

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

В. И. Готман

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

по дисциплине

***Электромагнитные переходные процессы
в электроэнергетических системах***

Для бакалавров направления 140400 «Электроэнергетика и электротехника»

Профили : 1. Электроэнергетические системы и сети;

2. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем;

3. Электрические станции

Томск 2012

Готман В.И.

Задание на курсовое проектирование по дисциплине «Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах»
/ В.И.Готман – Томск: Томский политехнический университет, 2012г.– 95 с.

Тематика курсовой работы связана с расчетом и анализом режимов трехфазного, несимметричного коротких замыканий и продольной несимметрии в электрических системах. Представлено 25 индивидуальных заданий, для которых сформулирован перечень решаемых задач, приведены принципиальные схемы энергосистем и необходимые справочные материалы по силовому оборудованию, даны краткие методические указания по курсовой работе.

Задание предназначено для бакалавров направления 140400 «Электроэнергетика и электротехника», обучающихся по профилю: «Электроэнергетические системы и сети; «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем; «Электрические станции» и студентов ИДО, обучающихся по специальностям: «Электроэнергетические системы и сети; «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем; «Электрические станции»

Рекомендовано методическим семинаром кафедры «Электрических сетей и электротехники»
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ТПУ

Томск 2012

КУРСОВАЯ РАБОТА

1. Выбор варианта оформления записки

Тематика курсовой работы связана с расчетом и анализом режимов трехфазного, несимметричного коротких замыканий и продольной несимметрии в электрических системах. Целью работы является усвоение студентами практических методов расчета основных параметров тока и остаточных напряжений при возникновении в энергосистеме поперечной и продольной несимметрий. При этом ставятся задачи закрепления и углубления теоретических знаний, полученных при изучении дисциплины, выработки умения применять эти знания для решения инженерных задач, развития навыков самостоятельной творческой работы, умения работы с технической литературой.

Выбор задания на выполнение курсовой работы осуществляется **по двум кодовым числам**.

Первое число определяет номер индивидуального задания, для которого под тем же номером приведена расчетная схема упрощенной энергосистемы (выбирается по табл. 1).

Таблица 1

Выбор номера задания и схемы

№ Схемы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Первая буква фамилии	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К	Л	М	Н
№ Схемы	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Первая буква фамилии	О	П	Р	С	Т	У	Ф,Ч	Х	Ш, Ц	Э, Щ	Ю	Я	

Второй кодовый номер [последняя цифра номера зачетной книжки (0-9)] определяет вариант параметров электрооборудования по табл. 7-18.

При наличии в группе (дневной формы обучения) двух и более студентов, фамилии которых начинаются с одной и той же буквы, **преподавателю рекомендуется** назначить таким студентам не совпадающие варианты задания из числа свободных.

Пояснительная записка может быть выполнена как на компьютере (текстовый редактор *Word 7.0, Word 200*; шрифт *Times New Roman* размер 14pt, интервал междустрочный – одинарный. Формулы **желательно** набирать в редакторе *MathType*), так и в рукописном варианте. На титульном листе указывается кодовые номера задания.

В начале пояснительной записки размещается принципиальная схема, параметры оборудования энергосистемы и приводится полная формулировка задания.

Решению каждого вопроса задания должна предшествовать его формулировка, а далее собственно решение, которое содержит:

- схемы замещения и этапы их преобразования;

- краткие пояснения к проводимым действиям (решению);
- расчетные формулы в общем виде с подстановкой цифровых значений параметров и результат с указанием размерности; при однотипных расчетах допускается приводить расчетное выражение и результат;
- в конце записки привести список источников информации; в начале записки – оглавление.

2. Методические указания по выполнению курсовой работы

2.1. Общие допущения

1. Расчеты режимов рекомендуется выполнить при **приближенном учете** коэффициентов трансформации, используя рекомендуемые *средние номинальные напряжения ступеней трансформации* $U_{\text{ср.ном}i} \approx 1.05 U_{\text{ном}i}$:

6.3; 10.5; 13.8; 15.75; 37.0; 115; 230; 515 (кВ).

Номинальные напряжения всех элементов, находящихся на одной ступени, считать одинаковыми и равными $U_{\text{ср.}}$ этой ступени.

2. Расчеты провести в системе **именованных единиц**. По рекомендации преподавателя некоторые студенты могут использовать **систему относительных единиц** (в этом случае конечные результаты расчета должны быть представлены в именованных единицах на соответствующих ступенях напряжения).

3. Расчет периодической составляющей тока КЗ для времени $t \neq 0$ выполняется по типовым кривым; апериодическая составляющая тока КЗ определяется приближенно.

4. Загруженность генераторов и синхронных двигателей в нормальном режиме считать номинальной.

5. Активным сопротивлением силовых элементов схемы и емкостной проводимостью ЛЭП пренебречь.

6. Для всех воздушных ЛЭП, имеющих две и более параллельных цепей, необходимо учесть взаимную реактивность нулевой последовательности, которая приведена в табл.12. В частных случаях особые условия оговорены непосредственно в задании.

7. Для генераторов рекомендуется принимать $x_{Г2} \approx x_d''$, что позволяет считать результирующую реактивность для схем прямой и обратной последовательностей одинаковыми. Это справедливо как для поперечной, так и продольной несимметрий $x_{2\Sigma} = x_{1\Sigma}$.

2.2. Расчет параметров схемы замещения

2.2.1. При использовании система именованных единиц рекомендуется:


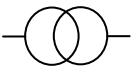
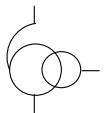
1. В качестве основной ступени трансформации, к которой приводятся параметры всех элементов схемы для создания электрической схемы замещения, можно принять любую; рекомендуется за основную принимать ступень, на которой указано КЗ или продольная несимметрия.

2. При проведении вычислительных действий с x , U , I в качестве контроля правильности следует руководствоваться следующим правилом: при приведении (пересчете) сопротивления (x) со ступени низкого напряжения на ступень высокого напряжения оно увеличивается в k_T^2 раз, напряжение (U) увеличивается в k_T раз, а ток (I) уменьшается в k_T раз, где коэффициент трансформации $k_T = U_B / U_H > 1$. И наоборот при пересчете параметров с высокой на низкую ступень.

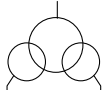
В табл. 2 приведены основные выражения системы именованных единиц при расчете параметров схемы замещения (приближенное приведение параметров).

Таблица 2

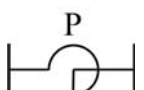
Расчетные выражения для приближенного приведения параметров энергосистем в именованных единицах

1. 	Генератор, синхронный двигатель (СД), асинхронный двигатель (АД) x_d'' (о.е.), S_H (МВА), U_H (кВ), I_H (кА), $\cos\varphi_H$ (о.е.) Для СД и АД задан $I_{\text{пуск}}$ (о.е.), тогда $x'' = 1 / I_{\text{пуск}}$ (о.е.)
$x_G = x_d'' \frac{U_H^2}{S_H}$ – приведенное к ступени напряжения СГ, СД, АД; $E_G'' = \sqrt{(U_H \cos\varphi_H)^2 + (U_H \sin\varphi_H \pm \sqrt{3} I_H x_G)^2}$ – ЭДС приведенная к ступени СГ, СД, АД; (знак «+» соответствует СГ и СД в режиме перевозбуждения; знак «-» соответствует АД, а также СГ и СД в режиме недо возбуждения); $E_{\text{(осн.)}}'' = E_G'' (U_{\text{ср(осн.)}} / U_{\text{ср(Г)}})$ – ЭДС приведенная к основной ступени ($U_{\text{ср(осн.)}}$); $x_{G(\text{осн.})} = x_G \left(\frac{U_{\text{ср(осн.)}}}{U_{\text{ср(Г)}}} \right)^2$ – приведенное к основной ступени ($U_{\text{ср(осн.)}}$); где $U_{\text{ср(Г)}}$ – среднее номинальное напряжение ступени СГ, СД, АД;	
2. 	Трансформатор двухобмоточный $U_K\%$, S_H (МВА), U_H (кВ)
$x_{T(\text{осн.})} = \frac{U_K\% U_{\text{ср(осн.)}}^2}{100 S_H}$ – приведенное к основной ступени ($U_{\text{ср(осн.)}}$);	
3. 	Трансформаторы трехобмоточные или автотрансформаторы $U_B / U_C / U_H$ (кВ), S_H (МВА); $U_{K(B-C)\%}$, $U_{K(B-H)\%}$, $U_{K(C-H)\%}$

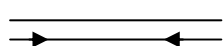
$U_{K(B)}\% = 0.5[U_{K(B-C)} + U_{K(B-H)} - U_{K(C-H)}];$	$x_{TB(осн.)} = \frac{U_{K(B)}\% U_{ср(осн.)}^2}{100 S_H};$
$U_{K(C)}\% = 0.5[U_{K(B-C)} + U_{K(C-H)} - U_{K(B-H)}];$	$x_{TC(осн.)} = \frac{U_{K(C)}\% U_{ср(осн.)}^2}{100 S_H};$
$U_{K(H)}\% = 0.5[U_{K(B-H)} + U_{K(C-H)} - U_{K(B-C)}];$	$x_{TH(осн.)} = \frac{U_{K(H)}\% U_{ср(осн.)}^2}{100 S_H} -$
приведенные к основной ступени $U_{ср(осн.)}$;	

4.	Трансформатор с расщепленной обмоткой
	U_{BH} (кВ); $U_{HH1} = U_{HH2}$ (кВ); S_H (МВА); $U_{K(B-H)}\%$

$x_{TB(осн.)} = \frac{U_{K(B-H)}\%}{100} \left(1 - \frac{K_p}{4}\right) \frac{U_{ср(осн.)}^2}{S_H};$
$x_{TH1(осн.)} = x_{TH2(осн.)} = \frac{U_{K(B-H)}\% K_p}{100} \frac{U_{ср(осн.)}^2}{2 S_H} -$
приведенные к основной ступени ($U_{ср(осн.)}$); $K_p = 3,5$ – коэффициент расщепления

5.	Реактор токоограничивающий
	S_H (МВА); U_H (кВ); I_H (кА); x_p (Ом);
	Иногда в справочнике приводят $x_p \%$

$x_p = \frac{x_p\% U_H}{100\sqrt{3} I_H} = \frac{x_p\% U_H^2}{100 S_H} -$ приведенное к ступени напряжения реактора (U_H),
$x_{p(осн.)} = x_p \left(\frac{U_{ср(осн.)}}{U_{ср(p)}}\right)^2 -$ приведенное к основной ступени ($U_{ср(осн.)}$);
где $U_{ср(p)}$ – среднее номинальное напряжение ступени реактора;

6.	Воздушные и кабельные линии (ВЛ); (КЛ)
	$x_{Л(0)}$ (Ом/км); $r_{Л(0)}$ (Ом/км), L (км); U_H (кВ),

$x_{Л} = x_{Л(0)} L; \quad r_{Л} = r_{Л(0)} L$ – приведенные к ступени напряжения ВЛ ($U_{н}$); $x_{Л(осн.)} = x_{Л} \left(\frac{U_{ср(осн.)}}{U_{ср(Л)}} \right)^2; \quad r_{Л(осн.)} = r_{Л} \left(\frac{U_{ср(осн.)}}{U_{ср(Л)}} \right)^2$ – приведенные к основной ступени ($U_{ср(осн.)}$); где $U_{ср(Л)}$ – среднее номинальное напряжение ступени ВЛ , КЛ ;	
7. 	Система E_c (кВ) – ЭДС, соответствующая ступени напряжения системы $U_{н}$ $S_{кз}$ (МВА) – Мощность трехфазного КЗ
$x_c = \frac{E_c^2}{S_{кз}}$ – приведенное к ступени напряжения Системы ($U_{н}$); $x_{c(осн.)} = \frac{E_c^2}{S_{кз}} \left(\frac{U_{ср(осн.)}}{U_{ср(с)}} \right)^2$ – приведенное к основной ступени ($U_{ср(осн.)}$); $E_{c(осн.)} = E_c \left(U_{ср(осн.)} / U_{ср(с)} \right)$ – ЭДС приведенная к основной ступени $U_{ср(осн.)}$; где $U_{ср(с)}$ – среднее номинальное напряжение ступени Системы ;	

2.2.2. При использовании система относительных единиц рекомендуется:

1. Пронумеровать ступени трансформации, принимая ступень КЗ за первую.


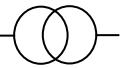
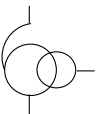
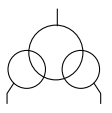
2. Принять мощность $S_{б}$. Базисная мощность едина для всей схемы, выбирается величиной произвольной из условий упрощения вычислительных действий; рекомендуется принимать $S_{б}=100$ или $S_{б}=1000$ МВА.

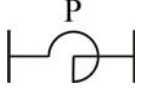
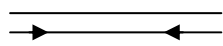

3. Базисные напряжения ступеней ($U_{бi}$) принять согласно стандартного ряда (приведен ранее); базисные токи для ступеней трансформации i рассчиты-

тать по формуле $I_{бi} = \frac{S_{б}}{\sqrt{3} U_{бi}}$.

3. Рассчитать относительные параметры элементов схемы замещения на базе выражений для приближенного приведения параметров табл. 3.

**Расчетные выражения для приближенного приведения параметров
энергосистем в относительных единицах**

1. 	Генератор, синхронный двигатель (СД), асинхронный двигатель (АД) x''_d (о.е.), S_H (МВА), U_H (кВ), I_H (кА), $\cos\varphi_H$ (о.е.) Для СД и АД задан $I_{\text{пуск}}$ (о.е.), тогда $x'' = 1 / I_{\text{пуск}}$ (о.е.)
$x_{*Г(б)} = x''_d \frac{S_б}{S_H}; U_{*H} = U_H / U_б; I_{*H} = I_H / I_б;$ $E_{*(б)} = \sqrt{(U_{*H} \cos\varphi_H)^2 + (U_{*H} \sin\varphi_H \pm I_{*H} x_{*(б)})^2}$ (знак «+» соответствует СГ и СД в режиме перевозбуждения; знак «-» соответствует АД, а также СГ и СД в режиме недовозбуждения); где $I_б = S_б / \sqrt{3} U_б$ – базисный ток на генераторной ступени (кА); $U_б = U_{\text{ср}(Г)}$ – базисное, т.е. среднее номинальное напряжение ступени СГ, СД, АД;	
2. 	Трансформатор двухобмоточный $U_K\%$, S_H (МВА), U_H (кВ)
$x_{*Т(б)} = \frac{U_K\% S_б}{100 S_H};$	
3. 	Трансформаторы трехобмоточные или автотрансформаторы $U_B / U_C / U_H$ (кВ), S_H (МВА); $U_{K(B-C)}\%$, $U_{K(B-H)}\%$, $U_{K(C-H)}\%$
$U_{K(B)}\% = 0.5 [U_{K(B-C)} + U_{K(B-H)} - U_{K(C-H)}];$ $x_{*ТВ(б)} = \frac{U_{K(B)}\% S_H}{100 S_H};$ $U_{K(C)}\% = 0.5 [U_{K(B-C)} + U_{K(C-H)} - U_{K(B-H)}];$ $x_{*ТC(б)} = \frac{U_{K(C)}\% S_б}{100 S_H};$ $U_{K(H)}\% = 0.5 [U_{K(B-H)} + U_{K(C-H)} - U_{K(B-C)}];$ $x_{*ТH(б)} = \frac{U_{K(H)}\% S_б}{100 S_H};$	
4. 	Трансформатор с расщепленной обмоткой U_{BH} (кВ); $U_{HH1} = U_{HH2}$ (кВ); S_H (МВА); $U_{K(B-H)}\%$

$x_{*TB(\delta)} = \frac{U_{K(B-H)}\%}{100} \left(1 - \frac{K_p}{4}\right) \frac{S_{\delta}}{S_H}; \quad x_{*TH1(\delta)} = x_{*TH2(\delta)} = \frac{U_{K(B-H)}\% K_p}{100} \frac{S_{\delta}}{2 S_H};$	
где $K_p = 3,5$ – коэффициент расщепления	
5. 	Реактор токоограничивающий S_H (МВА); U_H (кВ); I_H (кА); x_p (Ом); Иногда в справочнике приводят $x_p\%$
$x_{*p(\delta)} = \frac{x_p\% I_{\delta}}{100 I_H} = \frac{x_p\% S_{\delta}}{100 S_H} \quad \text{— для } x_p, \text{ заданного в } \%$ $x_{*p(\delta)} = \frac{x_p \sqrt{3} I_{\delta}}{U_{\delta}} = \frac{x_p S_{\delta}}{U_{\delta}^2} \quad \text{— для } x_p, \text{ заданного в (Ом);}$ где $I_{\delta} = S_{\delta} / \sqrt{3} U_{\delta}$ – базисный ток на ступени реактора (кА); $U_{\delta} = U_{cp(p)}$ – базисное, т.е. среднее номинальное напряжение ступени реактора;	
6. 	Воздушные и кабельные линии (ВЛ); (КЛ) $x_{Л(0)}$ (Ом/км); $r_{Л(0)}$ (Ом/км), L (км); U_H (кВ),
$x_{*Л(\delta)} = x_{Л(0)} L \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2}; \quad r_{*Л(\delta)} = r_{Л(0)} L \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2};$ где $U_{\delta} = U_{cp(л)}$ – базисное, т.е. среднее номинальное напряжение ступени ВЛ, КЛ ;	
7. 	Система E_c (кВ) – ЭДС, соответствующая ступени напряжения системы U_H $S_{кз}$ (МВА) – Мощность трехфазного КЗ
$x_{*c(\delta)} = \frac{E_c^2}{S_{кз}} \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2};$ где $U_{\delta} = U_{cp(c)}$ – базисное, т.е. среднее номинальное напряжение ступени Системы	

Примечание к Таблице 3

1. В приведенных формулах номинальные величины (U_H, I_H) и базисные (U_{δ}, I_{δ}) должны относиться к одной и той же ступени трансформации.

2.3. Общие рекомендации по расчету режимов КЗ

Режимы КЗ. С целью упрощения расчета режимов трехфазного и несимметричного КЗ вполне приемлемо считать, что ЭДС всех источников питания (генераторы, система, синхронные двигатели) имеют равные фазы, т.е. отсутствует сдвиг фаз. В этих условиях ток КЗ является чисто реактивным. Фазу ЭДС отдельных и эквивалентного источника удобно принять 90° , т.е. $E_i = jE_i$. При наличии в схеме только реактивных сопротивлений jx ток является вещественным (с нулевой фазой) $I = jE_i / \sqrt{3}jx$, что существенно облегчает анализ режимов. Распределение тока между двумя параллельными ветвями рассчитывается по выражениям табл. 4 (в частном случае могут отсутствовать одна или обе ЭДС; для фазных значений ЭДС ($E_{\phi i}$) и системы относительных единиц отсутствует $\sqrt{3}$).

Таблица 4

Формулы распределения тока двух параллельных ветвей

Схема	Расчетные выражения
	$I_1 = \frac{I_{12}x_2 + (E_1 - E_2)/\sqrt{3}}{x_1 + x_2}$ $I_2 = \frac{I_{12}x_1 + (E_2 - E_1)/\sqrt{3}}{x_1 + x_2}$

2.3.1. Расчет основных параметров $K^{(3)}$ для $t = 0$

При расчете параметров КЗ в сложной схеме нужно максимально использовать наличие в ней лучевой структуры. Результирующий ток в этом случае целесообразно представлять суммой токов независимых лучей схемы.

- Начальное (сверхпереходное) значение периодического тока КЗ для $t = 0$ определяется по одному из следующих выражений:

при использовании системы именованных единиц

$$I_{(0)\Sigma} = \frac{E_{\Sigma}}{\sqrt{3}x_{\Sigma}} \text{ (кА)} \quad \text{или} \quad I_{(0)\Sigma} = \sum \frac{E_i}{\sqrt{3}x_i} \text{ (кА)};$$

при использовании системы относительных единиц

$$I_{(0)\Sigma} = \frac{E_{*\Sigma(6)}}{x_{*\Sigma(6)}} I_6 \text{ (кА)}, \quad \text{или} \quad I_{(0)\Sigma} = I_6 \sum \frac{E_{*i(6)}}{x_{*i(6)}} \text{ (кА)},$$

где E_{Σ} , x_{Σ} – результирующие параметры схемы относительно узла КЗ, приведенные к напряжению ступени КЗ;

E_i, x_i – результирующие параметры отдельных ветвей в многолучевой схеме, приведенные к $U_{кз}$;

I_{σ} – базисный ток, соответствующий напряжению ступени КЗ $U_{кз}$.

- Мощность короткого замыкания определяется по формуле: для системы именованных единиц

$$S_K = \sqrt{3} I_{(0)\Sigma} U_{cp} \text{ (МВА) },$$

где $I_{(0)\Sigma}$ и U_{cp} относятся к одной и той же ступени трансформации;

для системы относительных единиц

$$S_K = I_{*(0)\Sigma} S_{\sigma} \text{ (МВА) } .$$

- Ударный ток КЗ, рассчитываемый по единому ударному коэффициенту схемы, определяется выражением

$$i_y = \sqrt{2} I_{(0)\Sigma} K_y .$$

- Аперриодический ток короткого замыкания для времени t рассчитывается так:

$$i_{at} = \sqrt{2} I_{(0)\Sigma} e^{-t/T_a} ,$$

где T_a – эквивалентная постоянная времени для всей схемы.

Значения T_a, K_y принимаются по табл. 5.

