0,0477</b>	Ом

		$r_{\epsilon}$	<b>0,00365</b>	Ом
Параметр	Обозначение	Значение	Ед. изм.	
Тип трансформатора		<b>ТРДНС-32000/220</b>		
Обозначение на схеме		<b>ТСН-5</b>		
Номинальная мощность	$S_{ном}$	<b>32000</b>	кВА	
Коэффициент трансформации	$k_{тр}$	<b>0,02739</b>	о.е.	
Напряжение обмоток	Высшего напряжения	$U_{вн}$	<b>230</b>	кВ
	Низшего напряжения	$U_{нн}$	<b>6,3/6,3</b>	кВ
Сопротивление обмоток трансформатора	$x_{н}$	<b>0,1740</b>	Ом	
	$r_{н}$	<b>0,0058</b>	Ом	
	$x_{\epsilon}$	<b>0,0562</b>	Ом	
	$r_{\epsilon}$	<b>0,0029</b>	Ом	
Параметр	Обозначение	Значение	Ед. изм.	
Тип трансформатора		<b>ТРДНС-40000/220</b>		
Обозначение на схеме		<b>Т-5, Т-6</b>		
Номинальная мощность	$S_{ном}$	<b>40000</b>	кВА	
Коэффициент трансформации	$k_{тр}$	<b>0,0478</b>	о.е.	
Напряжение обмоток	Высшего напряжения	$U_{вн}$	<b>230</b>	кВ
	Низшего напряжения	$U_{нн}$	<b>11/11</b>	кВ
Сопротивление обмоток трансформатора	$x_{н}$	<b>0,4240</b>	Ом	
	$r_{н}$	<b>0,0129</b>	Ом	
	$x_{\epsilon}$	<b>0,1360</b>	Ом	
	$r_{\epsilon}$	<b>0,0645</b>	Ом	
Параметр	Обозначение	Значение	Ед. изм.	
Тип трансформатора		<b>ТРДЦН-160000/220</b>		
Обозначение на схеме		<b>Т-7, Т-8</b>		
Номинальная мощность	$S_{ном}$	<b>160000</b>	кВА	
Коэффициент трансформации	$k_{тр}$	<b>0,0478</b>	о.е.	
Напряжение обмоток	Высшего напряжения	$U_{вн}$	<b>230</b>	кВ
	Низшего напряжения	$U_{нн}$	<b>11/11</b>	кВ
Сопротивление обмоток трансформатора	$x_{н}$	<b>0,1060</b>	Ом	
	$r_{н}$	<b>0,0024</b>	Ом	
	$x_{\epsilon}$	<b>0,0340</b>	Ом	
	$r_{\epsilon}$	<b>0,0012</b>	Ом	

Параметр		Обозначение	Значение	Ед. изм.
Тип трансформатора			<b>ТРДНС-32000/220</b>	
Обозначение на схеме			<b>Т-9, Т-10</b>	
Номинальная мощность		$S_{ном}$	<b>32000</b>	кВА
Коэффициент трансформации		$k_{тр}$	<b>0,0478</b>	о.е.
Напряжение обмоток	Высшего напряжения	$U_{вн}$	<b>230</b>	кВ
	Низшего напряжения	$U_{нн}$	<b>11/11</b>	кВ
Сопротивление обмоток трансформатора		$x_H$	<b>0,5290</b>	Ом
		$r_H$	<b>0,0180</b>	Ом
		$x_B$	<b>0,1710</b>	Ом
		$r_B$	<b>0,0089</b>	Ом