Таблица 5

Значения K_y и T_a для наиболее часто встречающихся элементов ЭЭС

Место короткого замыкания и характеристика сети	T_a, c	K_y
1. Сборные шины 6-10 кВ станций с генераторами мощностью 30-60 МВт	0.127-0.254	1.92-1.96
2. За линейным реактором до 1000 А, присоединенным к сборным шинам по п. 1	0.0634-0.191	1.85-1.95
3. Сборные шины повышенного напряжения станций с трансформаторами мощностью 100 МВА и выше	0.0955-0.191	1.89-1.95
4. То же с трансформаторами 30-100 МВА	0.0634-0.159	1.85-1.94
5. Сборные шины вторичного напряжения подстанций с трансформаторами мощностью 100 МВА и выше; сопротивление трансформаторов составляет 90% и выше результирующего сопротивления до места КЗ	0.0634-0.127	1.85-1.92
6. То же с трансформаторами 30-100 МВА	0.048-0.0955	1.81-1.89
7. Распределительные сети 6-10 кВ	0.01	1.869
8. Ветви, защищаемые реактором с номинальным током 630 А и ниже	0.1	1.904

9. Турбогенераторы мощностью: 100-1000 МВт; 12-60 МВт	0.4-0.54; 0.16-0.25	1.975-1.98; 1.94-1.955
10. Блоки, состоящие из турбогенератора и повышающего трансформатора, при мощности генератора: 100-200 МВт; 300 МВт; 500 МВт; 800 МВт	0.26; 0.32; 0.35; 0.30	1.965; 1.977; 1.983; 1.967
11. Система, связанная с шинами, где рассматривается КЗ, воздушными линиями, напряжением: 35 кВ; 110-150 кВ; 220-330 кВ; 500-750 кВ	0.02; 0.02-0.03; 0.03-0.04; 0.06-0.08	1.608; 1.608-1.717; 1.717-1.78; 1.85-1.895

2.3.2. Расчет периодического тока $K^{(3)}$ для $t \neq 0$

С течением времени периодический ток КЗ, обусловленный генератором с АРВ, изменяется. Характер этого изменения зависит от удаленности КЗ и момента времени. Для близких КЗ начальный ток $I_{Г(0)}$ в последующем вплоть до установившегося значения $I_{Г(\infty)}$ имеет затухающий характер. Для средней и особенно большой удаленности начальный ток после некоторого затухания начинает возрастать под действием АРВ (рис. 1). В практических расчетах учет фактора времени и удаленности источника на периодическую слагаемую осуществляется по *типовым расчётным кривым*.

Периодический ток $I_{Гt}$ для времени t определяется по соотношению

$$I_{Гt} = \gamma_{Гt} I_{Г(0)},$$

в котором $\gamma_{Гt}$ (о.е.) представляет коэффициент затухания и находится по *типовым расчётным кривым*. Предварительно рассчитывается *условная электрическая удаленность точки КЗ* (она представляет ток КЗ для $t = 0$ ($I_{Г(0)}$), выраженный в относительных единицах на базе номинального тока генератора $I_{Г(НОМ)}$)

$$I_{*Г(0)НОМ} = I_{Г(0)} / I_{Г(НОМ)}$$

(токи $I_{Г(0)}$, $I_{Г(НОМ)}$ должны относиться к одной и той же ступени напряжения).

По параметру $I_{*Г(0)НОМ}$ на рис.1. выбирается соответствующая расчетная кривая (одна из 8-и) и для заданного времени t на оси абсцисс принимают $\gamma_{Гt}$.

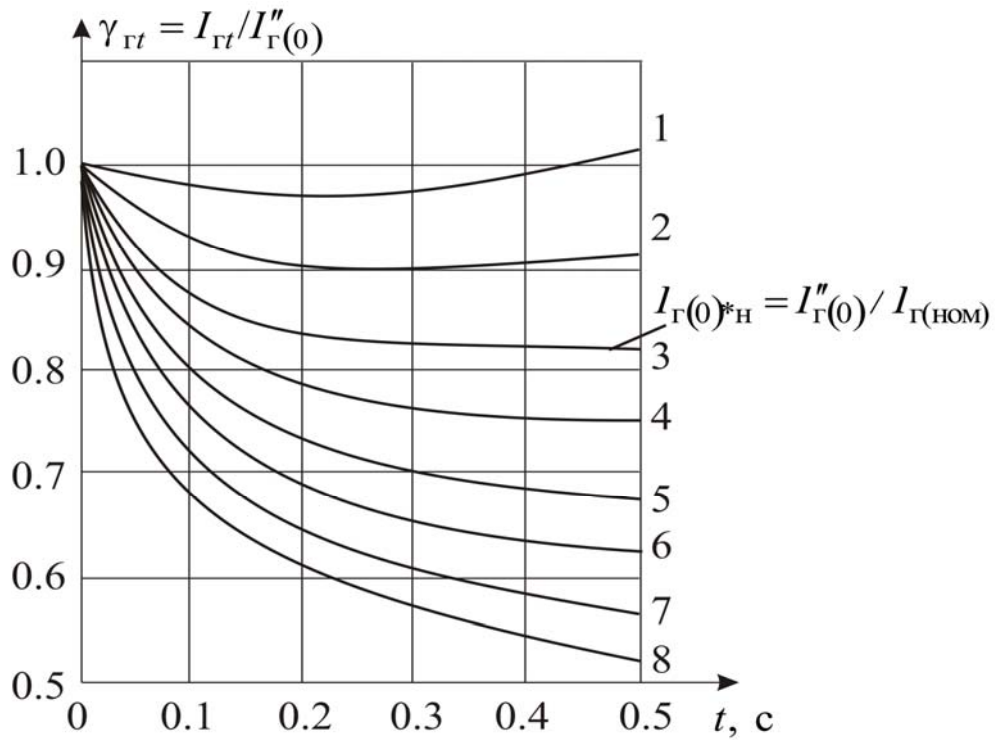


Рис. 1. Графики изменения коэффициента затухания тока синхронных генераторов γ_t в функции t для различных удаленностей узла КЗ

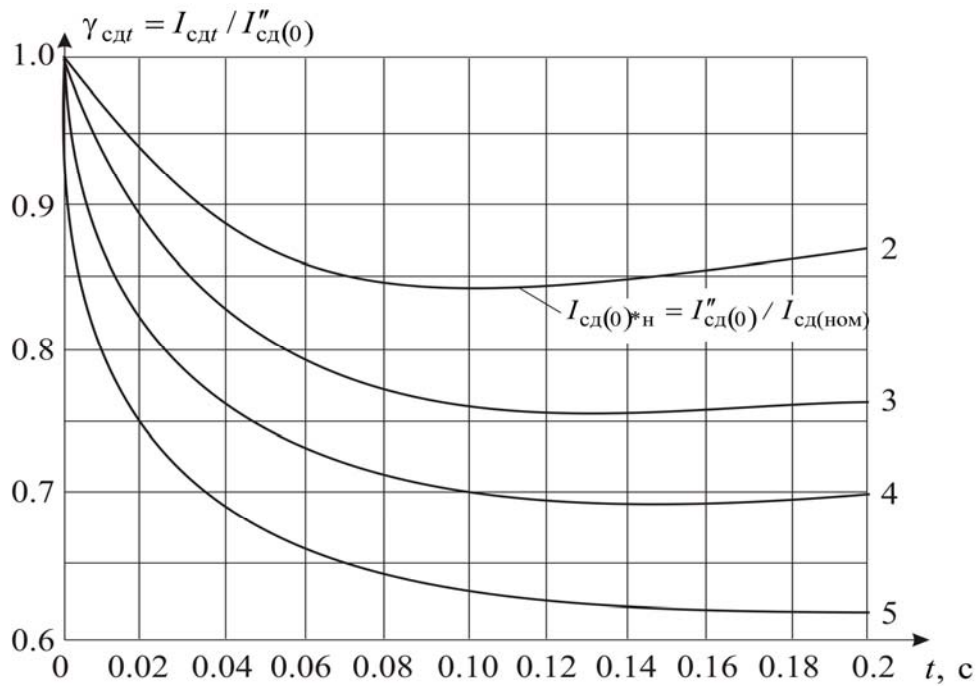


Рис. 2. Графики изменения коэффициента затухания тока синхронных двигателей γ_t в функции t для различных удаленностей узла КЗ

2.3.3. Расчет периодического тока $K^{(3)}$ для $t = \infty$

Параметры синхронного генератора с АРВ и расчетные выражения для нахождения тока при $t = \infty$ ($I_{\Gamma(\infty)}$) зависят от режима работы генератора в установившемся режиме КЗ. Возможны два режима: режим *номинального напряжения* и режим *предельного возбуждения*. Режим определяется *критической реактивностью* $x_{кр}$

$$x_{кр} = \frac{x_d}{(E_{*пр} - 1)}.$$

Это выражение справедливо для именованных (относительных) единиц; для именованных единиц $x_{кр}$ будет автоматически приведено к ступени, к которой приведено x_d . Далее находится соотношение между $x_{кр}$ и $x_{кз}$ ($x_{кз}$ – фактическая удаленность КЗ, т.е. *сопротивление между точкой КЗ и шинами генератора*).

1. При малой удаленности КЗ, когда справедливо условие $x_{кз} < x_{кр}$, генератор работает в режиме *предельного возбуждения* и ток $I_{\Gamma(\infty)}$ на ступени, к которой приведены x_d , $x_{кз}$ и $U_{нг}$, рассчитывается по выражению

$$I_{\Gamma(\infty)} = E_{пр} / \sqrt{3} (x_d + x_{кз}),$$

где $E_{пр} = E_{*пр} U_{нг}$.

Для системы относительных единиц $I_{\Gamma(\infty)} = [E_{*пр} / (x_{*d(б)} + x_{*кз(б)})] I_б$ (кА),

где $I_б$ – базисный ток ступени КЗ.

2. При удаленном КЗ ($x_{кз} > x_{кр}$) генератор работает в режиме *номинального напряжения*, т. е. $U_{г} = U_{нг}$ и ток $I_{\Gamma(\infty)}$ на ступени, к которой приведены $x_{кз}$ и $U_{нг}$, рассчитывается по выражению

$$I_{\Gamma(\infty)} = U_{нг} / \sqrt{3} x_{кз}, \quad [\text{для системы о.е. } I_{\Gamma(\infty)} = (U_{*нг(б)} / x_{*кз(б)}) I_б \text{ (кА)}].$$

2.3.4. Расчет несимметричных КЗ

Расчет несимметричных КЗ основывается на методе симметричных составляющих. *Интересуемые параметры* по месту несимметричных коротких замыканий *пропорциональны току прямой последовательности*. В свою очередь, ток прямой последовательности определяется на основе *правила эквивалентности прямой последовательности*.

При анализе поперечной несимметрии на базе именованных единиц целесообразно для ЭДС, напряжений и падений напряжения использовать фазные значения; при этом в расчетных выражениях с участием E , U , ΔU отсутствует $\sqrt{3}$. В приведенных ниже расчетных выражениях

для $K^{(n)}$ на базе именованных единиц E и U считаются междуфазными (линейными)

Отметим некоторые особенности расчета несимметричных КЗ.

1. **Схему замещения и сопротивления прямой последовательности** следует позаимствовать из расчета $K^{(3)}$; из этой схемы находим $E_{1\Sigma}$ и $x_{1\Sigma}$ относительно узла КЗ.

2. **Схему обратной последовательности** считают совпадающей с схемой прямой последовательности, принимая в ней все ЭДС равными нулю и $x_{2\Sigma} = x_{1\Sigma}$.

3. **Схема нулевой последовательности** и ее параметры существенно отличаются от схемы прямой последовательности; конфигурация схемы определяется, главным образом, местом расположения трансформаторов и схемой соединения их обмоток.

С целью снижения токов несимметричных коротких замыканий в нейтраль трансформатора может быть включен реактор с сопротивлением x_N . В этом случае для схемы нулевой последовательности трансформатора следует придерживаться правила: *сопротивление, через которое заземлена нейтраль трансформатора, вводится в схему утроенной величиной ($x_{N(0)} = 3x_N$) и располагается последовательно с сопротивлением той обмотки, в нейтрали которой оно установлено.*

Автотрансформаторы в соответствии с их конструктивной особенностью имеют общую нейтраль для обмотки высокого и среднего напряжения, которая всегда заземлена. Схема замещения автотрансформатора с заземленной нейтралью через реактивность x_N представляет **особый случай и вышеуказанное правило здесь неприменимо**. Особенности имеет расчет тока в нейтрали автотрансформатора. Необходимые сведения по этому вопросу изложены [1,2,3 разд. 6.2.3], [5 разд.12-6], [6 разд.13-7], [7 задача 6-34, с. 326].

Для воздушных (кабельных) линий сопротивление нулевой последовательности $x_{л(0)}$ существенно отличается от сопротивления прямой $x_{л(1)}$ последовательности; дополнительное влияние на $x_{л(0)}$ оказывает глухозаземленный грозозащитный трос (при его наличии). Для одноцепных ВЛ в практических расчетах можно пользоваться соотношением:

$$x_{л(0)} = k_{(0-1)} x_{л(1)}, \text{ где } k_{(0-1)} \text{ принимают по табл. 6}$$

Таблица 6

Исполнение воздушной линии электропередачи	$k_{(0-1)} = x_0 / x_1$
Одноцепная линия без троса	3.5
Одноцепная линия со стальным тросом	3.0
Одноцепная линия с хорошо проводящим тросом	2.0

Две воздушные линии электропередачи, расположенные на одной опоре или на разных опорах, но в одном коридоре обладают взаимной индуктивностью при протекании токов нулевой последовательности. Такие электропередачи представляют воздушный трансформатор, обмотками которого служат провода линии. Ниже приведены две характерные схемы двухцепных электропередач, соответствующие им схемы замещения и расчетные выражения для реактивностей нулевой последовательности в зависимости места расположения повреждения.

Обратимся к двухцепной ВЛ (рис.3,а) протяженностью L , для которой известна погонная взаимная реактивность $x_{(0)I-II}$ между первой $ЛI$ и второй $ЛII$ цепями.

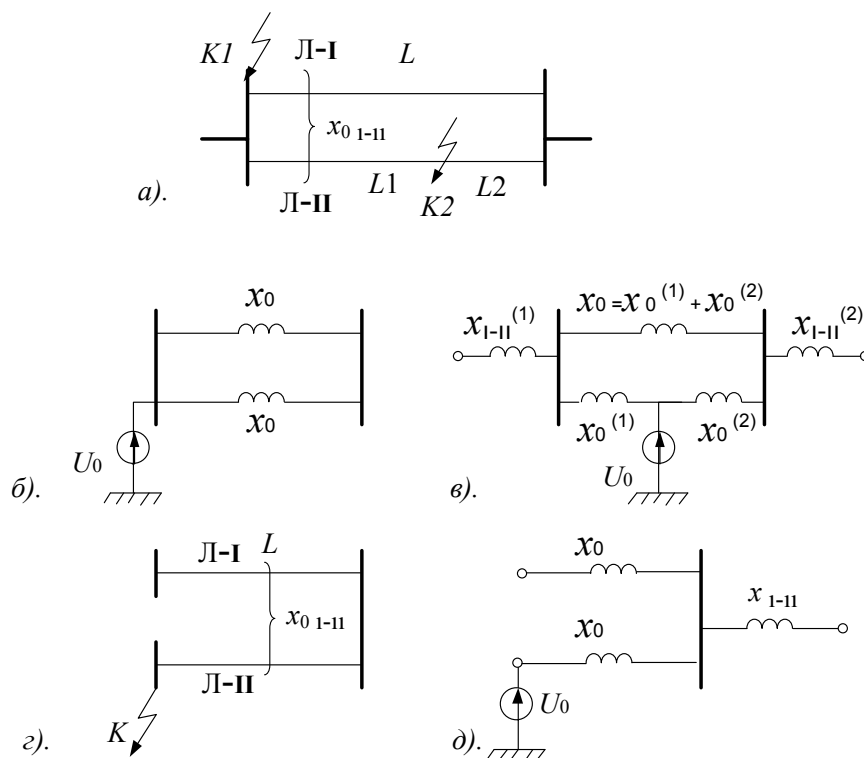


Рис. 3. Схемы замещения нулевой последовательности двухцепных ВЛ

При коротком замыкании на шинах в точке KI имеем соответствующую схему замещения нулевой последовательности рис.3,б. Сопротивление нулевой последовательности каждой цепи x_0 определится выражением

$$x_0 = k_{(0-1)}x_1 + x_{I-II},$$

где x_1 – сопротивление прямой последовательности цепи;

$x_{I-II} = L x_{(0)I-II}$ – сопротивление взаимной индукции между цепями;

$k_{(0-1)}$ – учитывает взаимную индукцию между фазами одной цепи и влияние троса (табл. 6).

При несимметрии в точке К2 второй цепи (*ЛII*) имеем схему рис.3,в. Реактивности этой схемы определяются выражениями (*верхний индекс указывает номер участка*):

$$\mathbf{x}_0^{(1)} = k_{(0-1)}\mathbf{x}_1^{(1)} - \mathbf{x}_{1-II}^{(1)}; \quad \mathbf{x}_0^{(2)} = k_{(0-1)}\mathbf{x}_1^{(2)} - \mathbf{x}_{1-II}^{(2)}; \quad \mathbf{x}_0 = \mathbf{x}_0^{(1)} + \mathbf{x}_0^{(2)},$$

где $\mathbf{x}_1^{(1)}$, $\mathbf{x}_0^{(1)}$ – реактивности прямой и нулевой последовательностей первого участка, протяженностью *L1*; $\mathbf{x}_1^{(2)}$, $\mathbf{x}_0^{(2)}$ – второго, протяженностью *L2*;

$\mathbf{x}_{1-II}^{(1)}$, $\mathbf{x}_{1-II}^{(2)}$ – сопротивление взаимной индукции между цепями первого (*L1*) и второго (*L2*) участков;

$\mathbf{x}_0 = \mathbf{x}_0^{(1)} + \mathbf{x}_0^{(2)}$ – сопротивление неповрежденной цепи.

При перемещении точки несимметрии в лево, т.е. уменьшении *L1* и увеличении *L2* соответственно будет уменьшаться реактивность $\mathbf{x}_{1-II}^{(1)}$, а $\mathbf{x}_{1-II}^{(2)}$ – возрастет; в пределе несимметрия на цепи *ЛII* коснется шин. При несимметрии в форме К3 это будет эквивалентно случаю К1 (рис.3,б). Для продольной несимметрии такая аналогия неправомерна.

Для принципиальной схемы на рис.3,г, когда две параллельные цепи имеют одну электрическую точку связи и на свободном конце *ЛII* возникла несимметрия, схема замещения нулевой последовательности представлена в форме трехлучевой звезды (рис.3, д). Реактивности этой схемы рассчитываются так:

$$\mathbf{x}_0 = k_{(0-1)}\mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_{1-II},$$

где \mathbf{x}_0 , \mathbf{x}_1 – реактивности нулевой и прямой последовательностей каждой из цепей протяженностью *L*;

\mathbf{x}_{1-II} – сопротивление взаимной индукции между цепями.

Более подробная информация по схемам замещения нулевой последовательности двухцепных электропередач с учетом взаимной индукции между цепями и расчета их параметров (для К3 и продольной несимметрии) изложены в следующих источниках: [1,2 разд.6.2.4], [5 разд. 12-7; пример 14-17, с.374; пример 14-18, с.379], [6 разд.13-8,13-9; пример 16-9 с. 555], [7 задача 7-1 с. 389].

4. Основные расчетные выражения для анализа поперечной несимметрии

• Определяется шунт короткого замыкания $x_{\Delta}^{(n)}$ и ток прямой последовательности:

$$I_{K1}^{(n)} = \frac{jE_{\Sigma}}{j\sqrt{3}(x_{1\Sigma} + x_{\Delta}^{(n)})} \text{ (кА)} \quad (\text{все параметры приведены к единой ступени});$$

$$I_{K1}^{(n)} = \frac{jE_{*\Sigma(\bar{\sigma})} I_{\bar{\sigma}}}{j(x_{*\Sigma(\bar{\sigma})} + x_{*\Delta(\bar{\sigma})}^{(n)})} \text{ (кА)} \quad \text{— для системы о. е. } (I_{\bar{\sigma}} \text{ — базис-й ток для ступени КЗ}),$$

где $x_{\Delta}^{(2)} = x_{2\Sigma}$, $x_{\Delta}^{(1)} = x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}$, $x_{\Delta}^{(1.1)} = x_{2\Sigma} // x_{0\Sigma}$.

• Модуль тока при любом $K^{(n)}$ можно вычислить по выражению

$$I_K^{(n)} = m^{(n)} I_{K1}^{(n)}; \quad [\text{отметим, что для } K^{(2)} \text{ справедливо соотношение } I_K^{(2)} \approx 0.87 I_K^{(3)}],$$

где $m^{(n)}$ — коэффициент, характеризующий вид КЗ, записывается так:

$$m^{(2)} = \sqrt{3}; \quad m^{(1)} = 3; \quad m^{(1.1)} = \sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{x_{2\Sigma} \cdot x_{0\Sigma}}{(x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}}.$$

• Ток, протекающий в земле равен: $I_3 = 3I_{K0}$ и ток в нейтрали трансформатора $I_N = 3I_{N0}$, где I_{N0} — ток нулевой последовательности в нейтрали.

• Для симметричных составляющих токов по месту КЗ справедливы следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \text{для } K^{(2)}: \quad & \mathbf{I}_{Ka1} = -\mathbf{I}_{Ka2}; & \text{для } K^{(1)}: \quad & \mathbf{I}_{Ka1} = \mathbf{I}_{Ka2} = \mathbf{I}_{K0}; \\ \text{для } K^{(1.1)}: \quad & \mathbf{I}_{Ka2} = -\mathbf{I}_{Ka1} \frac{x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}; & \mathbf{I}_{K0} = & -\mathbf{I}_{Ka1} \frac{x_{2\Sigma}}{x_{2\Sigma} + x_{0\Sigma}}. \end{aligned}$$

• Фазные токи в произвольной ветви схемы через симметричные составляющие рассчитываются по выражениям:

$$\mathbf{I}_A = \mathbf{I}_{a1} + \mathbf{I}_{a2} + \mathbf{I}_0; \quad \mathbf{I}_B = \mathbf{a}^2 \mathbf{I}_{a1} + \mathbf{a} \mathbf{I}_{a2} + \mathbf{I}_0; \quad \mathbf{I}_C = \mathbf{a} \mathbf{I}_{a1} + \mathbf{a}^2 \mathbf{I}_{a2} + \mathbf{I}_0,$$

(такая структура выражений справедлива и для напряжений U_A, U_B, U_C)

где \mathbf{a} — оператор фазы $\mathbf{a} = e^{j120^\circ} = -0,5 + j\sqrt{3}/2$.

• Фазные значения симметричных составляющих векторов напряжений в точке КЗ ($K^{(n)}$) в системе именованных единиц рассчитываются так:

$$U_{K1}^{(n)} = I_{K1}^{(n)} jx_{\Delta}^{(n)}; \quad U_{K2}^{(n)} = -I_{K2}^{(n)} jx_{2\Sigma}; \quad U_{K0}^{(n)} = -I_{K0}^{(n)} jx_{0\Sigma}.$$

И в системе относительных единиц:

$$\begin{aligned} U_{K1}^{(n)} &= \left[I_{*K1(\bar{\sigma})}^{(n)} jx_{*\Delta(\bar{\sigma})}^{(n)} \right] \frac{U_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3}}; & U_{K2}^{(n)} &= \left[-I_{*K2(\bar{\sigma})}^{(n)} jx_{*2\Sigma(\bar{\sigma})} \right] \frac{U_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3}}; \\ U_{K0}^{(n)} &= \left[-I_{*K0(\bar{\sigma})}^{(n)} jx_{*0\Sigma(\bar{\sigma})} \right] \frac{U_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3}}. \end{aligned}$$

• **Симметричные составляющие остаточных напряжений** в узле «М» (U_{M1}, U_{M2}, U_{M0}) находят на основе второго закона Кирхгофа: как напряжение рассматриваемой последовательности в месте КЗ плюс сумму падений напряжения на участках, соединяющих рассматриваемый узел с местом КЗ той же последовательности, т. е.

$$\left. \begin{aligned} U_{M1} &= U_{K1} + \sum I_{1j} x_{1j}; \\ U_{M2} &= U_{K2} + \sum I_{2j} x_{2j}; \\ U_{M0} &= U_{K0} + \sum I_{0j} x_{0j}. \end{aligned} \right\}$$

Эти выражения справедливы как для системы именованных, так и относительных единиц; токи и напряжения являются здесь фазными параметрами. При правильном расчете по мере удаления от точки КЗ напряжения обратной (U_2) и нулевой (U_0) последовательностей по абсолютной величине уменьшаются, прямой (U_1) – увеличивается до значения E'' за реактивностью источника питания.

Остаточное (фазные) напряжение в произвольном узле «М» схемы являются геометрической суммой симметричных составляющих U_{M1}, U_{M2}, U_{M0} .

2.4. Общие рекомендации по расчету режимов однократной продольной несимметрии (L)

Продольная несимметрия возникает в электрической системе при обрыве (отключении) одной ($L^{(1)}$) или двух фаз ($L^{(2)}$), а также при включении в фазы неодинаковых сопротивлений. Анализ этих режимов осуществляется на базе метода симметричных составляющих. Расчетные выражения имеют много общего с аналогичными выражениями для $K^{(n)}$. Однако имеется ряд существенных отличительных особенностей, которые будут рассмотрены ниже.

При анализе продольной несимметрии на базе именованных единиц целесообразно для ЭДС, напряжений и падений напряжения использовать фазные значения; при этом в расчетных выражениях с участием $E, U, \Delta U$ отсутствует $\sqrt{3}$. В приведенных ниже расчетных выражениях для $L^{(n)}$ на базе именованных единиц ЭДС и напряжения считаются фазными с обозначениями E_ϕ и U_ϕ (здесь и далее векторные переменные обозначены жирным шрифтом наклонного начертания).

2.4.1 Ориентация векторов ЭДС в комплексной плоскости.

При расчетах этих режимов допущение о равенстве фаз ЭДС источников питания не приемлемо. Для электрических схем, приведенных в заданиях, исходный установившийся режим, который и устанавливает фазы ЭДС и напряжений всех узлов схемы, не известен. В этих условиях для анализа продольной несимметрии считается, что электрическую схему посредством преобразований можно привести к простейшему виду (рис.4,а), для которой известны: комплексные ЭДС источников ($E_{\phi 1} = E_{\phi 1} e^{j\delta_1}$, $E_{\phi 2} = E_{\phi 2} e^{j\delta_2}$) и реактивность связи $x = x_1 + x_2$. Ток в этой схеме получается величиной комплексной I , что существенно усложняет расчет режима исходной схемы за счет действий с комплексными переменными.

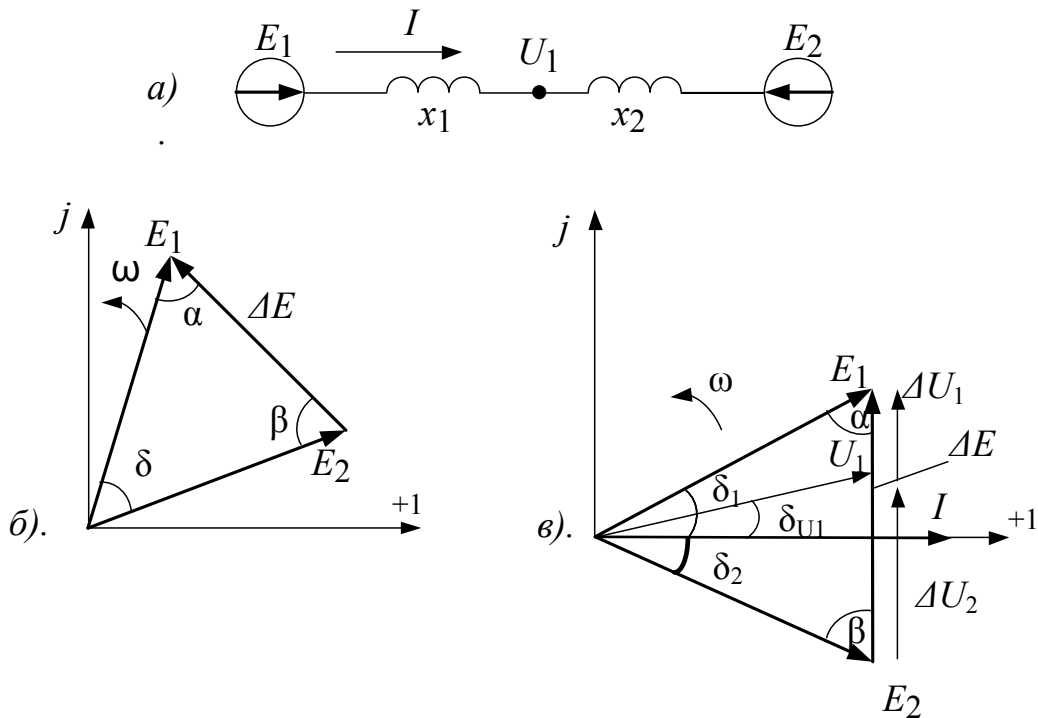


Рис. 4. Ориентация векторов ЭДС в комплексной плоскости

Учитывая, что режим схемы определяется на абсолютными фазами векторов ЭДС, а относительными углами, в задании вместо *абсолютных фаз* δ_1 и δ_2 **приведен относительный угол** $\delta = \delta_1 + \delta_2$ (рис.4 б, в). Зная модули $E_{\phi 1}$, $E_{\phi 2}$ и их относительную фазу δ можно определить модуль разности

$$\Delta E_{\phi} = \sqrt{E_{\phi 1}^2 + E_{\phi 2}^2 - 2E_{\phi 1}E_{\phi 2} \cos \delta}.$$

Следующий шаг позволяет рассчитать угол α по любому из выражений:

$$\sin \alpha = \frac{E_{\phi 2} \sin \delta}{\Delta E_{\phi}} \quad \text{или} \quad \cos \alpha = \frac{E_{\phi 1}^2 + \Delta E_{\phi}^2 - E_{\phi 2}^2}{2E_{\phi 1} \Delta E_{\phi}}.$$

Желательно вектора $E_{\phi 1}$ и $E_{\phi 2}$ так сориентировать в координатной плоскости $j, +1$, чтобы вектор ΔE_{ϕ} являлся чисто мнимым $\Delta E_{\phi} = j\Delta E_{\phi}$. Это достигается при условии, что фазы векторов $E_{\phi 1}$ и $E_{\phi 2}$ должны удовлетворять следующим соотношениям:

$$\delta_1 = 90^\circ - \alpha; \quad \delta_2 = \delta_1 - \delta.$$

В этих условиях ток в схеме (рис.4,а) имеет нулевую фазу $I = I = j\Delta E_{\phi} / jx$. Расчет распределения тока в исходной схеме при этом упрощается. Положительному направлению тока соответствует направление от опережающего вектора ЭДС, в качестве которого нами принят $E_{\phi 1}$, к отстающему $E_{\phi 2}$. Для этих условий справедливо векторное выражение $E_{\phi 1} = E_{\phi 2} + \Delta E_{\phi}$. Вектор напряжения в произвольной точке ($U_{\phi 1} = U_{\phi 1} e^{j\delta_{U1}}$) рассчитывается на основе соотношения $U_{\phi 1} = E_{\phi 1} - \Delta U_{\phi 1} = E_{\phi 1} - I jx_1$ или $U_{\phi 1} = E_{\phi 2} + \Delta U_{\phi 2} = E_{\phi 2} + I jx_2$, в которых I – вещественный параметр.

Отметим, что ориентация векторов ЭДС эквивалентных источников на комплексной плоскости может быть произвольной. При известных модулях $E_{\phi 1}$, $E_{\phi 2}$ и угле δ между ними произвольно принять фазу δ_1 вектора $E_{\phi 1}$; определить фазу $\delta_2 = \delta_1 - \delta$ для вектора $E_{\phi 2}$; рассчитать из соотношения $E_{\phi 1} = E_{\phi 2} + \Delta E_{\phi}$ комплекс $\Delta E_{\phi} = E_{\phi 1} - E_{\phi 2}$ и далее вектор тока $I = \Delta E_{\phi} / jx$. Модуль тока при этом будет тем же, что и в первом случае. Расчет вектора напряжения $U_{\phi 1}$ остается тем же, как это излагалось выше $U_{\phi 1} = E_{\phi 1} - \Delta U_{\phi 1} = E_{\phi 1} - I jx_1$.

2.4.2. Расчет основных параметров продольной несимметрии (L)

Отметим некоторые принципиальные особенности расчета продольной несимметрии.

1. *Схему замещения прямой, обратной последовательностей* и параметры их элементов (ЭДС, сопротивления) являются теми же, что и при несимметричном КЗ и могут быть позаимствованы из предшествующих расчетов. Схема нулевой последовательности при несовпадении места несимметрии может отличаться от аналогичной схемы для $K^{(n)}$.

Из схемы прямой последовательности находят $E_{1\Sigma}$, $x_{L1\Sigma}$; из схемы обратной – $x_{L2\Sigma}$ и нулевой – $x_{L0\Sigma}$; в расчетах можно принимать $x_{L2\Sigma} = x_{L2\Sigma}$. *Эти параметры находятся относительно клемм продольной несимметрии $L-L'$ (рис. 5); при этом приемы преобразования схем и их последовательность существенно отличаются от аналогичных для режима КЗ.*

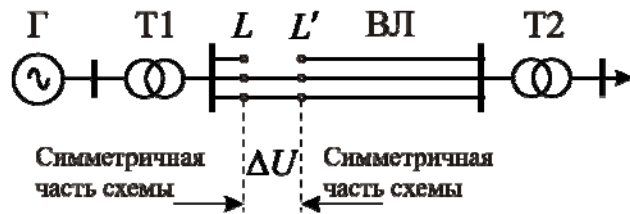


Рис. 5 Продольная несимметрия

2. Пример расчета $E_{\phi 1\Sigma}$, $x_{L1\Sigma}$, I_{L1} для схемы с двумя источниками.

На одной из цепей ВЛ принципиальной схемы (рис. 6,а) рассматривается разрыв фазы.

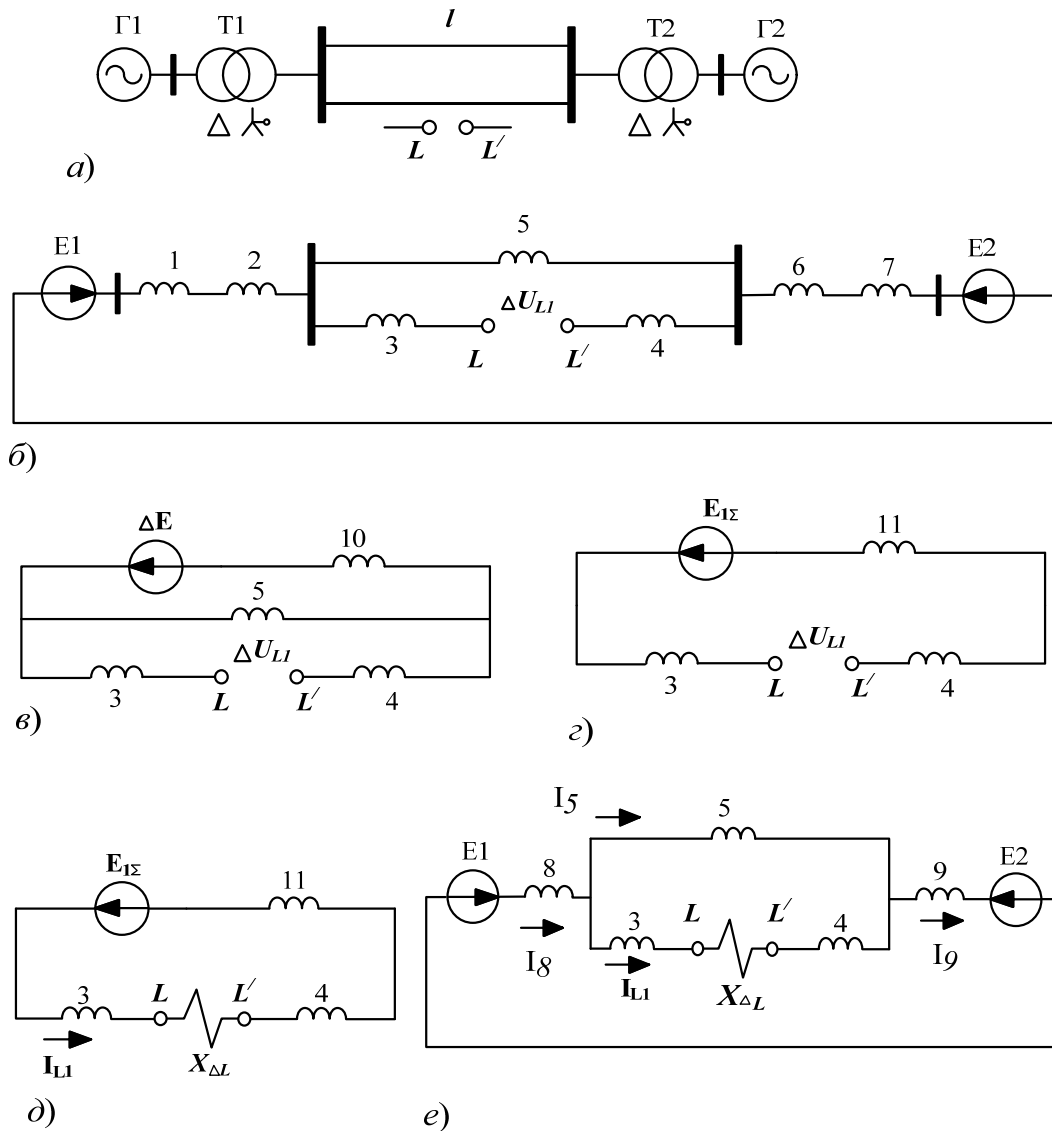


Рис. 6. Преобразование схем замещения при продольной несимметрии

На рис. 6,б приведена исходная схема замещения прямой последовательности, в которой объединение генераторных элементов в последовательную цепь осуществляется через общую точку нулевого потенциала; на рис. 6 в, г представлены этапы ее преобразования. Генераторы в схеме рис. 6,б учитываются параметрами E''_{ϕ} , x''_d , которые представлены элементами $E_1, 1$,

$E_{2,7}$; трансформаторы Т1, Т2 представлены элементами 2, 6; воздушная линия – элементами 5, 3, 4 (считаем, что все параметры выражены в о. е.); клеммы $L-L'$ указывают место разрыва ВЛ. Схема рис. 6 в отражает первый этап упрощения исходной схемы: элемент 10 представляет эквивалент сопротивлений $x_{10} = x_1 + x_2 + x_6 + x_7$, эквивалентный вектор ЭДС $E_{\phi 1}$ и $E_{\phi 2}$ с учетом их последовательного соединения определяется из комплексного выражения $\Delta E_{\phi} = E_{\phi 1} - E_{\phi 2}$, считая вектор $E_{\phi 1}$ опережающим вектор $E_{\phi 2}$ (см. пояснения «Ориентация векторов ЭДС в комплексной плоскости»). Схема на рис. 6, з является завершающей: в ней $x_{11} = x_{10} // x_5$, что позволяет найти результирующее сопротивление схемы прямой последовательности $x_{L1\Sigma} = x_3 + x_{11} + x_4$. Принимая $\Delta E_{\phi} = j\Delta E_{\phi}$, находим результирующую ЭДС схемы прямой последовательности относительно клемм $L-L'$

$$jE_{\phi 1\Sigma} = \frac{j\Delta E_{\phi} x_5}{(x_5 + x_{10})}.$$

Как отмечалось ранее, можно принять $x_{L2\Sigma} = x_{L1\Sigma}$. Для рассматриваемого примера структура схемы нулевой последовательности аналогична схеме прямой последовательности (рис. 6, б), в которой отсутствуют ЭДС и генераторные элементы 1,7. При той же последовательность преобразований находится $x_{L0\Sigma}$.

По схеме рис. 6, д, в которой между клеммами $L-L'$ включен дополнительный реактанс $x_{\Delta L}$ (определяется видом несимметрии L), рассчитываем ток прямой последовательности

$$I_{L1} = \frac{jE_{\phi 1\Sigma}}{j(x_{L1\Sigma} + x_{\Delta L})}.$$

Токи I_{L2} и I_{L0} по месту несимметрии выражаются через ток I_{L1} .

Ток I_{L1} можно также рассчитать, используя схему эквивалентную току прямой последовательности, которая представлена на рис. 6, е. В одноконтурной схеме, характеризуемой эквивалентным сопротивлением

$$x_{L1(\text{э.к.})} = x_8 + x_5 // (x_3 + x_{\Delta L} + x_4) + x_9,$$

действует ЭДС $\Delta E_{\phi} = j\Delta E_{\phi}$, следовательно, $I_8 = I_9 = j\Delta E_{\phi} / jx_{L1(\text{э.к.})}$

и далее рассчитываем ток по месту несимметрии $I_{L1} = I_8 \frac{x_5}{(x_3 + x_{\Delta L} + x_4)}$.

3. Основные расчетные выражения для анализа продольной несимметрии

- Рассчитывается шунт короткого замыкания $x_{\Delta L}^{(n)}$ и ток прямой последовательности:

$$I_{L1}^{(n)} = \frac{jE_{\phi 1\Sigma}}{j(x_{L1\Sigma} + x_{\Delta L}^{(n)})} \text{ (кА) (все параметры приведены к единой ступени);}$$

$$I_{L1}^{(n)} = \frac{jE_{*\Sigma(6)} I_6}{j(x_{*L1\Sigma(6)} + x_{*\Delta L(6)}^{(n)})} \text{ (кА) – для системы о. е. (} I_6 \text{ – базис-й ток ступени } L \text{),}$$

где $x_{\Delta L}^{(1)} = x_{L2\Sigma} // x_{L0\Sigma}$ – разрыв одной; $x_{\Delta L}^{(2)} = x_{L2\Sigma} + x_{L0\Sigma}$ – двух фаз.

• *Модуль тока неповрежденных фаз определяется по выражению*

$$|I_L^{(n)}| = m^{(n)} I_{L1}^{(n)}, \text{ где } m^{(n)} \text{ – коэффициент, характеризующий вид } L:$$

$$m^{(1)} = \sqrt{3} \sqrt{1 - \frac{x_{L2\Sigma} x_{L0\Sigma}}{(x_{L2\Sigma} + x_{L0\Sigma})^2}} \text{ – разрыв одной; } m^{(2)} = 3 \text{ – двух фаз.}$$

Для симметричных составляющих токов по месту несимметрии } L справедливы следующие соотношения:

$$\text{для } L^{(1)}: \quad \mathbf{I}_{La2} = -\mathbf{I}_{La1} \frac{x_{L0\Sigma}}{x_{L2\Sigma} + x_{L0\Sigma}}; \quad \mathbf{I}_{L0} = -\mathbf{I}_{La1} \frac{x_{L2\Sigma}}{x_{L2\Sigma} + x_{L0\Sigma}};$$

$$\text{для } L^{(2)}: \quad \mathbf{I}_{La1} = \mathbf{I}_{La2} = \mathbf{I}_{L0} = \frac{1}{3} \mathbf{I}_{LA}.$$

• *Фазные значения симметричных составляющих падения напряжений в месте разрыва рассчитываются по выражениям:*

$$\Delta \mathbf{U}_{\phi L1} = \mathbf{I}_{L1} j x_{\Delta L}; \quad \Delta \mathbf{U}_{\phi L2} = -\mathbf{I}_{L1} j x_{L2\Sigma}; \quad \Delta \mathbf{U}_{\phi L0} = -\mathbf{I}_{L1} j x_{L0\Sigma}.$$

• *Падение напряжения в месте разрыва фазы через симметричные составляющие рассчитываются по выражениям:*

$$\Delta \mathbf{U}_{\phi LA} = \Delta \mathbf{U}_{\phi La1} + \Delta \mathbf{U}_{\phi La2} + \Delta \mathbf{U}_{\phi L0};$$

$$\Delta \mathbf{U}_{\phi LB} = a^2 \Delta \mathbf{U}_{\phi La1} + a \Delta \mathbf{U}_{\phi La2} + \Delta \mathbf{U}_{\phi L0};$$

$$\Delta \mathbf{U}_{\phi LC} = a \Delta \mathbf{U}_{\phi La1} + a^2 \Delta \mathbf{U}_{\phi La2} + \Delta \mathbf{U}_{\phi L0}.$$

• *Расчет симметричных составляющих напряжений в узлах схем отдельных последовательностей* осуществляется на основе второго закона Кирхгофа. При этом надо отталкиваться от узла с известным потенциалом. В схеме прямой последовательности таким узлом является узел приложения источника E_{ϕ} ; в схемах обратной и нулевой последовательностей – одна из точек нулевого потенциала, в которой завершается схема. Найдя симметричные составляющие напряжения относительно одной из клемм несимметрии (L) и прибавив к последним падения напряжения ΔU_{La1} , ΔU_{La2} , ΔU_{La0} , находят симметричные составляющие напряжений с другой стороны продольной несимметрии (L'). Переход к фазным величинам напряжений производится известным способом.

3. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

Задание № 1

Для электрической системы, представленной на **схеме 1**, выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов. (*Примечание:* параметры синхронного двигателя СД2 для вариантов №3,4,5 заменить на вариант №6 и варианта №9 – на № 8)

1. Режим $K^{(3)}$ – *трехфазного КЗ*

В заданной точке $K^{(3)}$ для $t = 0$ рассчитать:

- I_{n0} – действующие значения периодической слагаемой тока короткого замыкания;
- i_y, S_K – ударный ток и мощность КЗ;
- $U_{ост}$ – остаточное напряжение на высокой стороне трансформатора ТР1 (узел ∇);
- $I_{n0}^{(2)}$ – действующие значения тока двухфазного короткого замыкания;
- действующие значения периодической слагаемой тока генератора Г2, посылаемого в место КЗ для трех моментов времени:
 - а) I_{n0} – для $t = 0$;
 - б) I_{nt} – для $t = 0,3$ с.;
 - в) $I_{n\infty}$ – для $t = \infty$ (ток становившегося режима КЗ), принимая $I_{*fпр} = E_{*пр} = 3,0$;
- $U_{ост(0)}, U_{ост(\infty)}$ – остаточное напряжение на шинах генератора Г2 (узел b) для $t = 0$ и $t = \infty$.

2. Режим $K^{(n)}$ – *несимметричного КЗ* (для несимметрии $K^{(n)}$ и $L^{(n)}$ сопротивление реактора в нейтрали обмотки высокого напряжения трансформатора ТР1 составляет $x_p = 12$ Ом; на линии Л3 отсутствует взаимная индуктивность нулевой последовательности)

В заданной точке $K^{(1)}$, которая определена параметром $I_K = 1,0$ на линии Л2, рассчитать:

- I_K – действующие значения периодической слагаемой тока КЗ поврежденной фазы;
- U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} и U_{KB}, U_{KC} – симметричные составляющие напряжения и остаточные напряжения неповрежденных фаз;
- построить векторные диаграммы I_K и U_K ;
- симметричные составляющие напряжения U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} для узлов: $K^{(1)}, b, Г2$; по полученным результатам построить эпюры симметрич-

ных составляющих напряжений; для наглядности результата напряжения указанных узлов представить в именованных единицах, приведенных к напряжению ступени КЗ (115 кВ);

- $U_{ост.К}$ – остаточные напряжения фаз A и B на шинах генератора Г2 (узел b).

3. Режим $L^{(n)}$ – продольной несимметрии

Для режима ($L^{(1)}$), соответствующего отключению ранее поврежденной фазы выключателем В1, рассчитать:

- I_{LB} – ток неповрежденной фазы B на участке l_K ;
- ΔU_{LA} , – падение напряжения в месте разрыва фазы A ;
- U_{LA}, U_{LB}, U_{LC} – фазные напряжения на клеммах L выключателя В1;
- $U_{L'}$ – фазное напряжение на клемме L' отключенной фазы A выключателя;
- I_{LB} – ток фазы B в цепи системного выключателя В2.

К моменту отключения поврежденной фазы эквивалентный вектор ЭДС генераторов станции ЭСТ1 ($E''_{Г1,2}$) опережал эквивалентный вектор ЭДС «системы 2», Г10 и СД2 ($E''_{С2,Г10,СД2}$) на $\delta = 45^\circ$.

Задание № 2

Для электрической системы, представленной на **схеме 2**, выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов.

1. Режим $K^{(3)}$ – трехфазного КЗ

В заданной точке $K^{(3)}$ для разных условий рассматриваются два независимых трехфазных замыканий $K_1^{(3)}$ и $K_2^{(3)}$.

Для режима $K_1^{(3)}$ (выключатель В2 *отключен*, В1 – включен) при $t = 0$ рассчитать:

- $I_{нК1}$ – действующие значения периодической слагаемой тока короткого замыкания;
- i_y, S_{KI} – ударный ток и мощность КЗ.

Для режима $K_2^{(3)}$ (выключатель В2 включен, В1 – *отключен*) при $t = 0$:

- определить реактивность секционного реактора x_P (Ом и %) из условия, что ток КЗ в рассматриваемом режиме $I_{нК2}$ должен составлять $I_{нК2} = 1,3 I_{нК1}$; в расчетах принять: мощность реактора $S_P = S_{Г15}$ и $U_{P(ном)} = U_{Г15(ном)}$;

- $U_{ост}$ – остаточное напряжение на шинах Г15 (узел ∇) для режима $K_2^{(3)}$ (наличии реактора);

- I_{nt} – действующие значения периодической слагаемой тока генератора Г15 для $t = 0, 2$ с. (режим $K_2^{(3)}$ с реактором).

2. Режим $K^{(n)}$ – несимметричного КЗ (выключатели В1 и В3 – включены, выключатель В2 – отключен)

В заданной точке $K^{(1,1)}$, которая определена параметром $I_K = 0,5$ на Л1, рассчитать:

- I_K – действующие значения периодической слагаемой тока КЗ поврежденных фаз;

- U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} и U_{KA} – симметричные составляющие напряжения и остаточное напряжение неповрежденной фазы;

- построить векторные диаграммы I_K и U_K ;

- I_{KA} – ток фазы А неповрежденной цепи Л1;

- симметричные составляющие напряжения U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} для узлов: $K^{(1,1)}, a, b, Г14$; по полученным результатам построить эпюры симметричных составляющих напряжений; для наглядности результата напряжения указанных узлов представить в именованных единицах, приведенных к ступени КЗ (230 кВ).

3. Режим $L^{(n)}$ – продольной несимметрии (выключатель В2 отключен, В1 – включен)

Осуществляется включение генераторов ЭСТ1 на параллельную работу с «системой» выключателем В3 в двух разных условиях.

Вариант 1. Включение производится одновременно тремя фазами выключателя; при этом угол рассогласования вектора эквивалентной ЭДС генераторов ЭСТ1 ($E''_{Г14,15}$) и системы ($E_{С3}$) составляет $\delta_1 = 60^\circ$. Для этих условий требуется рассчитать:

- $I_{В3}$ – ток в цепи выключателя;

- отношение токов $I_{В3} / I_{(Г14,15)}$ для момента синхронизации.

Вариант 2. Включение производится одновременно двумя фазами выключателя. Требуется *определить угол* (δ_2) расхождения эквивалентного вектора ЭДС генераторов станции ЭСТ1 ($E''_{Г14,15}$) и вектора ЭДС «системы» ($E_{С3}$) для обеспечения условия: ток включившихся фаз I_{LB} (I_{LC}) остался тем же, что и при трехфазной синхронизации $I_{LB} = I_{В3}$.

Для режима продольной несимметрии $L^{(2)}$ рассчитать:

- U_{LA}, U_{LB}, U_{LC} – фазные напряжения на клемме L выключателя В3;

- $U_{L'A}$ – фазное напряжение отключенной фазы A на клемме L' ; (при расчете этих параметров считать, вектора ЭДС «системы» (E_{C3}) опережает вектор ЭДС генераторов ($E_{Г14,15}$) на угол δ_2).

Задание № 3

Для электрической системы, представленной на **схеме 3**, выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов.

1. Режим $K^{(3)}$ – *трехфазного КЗ*

В заданной точке $K^{(3)}$ для $t = 0$ рассчитать:

- I_{n0} – действующие значения периодической слагаемой тока короткого замыкания;
- i_y, S_K – ударный ток и мощность КЗ;
- $U_{ост}$ – остаточное напряжение на шинах генератора Г5 (узел ∇) и на высокой стороне трансформатора ТРЗ (узел b);
- I_{nt} – действующие значения периодической слагаемой тока генератора Г6 для $t = 0, 2$ с.;
- $I_{n0}^{(2)}$ – действующие значения тока двухфазного короткого замыкания.

2. Режим $K^{(n)}$ – *несимметричного КЗ* (для несимметрии $K^{(n)}$ и $L^{(n)}$ три цепи Л1 имеют одинаковую взаимную индуктивность нулевой последовательности)

В заданной точке $K^{(1)}$, которая определена параметром $I_K = 0,5$ на линии Л2, рассчитать:

- I_K – действующее значение периодической слагаемой тока КЗ поврежденной фазы;
- U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} и U_{KB}, U_{KC} – симметричные составляющие напряжения и остаточные напряжения неповрежденных фаз;
- построить векторные диаграммы I_K и U_K ;
- симметричные составляющие напряжения U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} для узлов: $K^{(1)}, a, b, \nabla, Г5$; по полученным результатам построить эпюры симметричных составляющих напряжений; для наглядности результата напряжения указанных узлов представить в относительных единицах;
- $U_{ост.КА}$ – остаточное напряжение фазы A на высокой стороне трансформатора ТРЗ (узел b);
- I_N – ток в нейтрали АТ5, приведенный к $U = 515$ кВ.

3. Режим $L^{(n)}$ – *продольной несимметрии*

Для режима ($L^{(1)}$), соответствующего отключению ранее поврежденной фазы, рассчитать:

- I_{LB} – ток неповрежденной фазы B на участке l_K ;
- I_{LB} – ток фазы B неповрежденной цепи Л1 (участок l);
- I_{LB} – ток фазы B в цепи системного выключателя $B1$;
- ΔU_{LA} – падение напряжения в месте разрыва фазы A .

К моменту отключения поврежденной фазы угол расхождения вектора эквивалентной ЭДС генераторов ЭСТ1 ($E''_{Г5,6}$) и системы (E_{C3}) составляет $\delta = 55^\circ$).

Задание № 4

Для электрической системы, представленной на **схеме 4**, выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов.

1. Режим $K^{(3)}$ – *трехфазного КЗ*

В заданной точке $K^{(3)}$ схемы для $t = 0$ рассчитать:

- I_{n0} – действующие значения периодической слагаемой тока короткого замыкания;
- i_y, S_K – ударный ток и мощность КЗ;
- $U_{ост}$ – остаточное напряжение на высокой стороне ТРЗ (узел ∇);
- I_{nt} – действующие значения периодической слагаемой тока генератора Г5 для $t = 0,3$ с.;
- $I_{n0}^{(2)}$ – действующие значения тока двухфазного короткого замыкания.

2. Режим $K^{(n)}$ – *несимметричного КЗ*

В заданной точке $K^{(1)}$ схемы, которая определена параметром $l_K = 0,6$ на ЛЗ, рассчитать:

- I_K – действующее значение периодической слагаемой тока КЗ поврежденной фазы;
- U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} и U_{KB}, U_{KC} – симметричные составляющие напряжения и остаточное напряжение неповрежденных фаз;
- построить векторные диаграммы I_K и U_K ;
- симметричные составляющие напряжения U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} для узлов: $K^{(1)}$, « a », « b »; Г12; по полученным результатам построить эпюры симметричных составляющих напряжений; для наглядности результата напряжения указанных узлов представить либо в именованных единицах, приведенных к ступени 230 кВ, либо в относительных единицах;

3. Режим $L^{(n)}$ – *продольной несимметрии*

Для режима ($L^{(1)}$), соответствующего отключению ранее поврежденной фазы, рассчитать:

- I_{LB} – ток неповрежденной фазы B на участке l_K ;

- ΔU_{LA} – падение напряжения в месте разрыва фазы A ;
- I_{LA} – ток фазы A в цепи выключателя **В1**.

К моменту отключения поврежденной фазы угол расхождения векторов ЭДС двух эквивалентных источников, расположенных по обе стороны места разрыва, составляет $\delta = 60^\circ$.

Задание № 5

Для электрической системы, представленной на **схеме 5**, выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов.

1. Режим $K^{(3)}$ – *трехфазного КЗ*

- определить реактивность пускового реактора x_p (Ом и %) из условия, что бы при реакторном пуске синхронного двигателя СД1 пусковой ток $I_{\text{пуск(с реактором)}}$ должен снизиться до уровня $I_{\text{пуск(с реактором)}} = 0,5 I_{\text{пуск(без реактора)}}$; в расчетах принять: мощность реактора $S_p = S_{\text{СД1}}$ и $U_{p(\text{ном})} = U_{\text{СД1(ном)}}$;

- $U_{\text{ост}}$ – остаточное напряжение на шинах АТЗ (узел ∇) при реакторном пуске.

2. Режим $K^{(n)}$ – *несимметричного КЗ*

В заданной точке $K^{(2)}$, которая определена параметром $l_K = 0,6$ на линии Л1, рассчитать:

- I_K – действующие значения периодической слагаемой тока КЗ поврежденных фаз;
- U_{Ka1}, U_{Ka2} и U_{KA}, U_{KB}, U_{KC} – симметричные составляющие напряжения и остаточные фазные напряжения в узле КЗ;
- построить векторные диаграммы I_K и U_K ;
- определить I_{KB} – ток фазы B не поврежденной цепи линии Л1;
- найти симметричные составляющие напряжения U_{Ka2}, U_{K0} для узлов: $K^{(2)}, a, b, \Gamma 11$; по полученным результатам построить эпюры симметричных составляющих напряжений; для наглядности результата напряжения указанных узлов представить в относительных единицах.

3. Режим $L^{(n)}$ – *продольной несимметрии* (принять для $\Gamma 10$ $x_0 = 0,6 x''_d$)

В рассматриваемой схеме осуществляется включение генераторов ЭСТ1 на параллельную работу с «системой» выключателем **В2** (синхронный двигатель СД1 – *отключен*). Считаем, что при включении одновременно замкнулись:

- а) три фазы выключателя;
- б) две фазы выключателя.

Для этих режимов:

- определить начальные значения сверхпереходного тока (I_{B2}) в цепи выключателя для условий, что к моменту включения угол расхождения вектора эквивалентной ЭДС генераторов ЭСТ1 ($E''_{Г10,11}$) и системы (E_{C2}) составляет $\delta = 180^\circ$;
- вычислить отношения токов $I_{B2} / I_{\Sigma \text{ном}(Г10,11)}$ для рассмотренных случаев;
- рассчитать для варианта б) падение напряжения ΔU_{LA} не замкнувшей фазы A , а так же токи фаз A (I_{LA}) и B (I_{LB}) в цепи генераторов Г10 и Г11.

Задание № 6

Для электрической системы, представленной на **схеме 6**, выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов.

1. Режим $K^{(3)}$ – трехфазного КЗ (для **схемы 19** принять протяженность Л2 равную Л1)

В заданной точке $K^{(3)}$ схемы для $t = 0$ рассчитать:

- I_{n0} – действующие значения периодической слагаемой тока короткого замыкания;
- i_y, S_K – ударный ток и мощность КЗ;
- $U_{ост}$ – остаточное напряжение на низкой стороне трансформатора ТРЗ (узел ∇);
- I_{nt} – действующие значения периодической слагаемой тока генератора Г6 для $t = 0,4$ с.
- $I_{n0}^{(2)}$ – действующие значения тока двухфазного короткого замыкания.

2. Режим $K^{(n)}$ – несимметричного КЗ (для несимметрии $K^{(n)}$ и $L^{(n)}$ учесть взаимную реактивность нулевой последовательности между цепями Л1 и Л2 равную $x_{0(Л1-Л2)} = 1,4 x_1$)

В заданной точке $K^{(1,1)}$ схемы, рассчитать:

- I_K – действующее значение периодической слагаемой тока КЗ поврежденной фазы;
- U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} и U_{KA} – симметричные составляющие напряжения и остаточное напряжение неповрежденной фазы;
- построить векторные диаграммы I_K и U_K ;
- I_0 – ток нулевой последовательности в трансформаторе ТРЗ на стороне $U = 15,75$ кВ.

3. Режим $L^{(n)}$ – продольной несимметрии

Осуществляется включение системы СЗ на параллельную работу с генераторами ЭСТ1 и ЭСТ2. При включении замкнулись только две фазы выключателя В1, при этом вектор ЭДС системы (E_C) опережал эквивалентный вектор ЭДС генераторов ЭСТ1,2 на $\delta = 45^\circ$.

Требуется рассчитать:

- $I_{В1}$ – ток нормального режима в цепи выключателя;
- I_{LB}, I_{LC} – ток включившихся фаз выключателя;
- ΔU_{LA} – падение напряжения фазы А на контактах выключателя

В1;

- отношение токов $I_{В1} / I_{LB}$ выключателя нормального и неполнофазного режима;
- $U_{LA}, U_{L'A}$ – фазные напряжения в узлах L и L' отключенной фазы А выключателя.

Задание № 7

Для электрической системы, представленной на **схеме 7**, выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов.

1. Режим $K^{(3)}$ – трехфазного КЗ

В заданной точке $K^{(3)}$ для разных условий рассматриваются два независимых трехфазных замыканий $K_1^{(3)}$ и $K_2^{(3)}$.

Для режима $K_1^{(3)}$ (выключатель **В1 отключен**, **В2** – включен) при $t = 0$ рассчитать:

- I_{nK1} – действующие значения периодической слагаемой тока короткого замыкания;
- i_y, S_{K1} – ударный ток и мощность КЗ;
- $U_{ост}$ – остаточное напряжение на высокой стороне трансформатора Т4 (узел ∇);
- I_{nt} – действующие значения периодической слагаемой тока генератора Г12 для $t = 0,2$ с.

Для режима $K_2^{(3)}$ (выключатель **В1 включен**, **В2** – отключен) при $t = 0$:

- определить реактивность секционного реактора x_p (Ом и %) из условия, что ток КЗ в рассматриваемом режиме I_{nK2} должен составлять $I_{nK2} = 1,5 I_{nK1}$; в расчетах принять: мощность реактора $S_p = 0,7 S_{Г12}$ и $U_{P(ном)} = U_{Г12(ном)}$.

2. Режим $K^{(n)}$ – несимметричного КЗ (для несимметрии $K^{(n)}$ и $L^{(n)}$ выключатель В1 *отключен*)

В заданной точке $K^{(1,1)}$ схемы 6 рассчитать:

- I_K – действующие значения периодической слагаемой тока КЗ поврежденных фаз;
- U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} и U_{KA} – симметричные составляющие напряжения и остаточное напряжение неповрежденной фазы;
- построить векторные диаграммы I_K и U_K ;
- симметричные составляющие напряжения U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} для узлов: $K^{(1,1)}, a, \nabla, b, \Gamma 12$; по полученным результатам построить эпюры симметричных составляющих напряжений; для наглядности результата напряжения указанных узлов представить в относительных единицах.

3. Режим $L^{(n)}$ – продольной несимметрии

В рассматриваемой схеме осуществляется включение генераторов ЭСТ1 на параллельную работу с «системой» выключателем В3. Считая, что при включении одновременно замкнулись три фазы выключателя, определить угол (δ) расхождения эквивалентного вектора ЭДС генераторов и СД2 станции ЭСТ1 ($E''_{\Gamma 12,13,СД2}$) и эквивалентного вектора ЭДС «системы 3» и Г16 ($E''_{С,Г16}$) из условий, что бы ток в цепи выключателя ($I_{В3}$) составлял $I_{В3} = 0,4I_{(\Gamma 12, \Gamma 13)}$.

Принимая, что при найденном угле δ при включении замкнулись только две фазы выключателя, рассчитать:

- I_{LB} – ток включившейся фазы В выключателя В3;
- I_{LA}, I_{LB} – ток фазы А и В в цепи генератора Г16.

Задание № 8

Для электрической системы, представленной на **схеме 8**, выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов.

1. Режим $K^{(3)}$ – трехфазного КЗ

В заданной точке $K_1^{(3)}$, расположенной за выключателем В1 для $t = 0$, рассчитать:

- I_{n0} – действующие значения периодической слагаемой тока короткого замыкания;
- i_y, S_{KI} – ударный ток и мощность КЗ;
- определить реактивность линейного реактора x_p (Ом и %) из условия, что при КЗ за ЛР в точке $K_2^{(3)}$ мощность КЗ должна снизиться до уров-

ня $S_{K2} = 0,6 S_{K1}$; в расчетах принять мощность реактора $S_P = S_{Г5}$ и $U_{P(ном)} = U_{Г(ном)}$;

- $U_{ост}$ – остаточное напряжение на шинах генератора Г5 (узел ∇) при КЗ в точке $K_2^{(3)}$;

- I_{nt} – действующие значения периодической слагаемой тока генератора Г5 при $K_2^{(3)}$ для $t = 0, 2$ с.

2. Режим $K^{(n)}$ – несимметричного КЗ

В заданной точке $K^{(1,1)}$, которая определена параметром $I_K = 0,4$ на линии Л1, рассчитать:

- I_K – действующие значения периодической слагаемой тока КЗ поврежденных фаз;

- U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} и U_{KA} – симметричные составляющие напряжения и остаточное напряжение неповрежденной фазы;

- построить векторные диаграммы I_K и U_K ;

- определить отношение $I_K^{(1,1)} / I_K^{(2)}$;

- $U_{ост}$ – остаточное напряжение фаз B и C на шинах генератора Г5 (узел ∇).

3. Режим $L^{(n)}$ – продольной несимметрии

В рассматриваемой схеме осуществляется включение генераторов ЭСТ1 на параллельную работу с «системой» выключателем В2. Считаем, что при включении замкнулись:

а) одна фаза выключателя;

б) одновременно две фазы выключателя.