### Автотрансформаторы

Параметр		Обозначение	Значение	Ед. изм.
Тип трансформатора			<b>АОДЦТН-267000/500/220</b>	
Обозначение на схеме			<b>АТ-11</b>	
Номинальная мощность		$S_{ном}$	<b>267000</b>	кВА
Коэффициент трансформации		СН-ВН	<b>0,46</b>	о.е.
		СН-НН	<b>6,28</b>	о.е.
Напряжение обмоток	Высшего напряжения	$U_{вн}$		кВ
	Среднего напряжения	$U_{вн}$		кВ
	Низшего напряжения	$U_{нн}$	<b>35</b>	кВ
Сопротивление обмоток трансформатора		$x_B$	<b>8,420</b>	Ом
		$r_B$	<b>0,058</b>	Ом
		$x_C$	<b>0,000</b>	Ом
		$r_C$	<b>0,000</b>	Ом
		$x_H$	<b>16,02</b>	Ом
		$r_H$	<b>0,058</b>	Ом

### Линии электропередачи

Параметр		Обозначение	Значение	Ед. изм.
Марка провода			<b>АС-500</b>	
Обозначение на схеме			<b>Л-1</b>	
Длина линии		$L$	<b>80</b>	км
Сопротивление линии		$r$	<b>5,20</b>	Ом
		$x$	<b>32,08</b>	Ом
Поперечная проводимость линии		$b$	<b>227,00</b>	Ом

Параметр	Обозначение	Значение	Ед. изм.
Марка провода		<b>АС-500</b>	
Обозначение на схеме		<b>Л-2</b>	
Длина линии	$L$	<b>200</b>	км
Сопротивление линии	$r$	<b>13,0</b>	Ом
	$x$	<b>80,2</b>	Ом
Поперечная проводимость линии	$b$	<b>568,0</b>	Ом
Параметр	Обозначение	Значение	Ед. изм.
Марка провода		<b>АС-300</b>	
Обозначение на схеме		<b>Л-3</b>	
Длина линии	$L$	<b>80</b>	км
Сопротивление линии	$r$	<b>8,64</b>	Ом
	$x$	<b>34,24</b>	Ом
Поперечная проводимость линии	$b$	<b>218,40</b>	Ом
Параметр	Обозначение	Значение	Ед. изм.
Марка провода		<b>АС-300</b>	
Обозначение на схеме		<b>Л-4</b>	
Длина линии	$L$	<b>70</b>	км
Сопротивление линии	$r$	<b>7,56</b>	Ом
	$x$	<b>29,69</b>	Ом
Поперечная проводимость линии	$b$	<b>191,10</b>	Ом
<b>Нагрузки</b>			
Параметр	Обозначение	Значение	Ед. изм.
Обозначение на схеме		<b>Н-А1 ÷ Н-В4</b>	
Активная мощность	$P_H$	<b>8,00</b>	МВт
Реактивная мощность	$Q_H$	<b>4,00</b>	Мвар
Доля мощности асинхронных двигателей	$D_{ac}$	<b>0,95</b>	
Параметр	Обозначение	Значение	Ед. изм.
Обозначение на схеме		<b>Н<sub>1</sub>, Н<sub>2</sub></b>	
Активная мощность	$P_H$	<b>35,00</b>	МВт
Реактивная мощность	$Q_H$	<b>12,00</b>	Мвар
Доля мощности асинхронных двигателей	$D_{ac}$	<b>0 ÷ 0,9</b>	
Параметр	Обозначение	Значение	Ед. изм.
Обозначение на схеме		<b>Н<sub>3</sub>, Н<sub>4</sub></b>	
Активная мощность	$P_H$	<b>150,00</b>	МВт
Реактивная мощность	$Q_H$	<b>59,00</b>	Мвар
Доля мощности асинхронных двигателей	$D_{ac}$	<b>0 ÷ 0,9</b>	
Параметр	Обозначение	Значение	Ед. изм.
Обозначение на схеме		<b>Н<sub>5</sub>, Н<sub>6</sub></b>	
Активная мощность	$P_H$	<b>20,00</b>	МВт
Реактивная мощность	$Q_H$	<b>9,00</b>	Мвар