Для этих режимов:

- определить начальные значения сверхпереходного тока в цепи выключателя (I_{B2}) для наиболее тяжелых условий синхронизации: (к моменту включения вектор эквивалентной ЭДС генераторов ЭСТ1 ($E''_{Г5,6}$) находился в противофазе к вектору ЭДС системы ($E_{СЗ}$);

- вычислить отношения токов $I_{B2} / I_{\Sigma ном(Г5,6)}$ для рассмотренных случаев;

- ΔU_L – падение напряжения на клеммах не замкнувших фаз B и C выключателя в режиме «а» и не замкнувшей фазы A выключателя в режиме «б»;

- U_{LA}, U_{LB}, U_{LC} – фазные напряжения на клемме L выключателя В2 (режимы «а» и «б»);

- $U_{L'}$ – фазные напряжения на клемме L' не замкнувших фаз B и C выключателя в режиме «а» и на клемме L' не замкнувшей фазы A выключателя в режиме «б».

Рекомендуется считать, что в момент синхронизации вектор E_{C3} опережал вектор $E''_{Г5,6}$.

Задание № 9

Для электрической системы, представленной на **схеме 9**, выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов.

1. Режим $K^{(3)}$ – *трехфазного КЗ*

В заданной точке $K^{(3)}$ схемы (выключатель **В1** включен), рассчитать:

- I_{n0} – действующие значения периодической слагаемой тока короткого замыкания при $t = 0$;
- i_y, S_K – ударный ток и мощность КЗ при $t = 0$;
- действующие значения периодической слагаемой тока генераторов **Г9**, посылаемого в место КЗ для трех моментов времени (результаты представить на напряжении ступени КЗ 115 кВ):

а) I_{n0} – для $t = 0$;

б) I_{nt} – для $t = 0,3$ с.;

в) $I_{n\infty}$ – $t = \infty$, принимая $I_{*f_{пр}} = E_{*пр} = 3,2$;

- $U_{ост(\infty)}$ – остаточное напряжение на шинах генераторов **Г9** (узел ∇) в установившемся режиме КЗ.

2. Режим $K^{(n)}$ – *несимметричного КЗ* (для несимметрии $K^{(n)}$ и $L^{(n)}$ учесть наличие реакторов в нейтралях 230 кВ автотрансформаторов **АТ1** и **АТ1**, сопротивление которых составляет $x_p = 7,0$ Ом и взаимную реактивность нулевой последовательности между цепями **Л1**)

В точке $K^{(1,1)}$, которая расположена на **Л1** при $I_K = 0,5$ и включенном выключателе **В1**, рассчитать:

- I_K – действующее значение периодической слагаемой тока КЗ поврежденных фаз;

- U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} и U_{KA} – симметричные составляющие напряжения и остаточное напряжение неповрежденной фазы;

- построить векторные диаграммы I_K и U_K ;

- $I_{N(реакт.)}$ – ток в реакторе, установленного в нейтрали **АТ1**, приведенный к $U = 230$ кВ.

3. Режим $L^{(n)}$ – *продольной несимметрии*

Выключателем **В2** осуществляется отключение поврежденных фаз B и C воздушной линии **Л1** и одновременно отключается секционный выключатель

чатель **В1**. Для образовавшегося неполнофазного режима $L^{(2)}$ рассчитать:

- I_{LA} – ток неповрежденной фазы в цепи выключателя;
- симметричные составляющие напряжения U_{La1} , U_{La2} , U_{L0} для узлов: «*a*», *L*, *L'*, «*b*»; по полученным результатам построить эпюры симметричных составляющих напряжений; для наглядности результата напряжения указанных узлов представить либо в именованных единицах, приведенных к ступени 115 кВ, либо в относительных единицах;
- U_{LA}, U_{LB}, U_{LC} – фазные напряжения на клемме *L* выключателя;
- $U_{L'B}, U_{L'C}$ – фазные напряжения отключенных фаз *B* и *C* на клемме *L'*;

К моменту отключения фазы *B* и *C* выключателя фаза вектора ЭДС ($E''_{Г10}$) генератора Г10 опережала фазу эквивалентного вектора ЭДС других генерирующих источников ($E''_{Г1,2,9,C}$) на $\delta = 45^\circ$.

Задание № 10

Для электрической системы, представленной на **схеме 10**, выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов.

1. Режим $K^{(3)}$ – *трехфазного КЗ*

В заданной точке $K^{(3)}$ для разных условий рассматриваются два независимых трехфазных замыканий $K_1^{(3)}$ и $K_2^{(3)}$.

Для режима $K_1^{(3)}$ (выключатели **В1**, **В2** *отключены*, **В3** – включен) при $t = 0$ рассчитать:

- I_{nK1} – действующие значения периодической слагаемой тока короткого замыкания;
- i_y, S_{K1} – ударный ток и мощность КЗ;
- $I_{n0}^{(2)}$ – действующие значения тока двухфазного короткого замыкания.

Для режима $K_2^{(3)}$ (выключатель **В3** *отключен*, **В1**, **В2** – включены) при $t = 0$:

- определить реактивность секционного реактора x_p (Ом и %) из условия, что ток КЗ в рассматриваемом режиме I_{nK2} должен составлять $I_{nK2} = 1,3 I_{nK1}$; в расчетах принять: мощность реактора $S_p = S_{Г15}$ и $U_{p(ном)} = U_{Г15(ном)}$;
- $U_{ост}$ – остаточное напряжение на шинах Г15 (узел ∇) для режима $K_2^{(3)}$ (наличии реактора);

- I_{nt} – действующие значения периодической слагаемой тока генератора Г15 для $t = 0,2$ с. (режим $K_2^{(3)}$ с реактором).

2. Режим $K^{(n)}$ – несимметричного КЗ (для несимметрии $K^{(n)}$ и $L^{(n)}$ считать, что три цепи Л2 имеют одинаковую взаимную индуктивность нулевой последовательности; выключатели В1 В2 отключены, В3 – включен)

В заданной точке $K^{(1,1)}$ схемы рассчитать:

- I_K – действующее значение периодической слагаемой тока КЗ поврежденных фаз;
- U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} и U_{KA} – симметричные составляющие напряжения и остаточное напряжение неповрежденной фазы;
- построить векторные диаграммы I_K и U_K ;
- симметричные составляющие напряжения U_{Ka1}, U_{Ka2} , для узлов: $K^{(1,1)}, a, b, \nabla, Г15$; по полученным результатам построить эпюры симметричных составляющих напряжений; для наглядности результата напряжения указанных узлов представить в именованных единицах, приведенных к ступени КЗ (115 кВ).

3. Режим $L^{(n)}$ – продольной несимметрии

В рассматриваемой схеме осуществляется включение генераторов ЭСТ1 и ЭСТ2 на параллельную работу с «системой» выключателем В4. Считая, что такое включение производится одновременно: а) тремя, б) двумя фазами выключателя, определить для указанных случаев начальные значения сверхпереходного тока ($I_{В4}$) в цепи выключателя (к моменту включения фаза вектора ЭДС системы (E_{C2}) опережала эквивалентный вектор ЭДС генераторов ЭСТ1,2 ($E''_{Г10,14,15}$) на угол $\delta = 150^\circ$).

Дополнительно рассчитать:

- для условия б) падение напряжения ΔU_{LA} не замкнувшей фазы А;
- I_{LA} – ток фазы А в одной из цепей Л1 для условий а) и б);
- для условий а) и б) – отношение токов $I_{В4} / I_{(Г10,14,15)}$ в момент синхронизации.

Задание № 11

Для электрической системы, представленной на схеме 11, выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов.

1. Режим $K^{(3)}$ – трехфазного КЗ

В заданной точке $K^{(3)}$ схемы для $t = 0$ рассчитать:

- I_{n0} – действующие значения периодической слагаемой тока короткого замыкания;
- i_y, S_K – ударный ток и мощность КЗ;

- $U_{ост}$ – остаточное напряжение на шинах Г12 (узел ∇);
- I_{nt} – действующие значения периодической слагаемой тока генератора Г12 для $t = 0,3$ с.;
- $I_{n0}^{(2)}$ – действующие значения тока двухфазного короткого замыкания;

2. Режим $K^{(n)}$ – несимметричного КЗ (сопротивление реактора в нейтрали трансформатора ТРЗ составляет $x_p = 22$ Ом; между цепями ЛЗ взаимная индуктивность нулевой последовательности отсутствует)

В заданной точке $K^{(1)}$ схемы, которая определена параметром $I_K = 0,5$ на цепи ЛЗ, рассчитать:

- I_K – действующее значение периодической слагаемой тока КЗ поврежденной фазы;
- U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} и U_{KB}, U_{KC} – симметричные составляющие напряжения и остаточное напряжение неповрежденных фаз;
- построить векторные диаграммы I_K и U_K ;
- $I_{N(реакт.)}$ – ток в нейтрали ТРЗ, приведенный к $U = 230$ кВ.

3. Режим $L^{(n)}$ – продольной несимметрии

Для режима ($L^{(1)}$), соответствующего отключению ранее поврежденной фазы, рассчитать:

- I_{LB} – ток неповрежденной фазы **B** на участке l_K ;
- ΔU_{LA} – падение напряжения в месте разрыва фазы **A**;
- I_{LB} – ток фазы **B** в цепи выключателя **B1**;

К моменту отключения поврежденной фазы угол расхождения векторов ЭДС двух эквивалентных источников, расположенных по обе стороны места разрыва, составляет $\delta = 45^\circ$.

Задание № 12

Для электрической системы, представленной на **схеме 12** (выключатель **B1** включен во всех режимах), выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов.

1. Режим $K^{(3)}$ – трехфазного КЗ

В заданной точке $K^{(3)}$, которая определена параметром $I_K = 1$ на схеме, для $t = 0$ рассчитать:

- I_{n0} – действующие значения периодической слагаемой тока короткого замыкания;
- i_y, S_K – ударный ток и мощность КЗ;

- действующие значения периодической слагаемой тока генератора Г8, посылаемого в место КЗ для трех моментов времени (результаты привести к напряжению ступени КЗ (230 кВ):

а) I_{n0} – для $t = 0$;

б) I_{nt} – для $t = 0,3$ с.;

в) $I_{n\infty}$ – для $t = \infty$ (ток становившегося режима КЗ), принимая $I_{*f_{пр}} = E_{*пр} = 3,0$;

- $U_{ост(0)}$, $U_{ост(\infty)}$ – остаточное напряжение на шинах генератора Г8 (узел ∇) в режиме КЗ для $t = 0$ и $t = \infty$;

- $I_{n0}^{(2)}$ – действующие значения тока двухфазного короткого замыкания.

2. Режим $K^{(n)}$ – несимметричного КЗ (сопротивление реактора в нейтрали трансформаторов ТР3 и ТР4 составляет $x_p = 25$ Ом; между цепями Л1 имеется взаимная индуктивность нулевой последовательности)

В заданной точке $K^{(1)}$ схемы, которая определена параметром $I_K = 1$, рассчитать:

- I_K – действующее значение периодической слагаемой тока КЗ поврежденной фазы;

- U_{Ka1} , U_{Ka2} , U_{K0} и U_{KB} , U_{KC} – симметричные составляющие напряжения и остаточные напряжения неповрежденных фаз;

- построить векторные диаграммы I_K и U_K ;

- I_{KA} – ток фазы А неповрежденной цепи Л1;

- симметричные составляющие напряжения U_{Ka1} , U_{Ka2} , U_{K0} для узлов: $K^{(1)}$, а, b, d, Г6 по полученным результатам построить эпюры симметричных составляющих напряжений; для наглядности результата напряжения указанных узлов представить в именованных единицах, приведенных к ступени КЗ (230 кВ).

3. Режим $L^{(n)}$ – продольной несимметрии

Рассмотреть два режима.

Режим 1. В рассматриваемой схеме при **выключенном** выключателе В2 находятся в совместной работе система С1 и генераторы Г5, Г6 ЭСТ1. Одновременным включением трех фаз выключателя В2 осуществляется синхронизация генераторов Г7, Г8 ЭСТ2 с работающей частью энергосистемы. **Определить** угол (δ), который характеризует расхождение эквивалентного вектора ЭДС генераторов ЭСТ2 ($E''_{Г7,8}$) с эквивалентным вектором ЭДС работающей части энергосистемы ($E''_{С1,Г5,6}$) для обеспечения условия: ток в цепи выключателя (I_B) составлял $I_B = I_{ном(Г7,8)}$.

Режим 2. Считаем, что при синхронизации замкнулись только две фазы выключателя **В2**. Для образовавшегося режима $L^{(1)}$ определить ток замкнутых фаз выключателя (I_B) принимая, что к моменту синхронизации угол (δ) расхождения векторов ($E''_{Г7,8}$) и ($E''_{С1,Г5,6}$) остался тем же, что и в **режиме 1**.

Задание № 13

Для электрической системы, представленной на **схеме 13**, выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов.

1. Режим $K^{(3)}$ – *трехфазного КЗ*

В заданной точке $K^{(3)}$ для $t = 0$ рассчитать:

- I_{n0} – действующие значения периодической слагаемой тока короткого замыкания;
- i_y, S_K – ударный ток и мощность КЗ;
- $I_{n0}^{(2)}$ – действующие значения тока двухфазного короткого замыкания;
- действующие значения периодической слагаемой тока генераторов **Г12, Г13** посылаемого в место КЗ для трех моментов времени (результаты представить на напряжении ступени КЗ 230 кВ):
 - а) I_{n0} – для $t = 0$;
 - б) I_{nt} – для $t = 0,3$ с.;
 - в) $I_{n\infty}$ – $t = \infty$, принимая $I_{*fпр} = E_{*пр} = 4,0$;
- $U_{ост(\infty)}$ – остаточное напряжение на шинах генератора **Г12** (узел ∇) в установившемся режиме КЗ.

2. Режим $K^{(n)}$ – *несимметричного КЗ* (для несимметрии $K^{(n)}$ и $L^{(n)}$ сопротивление реактора в нейтрали трансформатора ТТ5 составляет $x_P = 10$ Ом; между цепями ЛЗ взаимная индуктивность нулевой последовательности отсутствует)

В заданной точке $K^{(1)}$ схемы рассчитать:

- I_K – действующее значение периодической слагаемой тока КЗ поврежденной фазы;
- U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} и U_{KB}, U_{KC} – симметричные составляющие напряжения и остаточные напряжения неповрежденных фаз;
- построить векторные диаграммы I_K и U_K ;
- симметричные составляющие напряжения U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} для узлов: $K^{(1)}, a, b, \nabla, Г12$; по полученным результатам построить эпюры симметричных составляющих напряжений; для наглядности результата

напряжения указанных узлов представить в именованных единицах, приведенных к ступени генераторного напряжения (10,5 кВ);

3. Режим $L^{(n)}$ – продольной несимметрии

В рассматриваемой схеме осуществляется включение генераторов ЭСТ1 на параллельную работу с «системами 2, 3» выключателем В1. Считая, что такое включение производится одновременно двумя фазами выключателя, определить угол (δ) расхождения эквивалентного вектора ЭДС генераторов станции ЭСТ1 ($E''_{Г12,13}$) и эквивалентного вектора ЭДС «систем 2 и 3» ($E_{C2,3}$) из условия, что бы ток в цепи выключателя ($I_{В1}$) составлял $I_{В1} = 0,5 I_{(Г12,Г13)}$.

Принимая, что при найденном угле δ вектор $E''_{Г12,13}$ опережал вектор $E_{C2,3}$, рассчитать:

- ΔU_{LA} – падение напряжения в месте разрыва фазы A ;
- U_{LA}, U_{LB}, U_{LC} – фазные напряжения на клемме L выключателя В1;
- $U_{L'A}$ – фазное напряжение отключенной фазы A на клемме L' .

Задание № 14

Для электрической системы, представленной на схеме 14, выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов.

1. Режим $K^{(3)}$ – трехфазного КЗ

В заданной точке $K^{(3)}$ схемы, которая определена параметром $I_K = 1$ (выключатель В1 включен), для $t = 0$ рассчитать:

- I_{n0} – действующие значения периодической слагаемой тока короткого замыкания;
- i_y, S_K – ударный ток и мощность КЗ;
- $U_{ост}$ – остаточное напряжение на шинах генератора Г4 (узел ∇);
- I_{nt} – действующие значения периодической слагаемой тока генератора Г4 для $t = 0$ и $t = 0,2$ с., приведенные к напряжению ступени КЗ (110 кВ).

2. Режим $K^{(n)}$ – несимметричного КЗ

В заданной точке $K^{(1,1)}$ схемы, которая определена параметром $I_K = 1$ (выключатель В1 включен), рассчитать:

- I_K – действующее значение периодической слагаемой тока КЗ поврежденных фаз;
- U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} и U_{KA} – симметричные составляющие напряжения и остаточное напряжение неповрежденной фазы;

- построить векторные диаграммы I_K и U_K .

3. Режим $L^{(n)}$ – продольной несимметрии

Для режима ($L^{(2)}$), соответствующего отключению ранее поврежденных фаз и **отключенном** секционном выключателе **В1**, рассчитать:

- I_{LA} – ток неповрежденной фазы A на участке l_K ;
- I_{LB} – ток фазы B неповрежденной цепи ЛЗ;
- ΔU_{LB} – падение напряжения в месте разрыва фазы B ;
- $U_{LB}, U_{L'B}$ – фазные напряжения в узлах L и L' отключенной фазы B выключателя **В2**.

- симметричные составляющие напряжения U_{La1}, U_{La2}, U_{L0} для узлов: $L', L, «a», «b» «С3»$; по полученным результатам построить эпюры симметричных составляющих напряжений; для наглядности результата напряжения указанных узлов представить либо в именованных единицах, приведенных к ступени 115 кВ, либо в относительных единицах.

К моменту отключения поврежденных фаз эквивалентный вектор ЭДС генераторов Г3, Г4 и С3 ($E''_{Г3,4,С3}$) опережала фазу эквивалентного вектора ЭДС генератора Г10 и С2 ($E''_{Г10,С2}$) на $\delta = 40^\circ$.

Задание № 15

Для электрической системы, представленной на **схеме 15** (выключатель **В1** включен во всех режимах), выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов.

1. Режим $K^{(3)}$ – трехфазного КЗ

В заданной точке $K^{(3)}$ схемы, рассчитать:

- I_{n0} – действующие значения периодической слагаемой тока короткого замыкания при $t = 0$;
- i_y, S_K – ударный ток и мощность КЗ при $t = 0$;
- действующие значения периодической слагаемой суммарного тока генераторов Г5 и Г6, посылаемого в место КЗ для трех моментов времени (результаты представить на ступени генераторного напряжения 15,75 кВ):

а) I_{n0} – для $t = 0$;

б) I_{nt} – для $t = 0,3$ с.;

в) $I_{n\infty}$ – $t = \infty$, принимая для обоих генераторов $I_{*fпр} = E_{*пр} = 3,2$;

- $U_{ост(\infty)}$ – остаточное напряжение на шинах генератора Г5 (узел ∇)

в установившемся режиме КЗ.

2. Режим $K^{(n)}$ – несимметричного КЗ

В точке $K^{(1,1)}$, которая расположена на Л1 при $l_K = 0,5$ рассматриваются два режима двухфазного замыкания на землю.

Режим 1. Между цепями Л1 существует реактивность нулевой последовательности, равная $x_{0I-II} = 1,8x_1$; реактор в нейтрали ТРЗ отсутствует; режиму соответствует $I_{KI}^{(1,1)}$.

Режим 2. Между цепями Л1 отсутствует взаимная индуктивность; реактор в нейтрали ТРЗ установлен; режиму соответствует $I_{K2}^{(1,1)}$.

Определить сопротивление реактора x_P в нейтрали ТРЗ, исходя из условий: $I_{K2}^{(1,1)} = I_{KI}^{(1,1)}$ (замечание: x_P должно быть приведено к ступени 230 кВ).

Рассчитать для режим 1:

- U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} и U_{KA} – симметричные составляющие напряжения и остаточное напряжение неповрежденной фазы;
- построить векторные диаграммы I_K и U_K .

3. Режим $L^{(n)}$ – продольной несимметрии (между цепями Л1 существует реактивность нулевой последовательности, равная $x_{0I-II} = 1,8x_1$; реактор в нейтрали ТРЗ отсутствует)

В цепи выключателя В2 происходит разрыв фазы А. Для этих условий рассчитать:

- I_L – ток нормального режима в цепи выключателя;
- I_{LB}, I_{LC} – ток неповрежденных фаз в цепи выключателя;
- U_{LA}, U_{LB}, U_{LC} – фазные напряжения в узле L выключателя;
- $U_{L'A}$ – напряжение отключенной фазы А в узле L';
- построить эпюры симметричных составляющих напряжений U_{La1}, U_{La2}, U_{L0} на участке, включающий узлы: Г5, ∇, L и L'; для наглядности результата напряжения представить либо в именованных единицах, приведенных к ступени 230 кВ, либо в относительных единицах.

К моменту разрыва фазы А выключателя фаза эквивалентного вектора ЭДС ($E''_{Г5,6}$) генераторов Г5, Г6 опережала фазу вектора ЭДС системы (E_C) на $\delta = 45^\circ$.

Задание № 16

Для электрической системы, представленной на схеме 16, выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов.

1. Режим $K^{(3)}$ – трехфазного КЗ

- Определить реактивность пускового реактора x_P (Ом и %) из условия, что бы при реакторном пуске синхронного двигателя СД1 пусковой ток $I_{пуск(с\ реактором)}$ снизился до уровня

$I_{\text{пуск(с реактором)}} = 0,5I_{\text{пуск(без реактора)}}$; в расчетах принять: мощность реактора $S_P = S_{\text{СД1}}$ и $U_{P(\text{ном})} = U_{\text{СД1}(\text{ном})}$;

- $U_{\text{ост}}$ – остаточное напряжение на шинах ТЗ (узел ∇) при прямом и реакторном пуске.

2. Режим $K^{(n)}$ – несимметричного КЗ (для несимметрии $K^{(n)}$ и $L^{(n)}$ сопротивление реактора в нейтрали трансформатора Т1 составляет $x_P = 12$ Ом)

В заданной точке $K^{(1)}$ схемы, которая определена параметром $I_K = 1$ (выключатель **В2** отключен), рассчитать:

- I_K – действующее значение периодической слагаемой тока КЗ поврежденной фазы;
- U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} и U_{KB}, U_{KC} – симметричные составляющие напряжения и остаточные напряжения неповрежденных фаз;
- построить векторные диаграммы I_K и U_K ;
- $I_{N(\text{реакт.})}$ – ток в нейтрали **Т1**, приведенный к напряжению 115 кВ;
- симметричные составляющие напряжения U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} для узлов: $K^{(1)}$, «b», «a» Г10; по полученным результатам построить эпюры симметричных составляющих напряжений; для наглядности результата напряжения указанных узлов представить либо в именованных единицах, приведенных к ступени 115 кВ, либо в относительных единицах;

3. Режим ∞ – установившийся режим

Для *установившегося режима* схемы при отключенном СД1 (выключателем **В2**) рассчитать ток в цепи выключателя **В3** (I_{B3}) для двух условий.

Вариант 1. В схеме симметричный нормальный режим.

Вариант 2. Отключена одна фаза выключателя **В3** (несимметрия $L^{(1)}$).

Сдвиг фазы вектора ЭДС генератора Г10 ($E_{q(\Gamma10)}$) и эквивалентного вектора ЭДС генераторов ЭСТ1 ($E_{q(\Gamma1,2)}$) составляет $\delta = 40^\circ$. Полученные результаты сравнить.

Задание № 17

Для электрической системы, представленной на **схеме 17**, выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов.

1. Режим $K^{(3)}$ – трехфазного КЗ

В заданной точке $K^{(3)}$ для $t = 0$ рассчитать:

- I_{n0} – действующие значения периодической слагаемой тока короткого замыкания;
- i_y, S_K – ударный ток и мощность КЗ;

- $U_{ост}$ – остаточное напряжение на высокой стороне трансформатора ТР2 (узел ∇) и на шинах генератора Г4;
- $I_{n0}^{(2)}$ – действующие значения тока двухфазного короткого замыкания;
- I_{nt} – действующие значения периодической слагаемой тока генератора Г4 для $t = 0,3$ с.

2. Режим $K^{(n)}$ – несимметричного КЗ (для несимметрии $K^{(n)}$ и $L^{(n)}$ сопротивление реактора в нейтрали обмотки высокого напряжения (230 кВ) автотрансформатора АТ1 составляет $x_P = 9,0$ Ом)

В заданной точке $K^{(1,1)}$, которая определена параметром $I_K = 1,0$ на линии Л1, рассчитать:

- I_K – действующие значения периодической слагаемой тока КЗ поврежденных фаз;
- U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} и U_{KA} – симметричные составляющие напряжения и остаточное напряжение неповрежденной фазы;
- построить векторные диаграммы I_K и U_K ;
- симметричные составляющие напряжения U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} для узлов: $K^{(1,1)}, a, b, C2$; по полученным результатам построить эпюры симметричных составляющих напряжений; для наглядности результата напряжения указанных узлов представить в относительных единицах;
- $U_{ост.К}$ – остаточные напряжения фаз A, B, C на средней стороне автотрансформатора АТ1 (узел a);
- I_N – ток в нейтрали АТ1, приведенный к $U = 230$ кВ.

3. Режим $L^{(n)}$ – продольной несимметрии

Для режима ($L^{(2)}$), соответствующего отключению ранее поврежденных фаз выключателем В1, рассчитать:

- I_{LA} – ток неповрежденной фазы на участке l_K ;
- I_{LA} – ток фазы A неповрежденной цепи линии Л1 (участок l);
- $\Delta U_{LB}, \Delta U_{LC}$, – падения напряжения в месте разрыва фаз B, C ;
- U_{LA}, U_{LB}, U_{LC} – фазные напряжения на клеммах L выключателя В1;
- $U_{L'}$ – фазные напряжения на клеммах L' отключившихся фаз B и C выключателя.

К моменту отключения поврежденных фаз эквивалентный вектор ЭДС генераторов станции ЭСТ1 ($E''_{Г3,4}$) опережал эквивалентный вектор ЭДС «системы 2» и Г9 ($E''_{С,Г9}$) на $\delta = 45^\circ$.

Задание № 18

Для электрической системы, представленной на **схеме 18**, выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов.

1. Режим $K^{(3)}$ – *трехфазного КЗ*

В заданной точке $K^{(3)}$ схемы, которая определена параметром $I_K = 0,5$ на Л4, для $t = 0$ рассчитать:

- I_{n0} – действующие значения периодической слагаемой тока короткого замыкания;
- i_y, S_K – ударный ток и мощность КЗ;
- $U_{ост}$ – остаточное напряжение на высокой стороне трансформатора Т1 (узел ∇);
- I_{nt} – действующие значения периодической слагаемой тока генератора Г10 для $t = 0,4$ с.

2. Режим $K^{(n)}$ – *несимметричного КЗ*

В заданной точке $K^{(1)}$ схемы, которая определена параметром $I_K = 0,5$ на Л4, рассчитать:

- I_K – действующее значение периодической слагаемой тока КЗ поврежденной фазы;
- U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} и U_{KB}, U_{KC} – симметричные составляющие напряжения и остаточное напряжение неповрежденных фаз;
- построить векторные диаграммы I_K и U_K ;
- I_0 – ток нулевой последовательности в трансформаторе Т1, приведенный к $U = 115$ кВ.

3. Режим $L^{(n)}$ – *продольной несимметрии*

Для режима ($L^{(1)}$), соответствующего отключению ранее поврежденной фазы, рассчитать:

- I_{LB} – ток неповрежденной фазы **B** на участке I_K ;
- ΔU_{LA} – падение напряжения в месте разрыва фазы **A**;
- I_{LB} – ток фазы **B** в цепи выключателя **B1**;

К моменту отключения поврежденной фазы угол расхождения векторов ЭДС двух эквивалентных источников, расположенных по обе стороны места разрыва, составляет $\delta = 45^\circ$.

Задание № 19

Для электрической системы, представленной на **схеме 19** (выключатели **B1** и **B2** включен во всех режимах), выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов.

1. Режим $K^{(3)}$ – трехфазного КЗ

В заданной точке $K^{(3)}$, которая определена параметром $I_K = 1$ на воздушной линии Л1 (выключатель ВЗ включен), для $t = 0$ рассчитать:

- I_{n0} – действующие значения периодической слагаемой тока короткого замыкания;
- i_y, S_K – ударный ток и мощность КЗ;
- действующие значения периодической слагаемой тока генератора Г8, посылаемого в место КЗ для трех моментов времени (результаты представить на напряжении ступени КЗ 230 кВ):
 - а) I_{n0} – для $t = 0$;
 - б) I_{nt} – для $t = 0,3$ с.;
 - в) $I_{n\infty}$ – для $t = \infty$ (ток становившегося режима КЗ), принимая $I_{*f_{пр}} = E_{*пр} = 3,4$;
- $U_{ост(\infty)}$ – остаточное напряжение на шинах генератора Г8 (узел ∇) в установившемся режиме КЗ.

2. Режим $K^{(n)}$ – несимметричного КЗ

В заданной точке $K^{(1)}$ схемы, которая определена параметром $I_K = 1$ (выключатель ВЗ включен), рассчитать:

- I_K – действующее значение периодической слагаемой тока КЗ поврежденной фазы (между цепями Л1 имеется взаимная индуктивность нулевой последовательности);
- U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} и U_{KB}, U_{KC} – симметричные составляющие напряжения и остаточные напряжения неповрежденных фаз;
- построить векторные диаграммы I_K и U_K ;
- I_{KA} – ток фазы А неповрежденной цепи Л1;
- симметричные составляющие напряжения U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} для узлов: $K^{(1)}$, «b», «a», С1; по полученным результатам построить эпюры симметричных составляющих напряжений; для наглядности результата напряжения указанных узлов представить в именованных единицах, приведенных к ступени КЗ (230 кВ).

3. Режим $L^{(n)}$ – продольной несимметрии

Для режима ($L^{(1)}$), соответствующего отключению ранее поврежденной фазы выключателем ВЗ, рассчитать:

- I_{LB} – ток неповрежденной фазы В на участке I_K ;
- I_{LB} – ток фазы В неповрежденной цепи Л1 (участок I);
- ΔU_{LA} – падение напряжения в месте разрыва фазы А;

- симметричные составляющие напряжения U_{La1} , U_{La2} , U_{L0} для узлов: Г8, ∇, L, L'; по полученным результатам построить эпюры симметричных составляющих напряжений; для наглядности результата напряжения указанных узлов представить в именованных единицах, приведенных к ступени 230 кВ;

- U_{LA}, U_{LB}, U_{LC} – фазные напряжения на клемме L выключателя ВЗ;

- $U_{L'A}$ – фазное напряжение отключенной фазы A на клемме L';

К моменту отключения фазы A выключателя фаза эквивалентного вектора ЭДС генераторов Г5, Г6, Г7, Г8 ЭСТ1 ($E''_{Г5,6,7,8}$) опережала фазу вектора ЭДС системы С1 (E_{C1}) на $\delta = 60^\circ$.

Задание № 20

Для электрической системы, представленной на схеме 20, выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов.

1. Режим $K^{(3)}$ – трехфазного КЗ

В заданной точке $K^{(3)}$ схемы для $t = 0$ рассчитать:

- I_{n0} – действующие значения периодической слагаемой тока короткого замыкания;

- i_y, S_K – ударный ток и мощность КЗ;

- $U_{ост}$ – остаточное напряжение на шинах генератора Г10 (узел ∇);

- I_{nt} – действующие значения периодической слагаемой тока генератора Г10 для $t = 0, 4$ с;

- $I_{n0}^{(2)}$ – действующие значения тока двухфазного короткого замыкания.

2. Режим $K^{(n)}$ – несимметричного КЗ

В заданной точке $K^{(1,1)}$ схемы, которая определена параметром $I_K = 1,0$ на ЛЗ, рассчитать:

- I_K – действующее значение периодической слагаемой тока КЗ поврежденных фаз;

- U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} и U_{KA} – симметричные составляющие напряжения и остаточное напряжение неповрежденной фазы;

- построить векторные диаграммы I_K и U_K ;

3. Режим $L^{(n)}$ – продольной несимметрии

Для режима ($L^{(2)}$), соответствующего отключению ранее поврежденных фаз, рассчитать:

- I_{LA} – ток неповрежденной фазы A на участке I_K ;

- ΔU_{LA} – падение напряжения в месте разрыва фазы A
- I_{LA} – ток фазы A не поврежденной цепи ЛЗ.

К моменту отключения поврежденных фаз угол расхождения векторов ЭДС двух эквивалентных источников схемы, расположенных по обе стороны места разрыва, составляет $\delta = 45^\circ$.

Задание № 21

Для электрической системы, представленной на **схеме 21**, выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов.

1. Режим $K^{(3)}$ – *трехфазного КЗ*

В заданной точке $K^{(3)}$, которая определена параметром $I_K = 1$ воздушной линии Л1, для $t = 0$ рассчитать:

- I_{n0} – действующие значения периодической слагаемой тока короткого замыкания;
- i_y, S_K – ударный ток и мощность КЗ;
- $I_{n\infty}$ – действующие значения периодической слагаемой тока, посылаемого генератором Г13 в установившемся режиме КЗ учитывая, что для него $I_{*f_{пр}} = E_{*пр} = 3,2$;

- $U_{ост(\infty)}$ – остаточное напряжение на шинах генератора Г13 (узел ∇) в установившемся режиме КЗ.

2. Режим $K^{(n)}$ – *несимметричного КЗ* (для несимметрии $K^{(n)}$ и $L^{(n)}$ учесть взаимную реактивность нулевой последовательности между цепями Л1)

В заданной точке $K^{(1)}$ схемы, которая определена параметром $I_K = 1,0$ на Л1, рассчитать:

- I_K – действующее значение периодической слагаемой тока КЗ поврежденных фаз;
- U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} и U_{KB}, U_{KC} – симметричные составляющие напряжения и остаточные напряжения неповрежденных фаз;
- построить векторные диаграммы I_K и U_K ;
- симметричные составляющие напряжения U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} для узлов: $K^{(1)}, \nabla, Г13$; по полученным результатам построить эпюры симметричных составляющих напряжений; для наглядности результата напряжения указанных узлов представить либо в именованных единицах, приведенных к ступени 230 кВ, либо в относительных единицах;

- U_{KA}, U_{KB}, U_{KC} – остаточные напряжения на шинах генератора Г13 (узел ∇).

3. Режим $L^{(n)}$ – продольной несимметрии

Для режима ($L^{(1)}$), соответствующего разрыву ранее поврежденной фазы в месте КЗ, рассчитать:

- I_L – ток нормального режима в цепи генератора Г13;
- I_{LB} – ток неповрежденной фазы B в цепи генератора Г13;
- ΔU_{LA} – падение напряжения в месте разрыва фазы A
- I_{LA} – ток фазы A не поврежденной цепи Л1;
- $U_{LA}, U_{L'A}$ – фазные напряжения на стороне L и L' места разрыва фазы A .

К моменту разрыва поврежденной фазы вектор ЭДС генератора Г13 (E''_{G13}) опережал вектор ЭДС эквивалентного источника схемы, расположенного по другую сторону места разрыва, на угол $\delta = 55^\circ$.

Задание № 22

Для электрической системы, представленной на схеме 22, выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов.

1. Режим $K^{(3)}$ – трехфазного КЗ

В заданной точке $K^{(3)}$ для $t = 0$ рассчитать:

- I_{n0} – действующие значения периодической слагаемой тока короткого замыкания;
- i_y, S_K – ударный ток и мощность КЗ;
- действующие значения периодической слагаемой тока генератора Г8, посылаемого в место КЗ для трех моментов времени (результаты представить на ступени генераторного напряжения 15,75 кВ):

а) I_{n0} – для $t = 0$;

б) I_{nt} – для $t = 0,3$ с.;

в) $I_{n\infty}$ – для $t = \infty$ (ток становившегося режима КЗ), принимая

$$I_{*fпр} = E_{*пр} = 3,4;$$

- $U_{ост(0)}, U_{ост(\infty)}$ – остаточное напряжение на шинах генератора Г7 (узел ∇) в режиме КЗ для $t = 0$ и $t = \infty$;

- $I_{n0}^{(2)}$ – действующие значения тока двухфазного короткого замыкания.

2. Режим $K^{(n)}$ – несимметричного КЗ (для несимметрии $K^{(n)}$ и $L^{(n)}$ сопротивление реактора в нейтральных трансформаторов ТР3 и ТР4 составляет $x_P = 20$ Ом)

В заданной точке $K^{(1,1)}$ схемы, которая определена параметром

$I_K = 0,4$, рассчитать:

- I_K – действующее значение периодической слагаемой тока КЗ поврежденной фазы;
- U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} и U_{KA} – симметричные составляющие напряжения и остаточное напряжение неповрежденной фазы;
- построить векторные диаграммы I_K и U_K ;
- I_N – ток в нейтрали ТР4, приведенный к напряжению 230 кВ;

3. Режим $L^{(n)}$ – продольной несимметрии

Осуществляется включение генераторов ЭСТ1 на параллельную работу с «системой» выключателем ВЗ в двух разных условиях.

Вариант 1. Включение производится одновременно тремя фазами выключателя; при этом угол рассогласования вектора эквивалентной ЭДС генераторов ЭСТ1 ($E''_{Г5-8}$) и системы ($E_{С3}$) составляет $\delta_1 = 75^\circ$. Для этих условий требуется рассчитать:

- $I_{ВЗ}$ – ток в цепи выключателя;
- отношение токов $I_{ВЗ} / I_{(Г5-8)}$ для момента синхронизации.

Вариант 2. Включение производится одновременно двумя фазами выключателя. Требуется определить угол (δ_2) расхождения эквивалентного вектора ЭДС генераторов станции ЭСТ1 ($E''_{Г5-8}$) и вектора ЭДС «системы» ($E_{С3}$) для обеспечения условия: ток включившихся фаз I_{LB} (I_{LC}) остался тем же, что и при трехфазной синхронизации, т.е. $I_{LB} = I_{ВЗ}$.

Задание № 23

Для электрической системы, представленной на **схеме 23**, выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов. (**Примечание:** параметры трансформатора ТР2 и синхронного двигателя СДЗ для вариантов №3,4,5 заменить на вариант №6 и варианта №9 – на № 8)

1. Режим $K^{(3)}$ – трехфазного КЗ

В заданной точке $K^{(3)}$ схемы, рассчитать:

- I_{n0} – действующие значения периодической слагаемой тока короткого замыкания при $t = 0$;
- i_y, S_K – ударный ток и мощность КЗ при $t = 0$;
- действующие значения периодической слагаемой тока генератора ГЗ, посылаемого в место КЗ для трех моментов времени (результаты представить на ступени генераторного напряжения 6,3 кВ):
 - а) I_{n0} – для $t = 0$;
 - б) I_{nt} – для $t = 0,3$ с.;
 - в) $I_{n\infty}$ – $t = \infty$, принимая $I^*_{fпр} = E^*_{пр} = 3,0$;

- $U_{ост(\infty)}$ – остаточное напряжение на шинах генератора ГЗ (узел ∇)

в установившемся режиме КЗ.

2. Режим $K^{(n)}$ – несимметричного КЗ

В точке $K^{(n)}$, которая расположена на Л12 при $I_K = 0,9$ рассматриваются два режима несимметричных замыканий на землю.

При **отсутствии реактора** в нейтрали ТР2 (115 кВ) однофазному замыканию на землю $K^{(1)}$ соответствует $I_{K1}^{(1)}$. Для снижения тока $I_{K2}^{(1,1)}$ двухфазного замыкания на землю $K^{(1,1)}$ в той же точке предусмотреть в нейтрали трансформатора с расщепленной обмоткой ТР2 реактор. Определить сопротивление реактора x_p , (приведенное к ступени 115 кВ), из условия $I_{K2}^{(1,1)} = I_{K1}^{(1)}$.

Рассчитать для режима $K^{(1)}$:

- U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} и U_{KB}, U_{KC} – симметричные составляющие напряжения и остаточные напряжения неповрежденных фаз;
- построить векторные диаграммы I_K и U_K .

3. Режим $L^{(n)}$ – продольной несимметрии (реактор в нейтрали ТР2 считать установленным; его реактивность принять по результатам проведенных в п.2 расчетов)

В цепи выключателя В1 происходит разрыв фазы А. Для этих условий рассчитать:

- I_{LB}, I_{LC} – ток неповрежденных фаз в цепи выключателя;
- U_{LA}, U_{LB}, U_{LC} – фазные напряжения в узле L выключателя;
- $U_{L'A}$ – напряжение отключенной фазы А в узле L';
- построить эпюры симметричных составляющих напряжений U_{La1}, U_{La2}, U_{L0} на участке, включающий узлы: С2, «а», L, L', «b»; для наглядности результата напряжения указанных узлов представить либо в именованных единицах, приведенных к ступени 115 кВ, либо в относительных единицах.

К моменту разрыва фазы А выключателя вектор ЭДС системы E_C опережал эквивалентный вектора ЭДС генерирующих элементов ЭС1 ($E''_{ГЗ,А,СД}$) на $\delta = 30^\circ$.

Задание № 24

Для электрической системы, представленной на **схеме 24**, выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов.

1. Режим $K^{(3)}$ – трехфазного КЗ

В заданной точке $K^{(3)}$ для разных условий рассматриваются два неза-

висимых трехфазных замыканий $K_1^{(3)}$ и $K_2^{(3)}$.

Для режима $K_1^{(3)}$ (выключатель **В2 отключен**, **В1, В3** – включены) при $t = 0$ рассчитать:

- I_{nK1} – действующие значения периодической слагаемой тока короткого замыкания;
- i_y, S_{K1} – ударный ток и мощность КЗ.

Для режима $K_2^{(3)}$ (выключатель **В3 отключен**, **В1, В2** – включены) при $t = 0$:

- определить реактивность секционного реактора x_p (Ом и %) из условия, что ток КЗ в рассматриваемом режиме I_{nK2} должен составлять $I_{nK2} = I_{nK1}$; в расчетах принять: мощность реактора $S_p = S_{Г15}$ и $U_{P(ном)} = U_{Г15(ном)}$;

- $U_{ост}$ – остаточное напряжение на шинах **Г15** (узел ∇) для режима $K_2^{(3)}$ (наличии реактора);
- I_{nt} – действующие значения периодической слагаемой тока генератора **Г15** для $t = 0, 2$ с. (режим $K_2^{(3)}$ с реактором).

2. Режим $K^{(n)}$ – несимметричного КЗ (для несимметрии $K^{(n)}$ и $L^{(n)}$ выключатель **В2 отключен**, **В1, В3** – включены)

В заданной точке $K^{(1)}$ схемы рассчитать:

- I_K – действующее значение периодической слагаемой тока КЗ поврежденной фазы;
- U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} и U_{KB}, U_{KC} – симметричные составляющие напряжения и остаточные напряжения неповрежденных фаз;
- построить векторные диаграммы I_K и U_K ;
- симметричные составляющие напряжения U_{Ka1}, U_{K0} для узлов:

$K^{(1)}, a, \nabla, Г15$; по полученным результатам построить эпюры симметричных составляющих напряжений; для наглядности результата напряжения указанных узлов представить в именованных единицах, приведенных к ступени КЗ (115 кВ).

- I_N – ток в нейтрали **АТ1**, приведенный к $U = 230$ кВ.

3. Режим $L^{(n)}$ – продольной несимметрии (при расчете параметров считать, что эквивалентный вектор ЭДС систем 2,3 ($E_{C2,3}$) опережает вектор ЭДС генераторов ЭСТ1 ($E''_{Г14,15}$) на угол $\delta = 50^\circ$).