Доля мощности асинхронных двигателей		<b>0 ÷ 0,9</b>	
<b>Асинхронные двигатели</b>			
Параметр	Обозначение	Значение	Ед. изм.
Номер двигателя		<b>1</b>	
Механическая постоянная инерции двигателя и механизма	$T_{дв}$	<b>0,80</b>	сек
Доля мощности асинхронных двигателей	$D_{ас}$	<b>0,95</b>	о.е.
Номинальный коэффициент мощности	$\cos \varphi_{ном}$	<b>0,80</b>	о.е.
Коэффициент загрузки	$k_{заг}$	<b>0,70</b>	о.е.
Статический момент сопротивления	$M_{ст}$	<b>0,20</b>	о.е.
Дополнительный момент сопротивления при трогании двигателя	$M_{трог}$	<b>0,10</b>	о.е.
Показатель степени зависимости реактивной мощности $X.X.$ от $U$	$k_m$	<b>4,00</b>	о.е.
Номинальное напряжение на шинах двигателей		<b>1,00</b>	о.е.
Максимальный момент	$M_{max}$	<b>1,70</b>	о.е.
Пусковой момент	$M_{пуск}$	<b>0,73</b>	о.е.
Пусковой ток	$I_{пуск}$	<b>4,10</b>	о.е.
Номинальное скольжение двигателя	$S_{дв ном}$	<b>2,00</b>	%
Скольжение начиная с которого вводится учет вытеснения тока в роторе	$S_r$	<b>70,00</b>	%
Параметр	Обозначение	Значение	Ед. изм.
Номер двигателя		<b>2</b>	
Механическая постоянная инерции двигателя и механизма	$T_{дв}$	<b>0,85</b>	сек
Доля мощности асинхронных двигателей	$D_{ас}$	<b>0,90</b>	о.е.
Номинальный коэффициент мощности	$\cos \varphi_{ном}$	<b>0,80</b>	о.е.
Коэффициент загрузки	$k_{заг}$	<b>0,70</b>	о.е.
Статический момент сопротивления	$M_{ст}$	<b>0,30</b>	о.е.
Дополнительный момент сопротивления при трогании двигателя	$M_{трог}$	<b>0,10</b>	о.е.
Показатель степени зависимости реактивной мощности $X.X.$ от $U$	$k_m$	<b>4,00</b>	о.е.
Номинальное напряжение на шинах двигателей		<b>1,00</b>	о.е.
Максимальный момент	$M_{max}$	<b>1,60</b>	о.е.
Пусковой момент	$M_{пуск}$	<b>0,75</b>	о.е.
Пусковой ток	$I_{пуск}$	<b>4,50</b>	о.е.
Номинальное скольжение двигателя	$S_{дв ном}$	<b>1,80</b>	%
Скольжение начиная с которого вводится учет вытеснения тока в роторе	$S_r$	<b>70,00</b>	%

### *Задание на работу*

1. Изначально, считаем, что на всех генераторах установлены СВ с АРВ СД.
2. Коэффициенты усиления каналов АРВ принимаем  $k_{0U}=50$ ;  $k_{1U}=10$ ;  $k_{0f}=5$ ;  $k_{1f}=5$ .
3. В данной работе необходимо варьировать уставкой АРС турбины ( $\omega_0$ ) в пределах 2-5% от исходного значения, равного номинальному значению. Рекомендуемый шаг составляет 1%.
4. Очень важно разделять изменения уставки паузами 10-12 секунд, для того чтобы дать возможность автоматике отработать изменения, а также для наглядности исследования.
5. Выполнить исследование при коротком замыкании на шинах: 1) электростанции; 2) ПС 1; 3) ПС 3.

### *Наблюдаемые параметры*

1. Действующие значения напряжений на всех шинах энергосистемы.
2. Вырабатываемая активная и реактивная мощности всех генераторов и нагрузок.
3. Относительные углы между напряжениями генератора Г1 и остальными генераторами электростанции.
4. Частота в узлах ПС 1, ПС 2, ПС 3.