Для режима ($L^{(1)}$), соответствующего отключению ранее поврежденной фазы выключателем **В**, рассчитать:

- I_{LB} – ток неповрежденной фазы **В** на участке l_K ;

- I_{LB} – ток фазы B неповрежденной цепи (участок l);
- ΔU_{LA} – падение напряжения в месте разрыва фазы A ;
- U_{LA}, U_{LB}, U_{LC} – фазные напряжения на клемме L выключателя B ;
- $U_{L'A}$ – фазное напряжение отключенной фазы A на клемме L' .

Задание № 25

Для электрической системы, представленной на **схеме 25**, выполнить расчет и анализ переходного процесса для трех режимов.

1. Режим $K^{(3)}$ – *трехфазного КЗ*

В заданной точке $K^{(3)}$ схемы (выключатели **B1**, **B2** включены), рассчитать:

- I_{n0} – действующие значения периодической слагаемой тока короткого замыкания при $t = 0$;
- i_y, S_K – ударный ток и мощность КЗ при $t = 0$;
- действующие значения периодической слагаемой результирующего тока генераторов **Г7**, **Г8**, посылаемого в место КЗ для трех моментов времени (результаты представить на напряжении ступени КЗ 230 кВ):

а) I_{n0} – для $t = 0$;

б) I_{nt} – для $t = 0,3$ с.;

в) $I_{n\infty}$ – $t = \infty$, принимая для них $I_{*f_{\text{пр}}} = E_{*_{\text{пр}}} = 3,8$;

- $U_{\text{ост}(\infty)}$ – остаточное напряжение на шинах генераторов **Г7** (узел ∇) в установившемся режиме КЗ.

2. Режим $K^{(n)}$ – несимметричного КЗ (для несимметрии $K^{(n)}$ и $L^{(n)}$ учесть наличие реактора в нейтрали 230 кВ трансформатора **Т9**, сопротивление которого составляет $x_p = 20$ Ом и взаимную реактивность нулевой последовательности между цепями **Л1**)

В точке $K^{(1)}$, которая расположена на **Л1** при $I_K = 1,0$ (секционный выключатель **B1** *отключен*, **B2** – включен) рассчитать:

- I_K – действующее значение периодической слагаемой тока КЗ поврежденной фазы;
- U_{Ka1}, U_{Ka2}, U_{K0} и U_{KB}, U_{KC} – симметричные составляющие напряжения и остаточные напряжения неповрежденных фаз;
- построить векторные диаграммы I_K и U_K ;
- $I_{N(\text{реакт.})}$ – ток в реакторе, установленного в нейтрали **Т9**, приведенный к $U = 230$ кВ.

3. Режим $L^{(n)}$ – *продольной несимметрии*

Выключателем **B2** осуществляется отключение только поврежденной фазы A и одновременно *включается* секционный выключатель **B1**. Для об-

разовавшегося неполнофазного режима $L^{(1)}$ на Л1 рассчитать:

- I_{LB}, I_{LC} – модуль тока неповрежденных фаз в цепи выключателя;
- симметричные составляющие напряжения U_{La1}, U_{La2}, U_{L0} для узлов: Г16, «a», L, L', «b»; по полученным результатам построить эпюры симметричных составляющих напряжений; для наглядности результата напряжения указанных узлов представить либо в именованных единицах, приведенных к ступени 230 кВ, либо в относительных единицах;
- U_{LA}, U_{LB}, U_{LC} – фазные напряжения на клемме L выключателя;
- $U_{L'A}$ – фазное напряжение отключенной фазы A на клемме L';

К моменту отключения фазы A выключателя фаза эквивалентного вектора ЭДС ($E''_{Г7,8,16}$) генераторов Г7, Г8, Г16 ЭСТ1 опережала фазу эквивалентного вектора ЭДС других генерирующих источников ($E''_{Г9,C}$) на $\delta = 40^\circ$.

4. ВАРИАНТЫ СХЕМ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

(Задание на курсовую работу и соответствующая ей схема имеют *один и тот же номер*; на каждой ступени трансформации приведено её *среднее номинальное напряжение*)

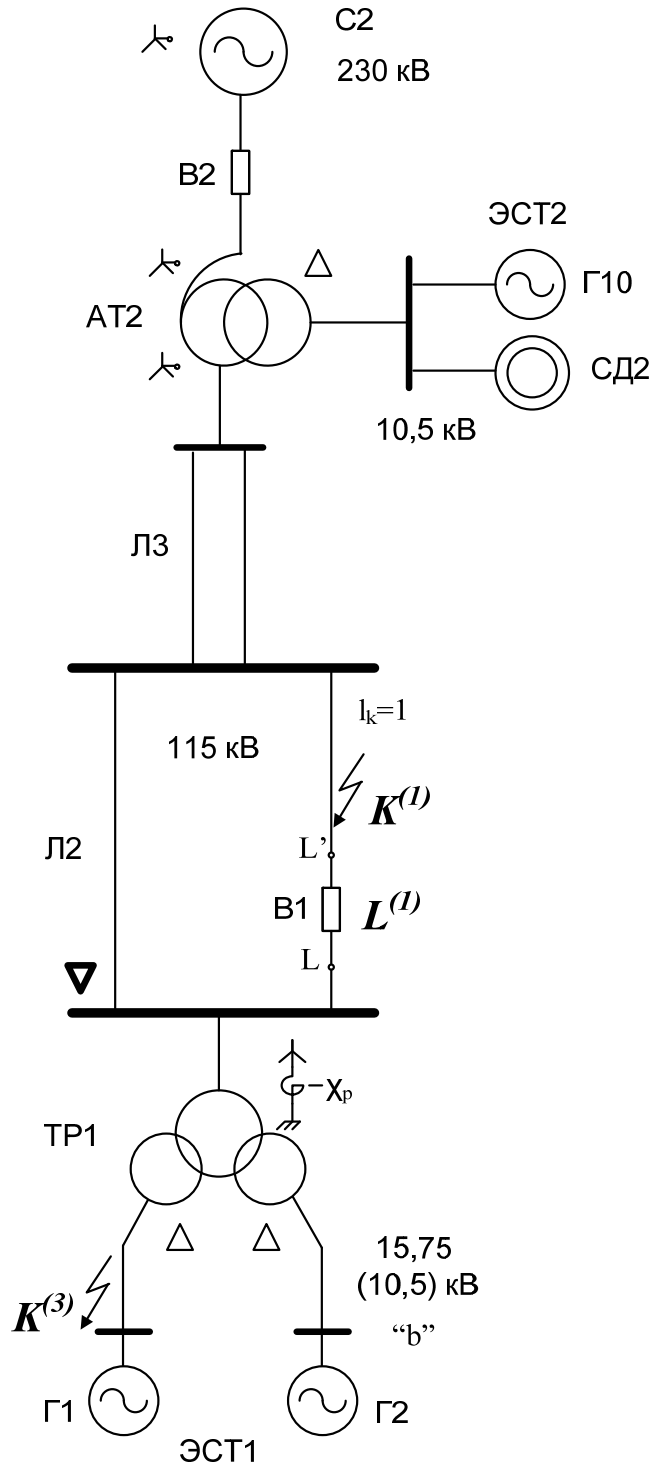


СХЕМА 1

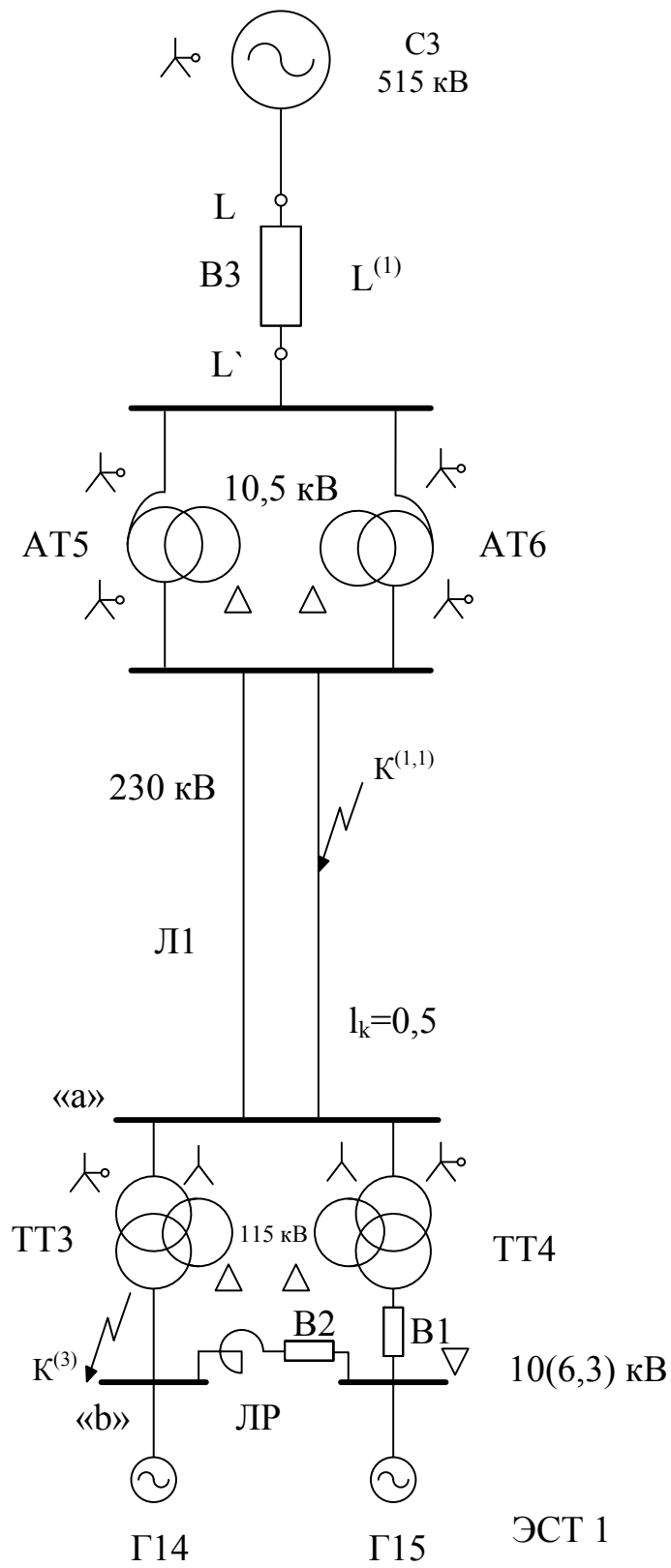


СХЕМА 2

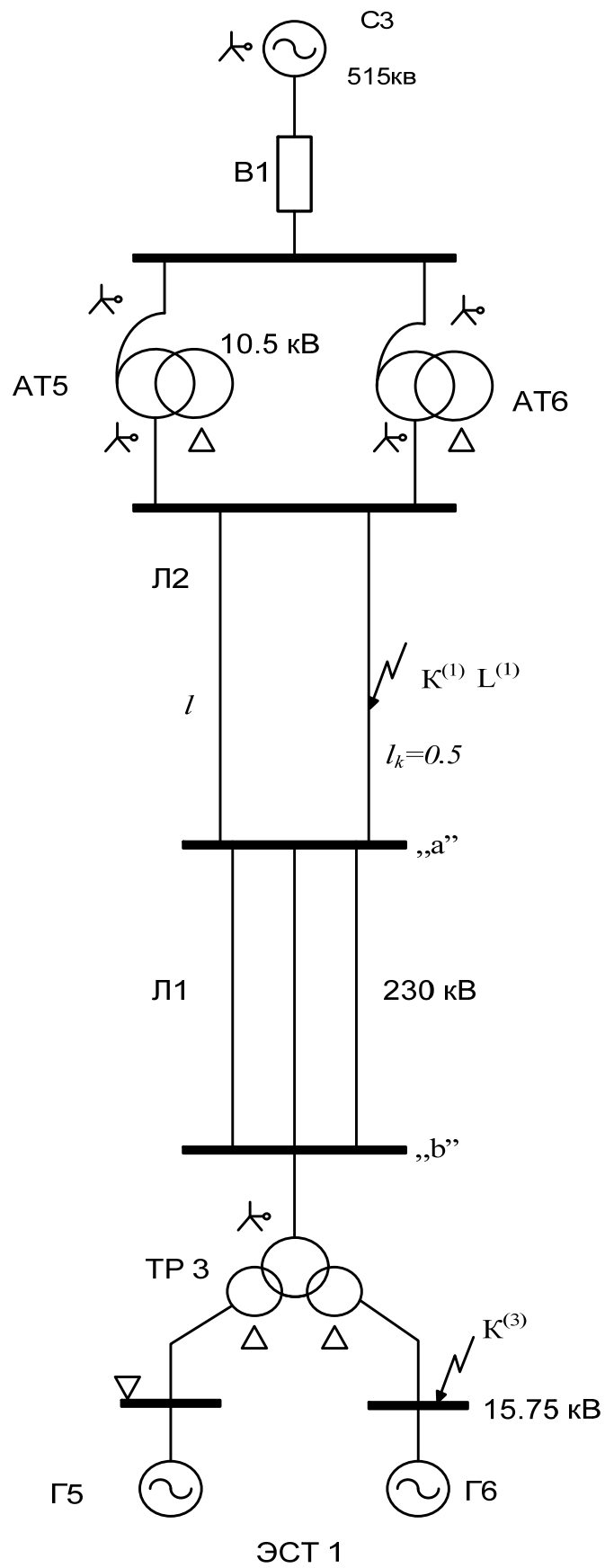


СХЕМА 3

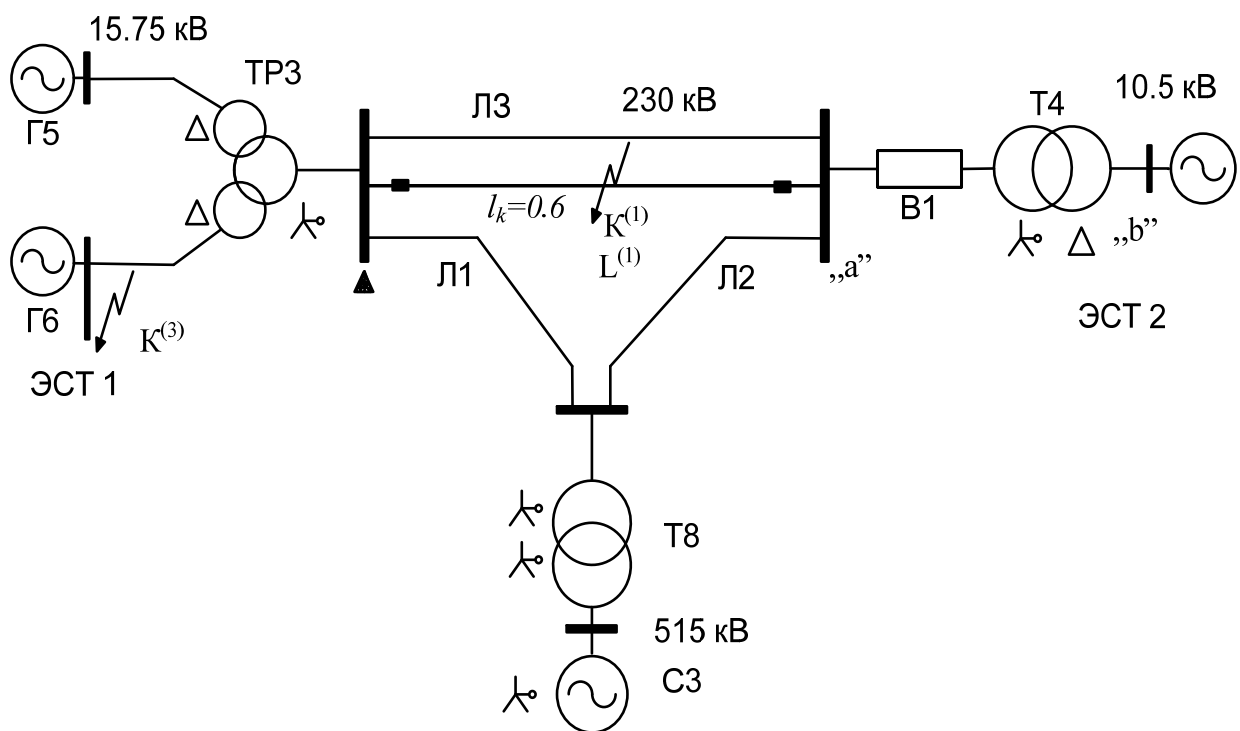


СХЕМА 4

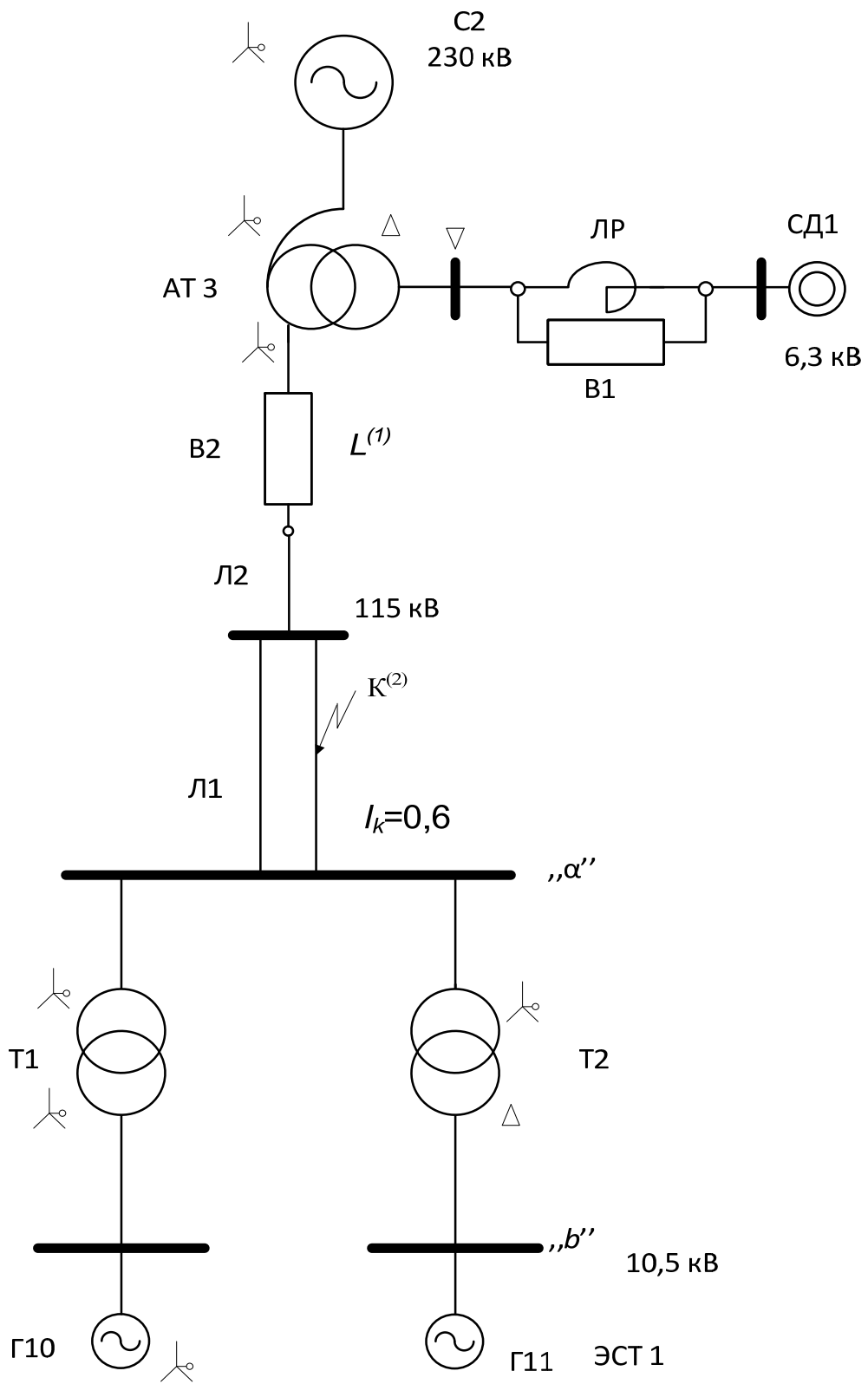
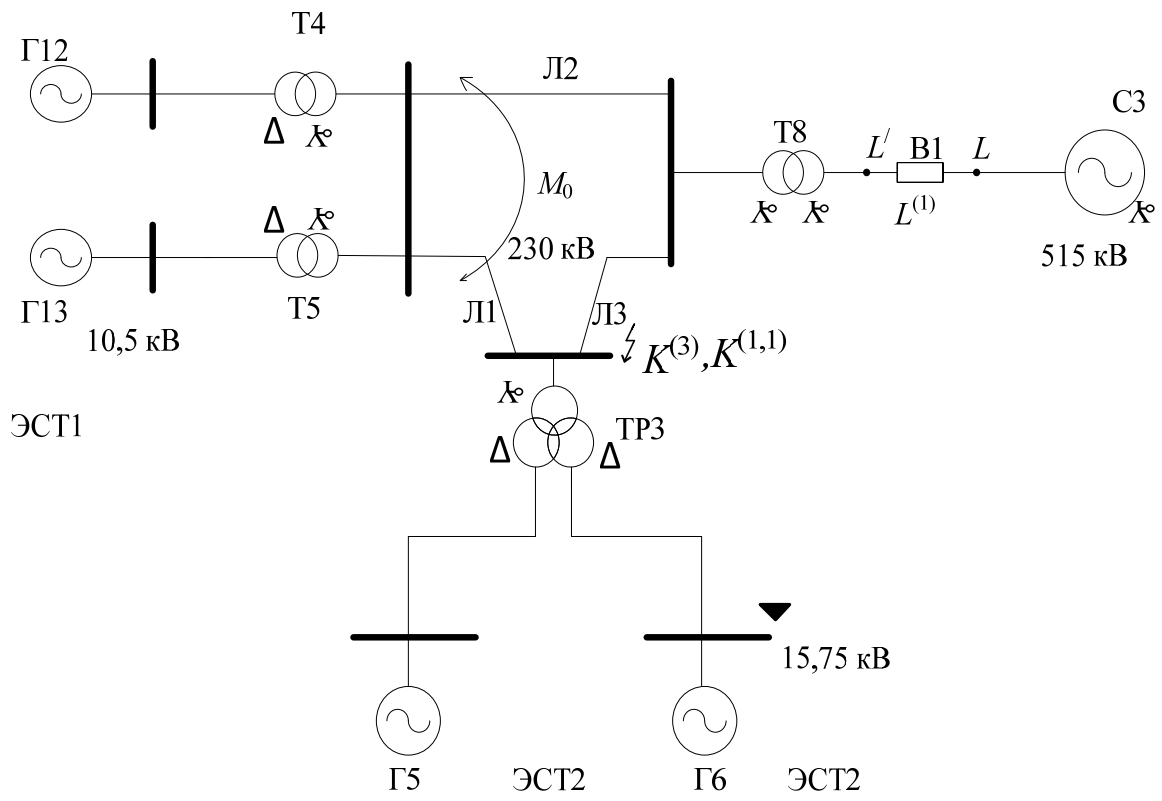


СХЕМА 5



CXEMA 6

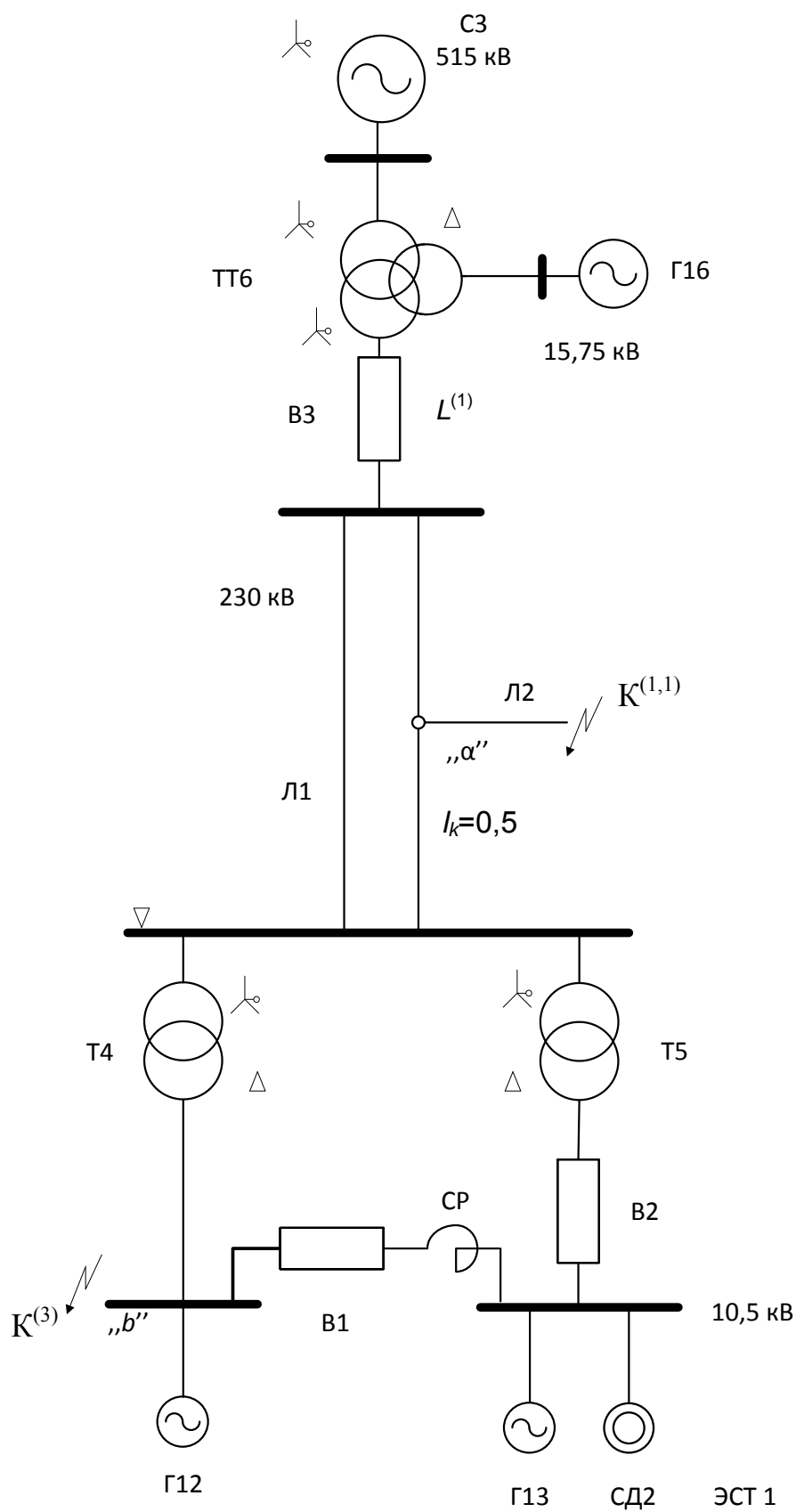


СХЕМА 7

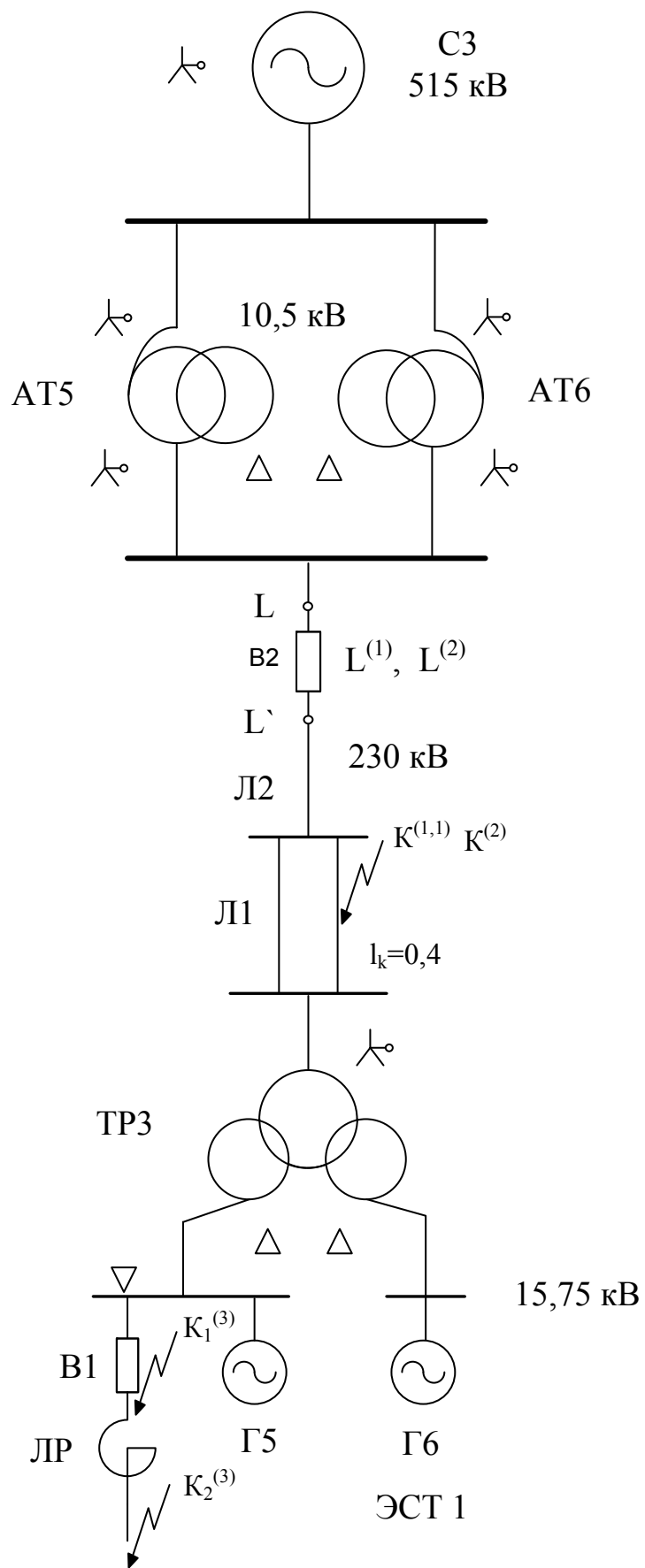


СХЕМА 8

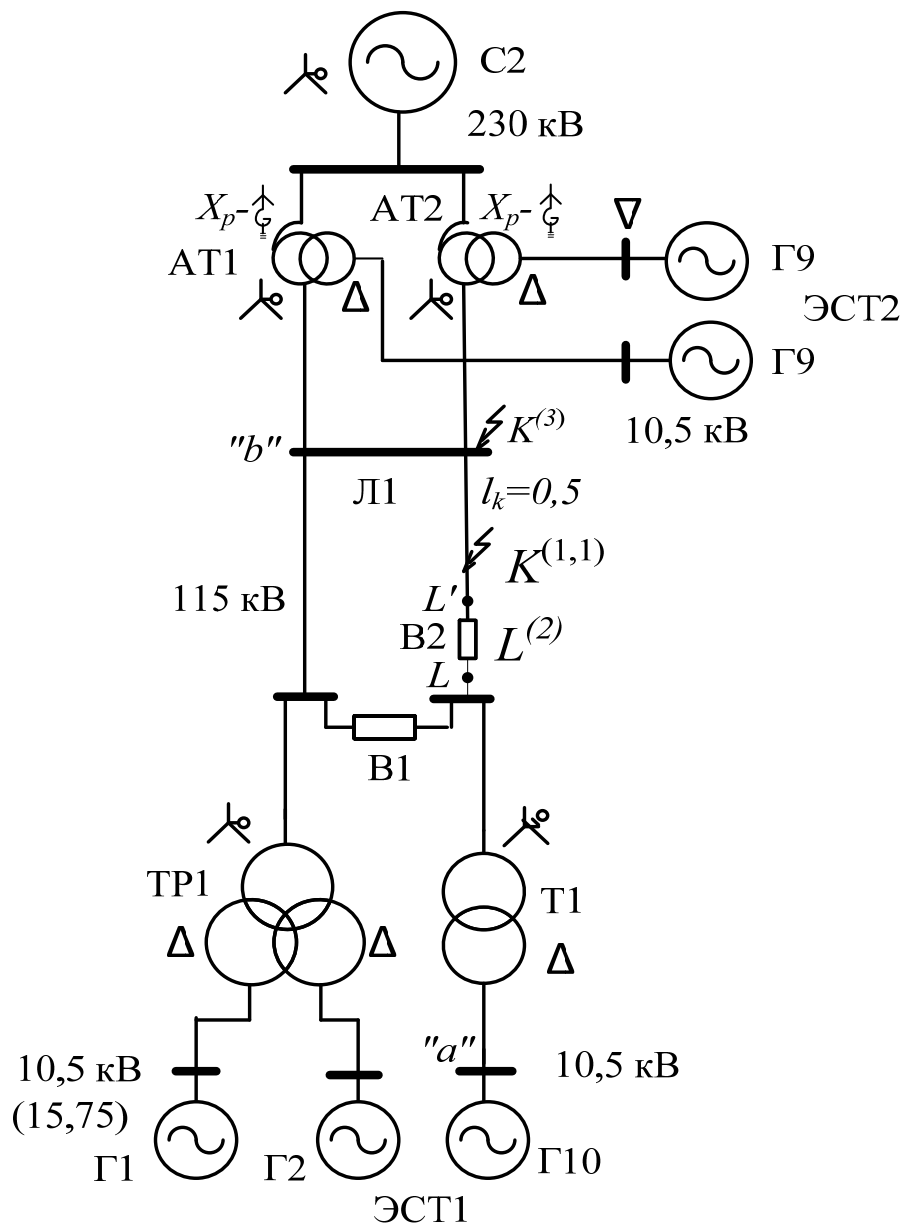


СХЕМА 9

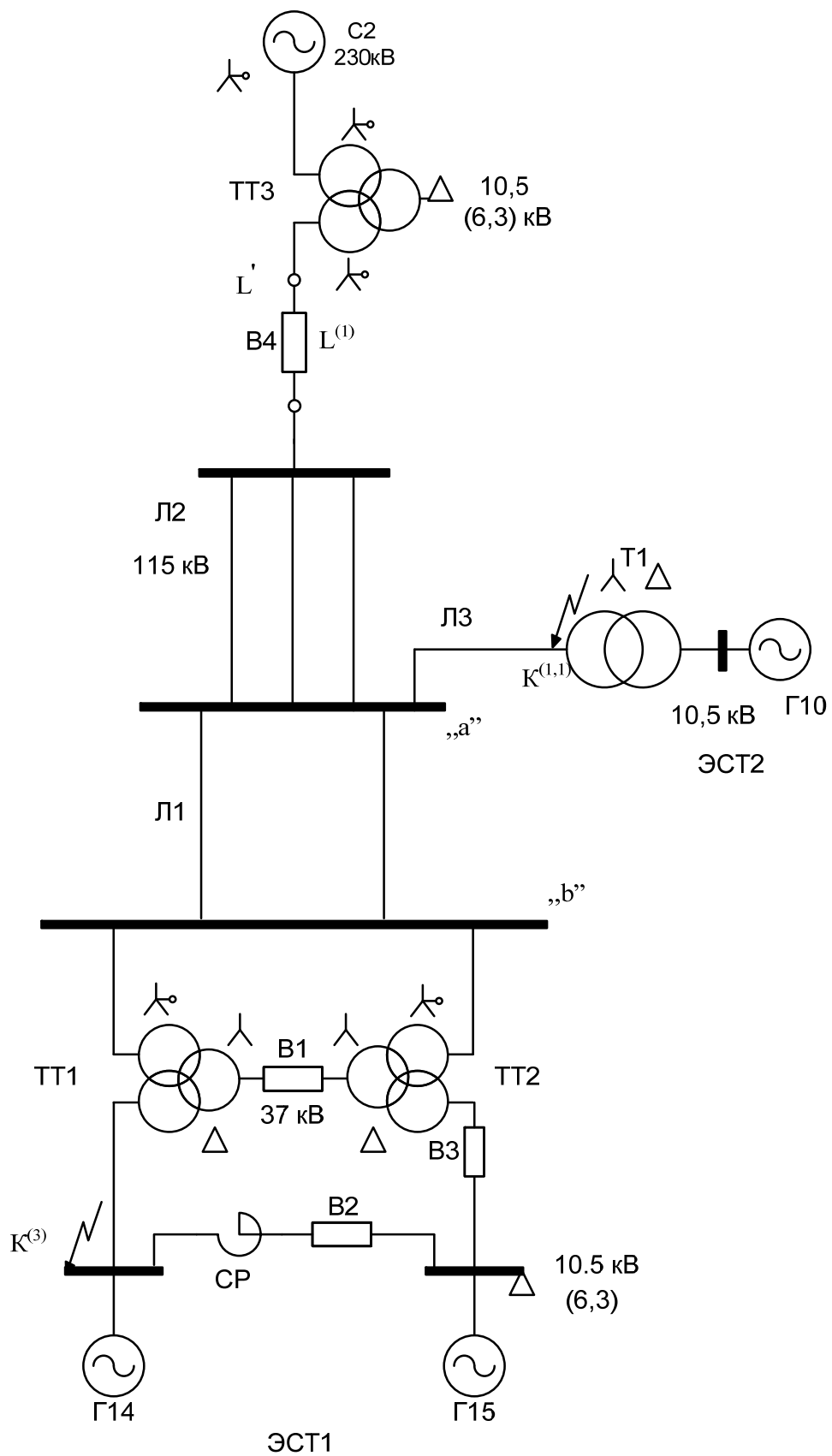


СХЕМА 10

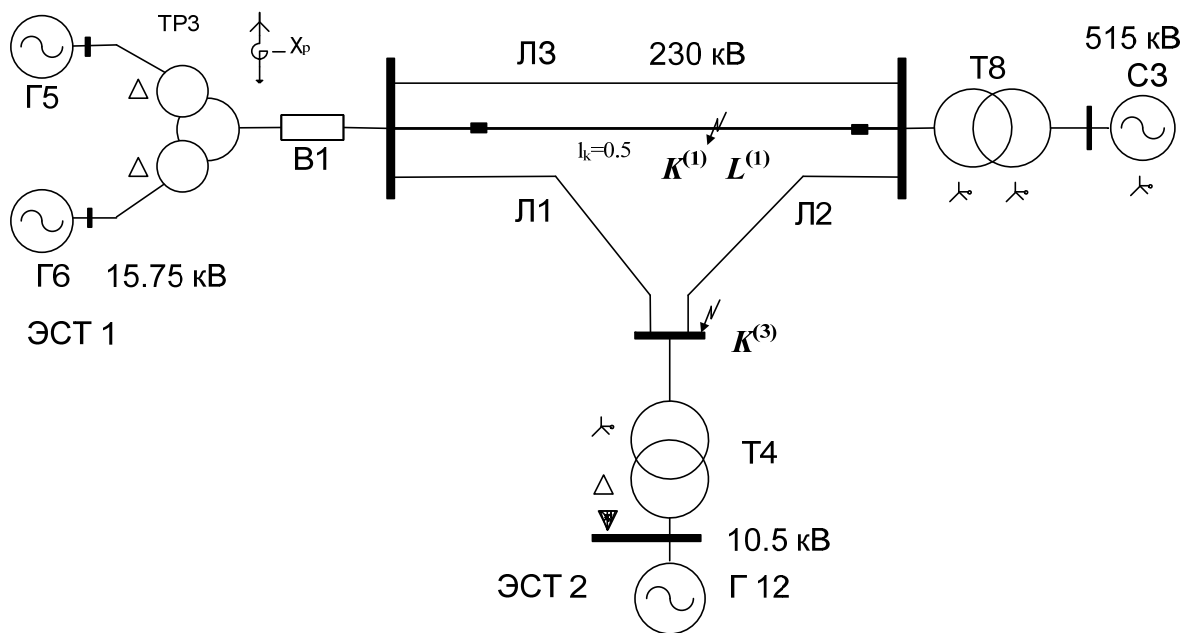


СХЕМА 11

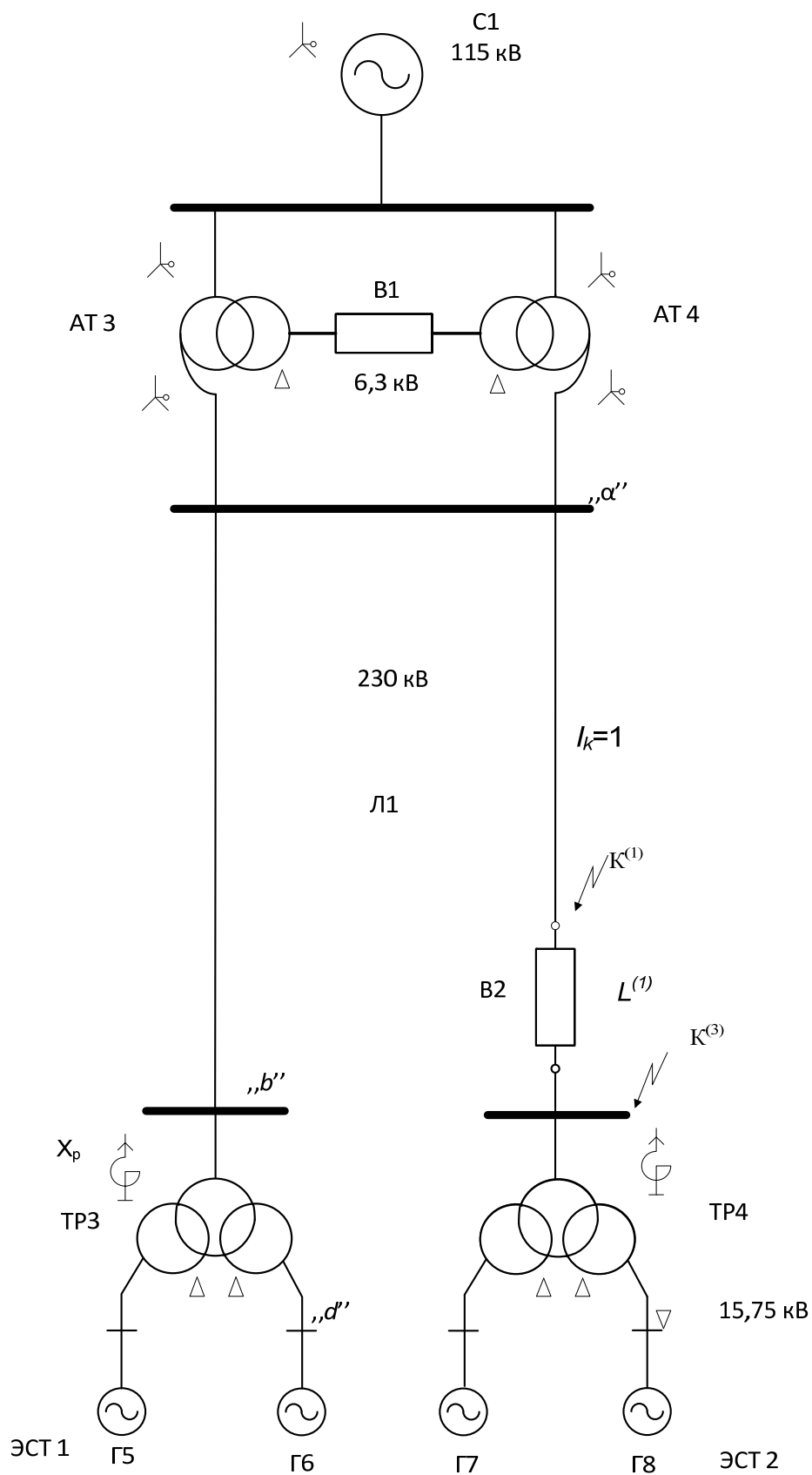
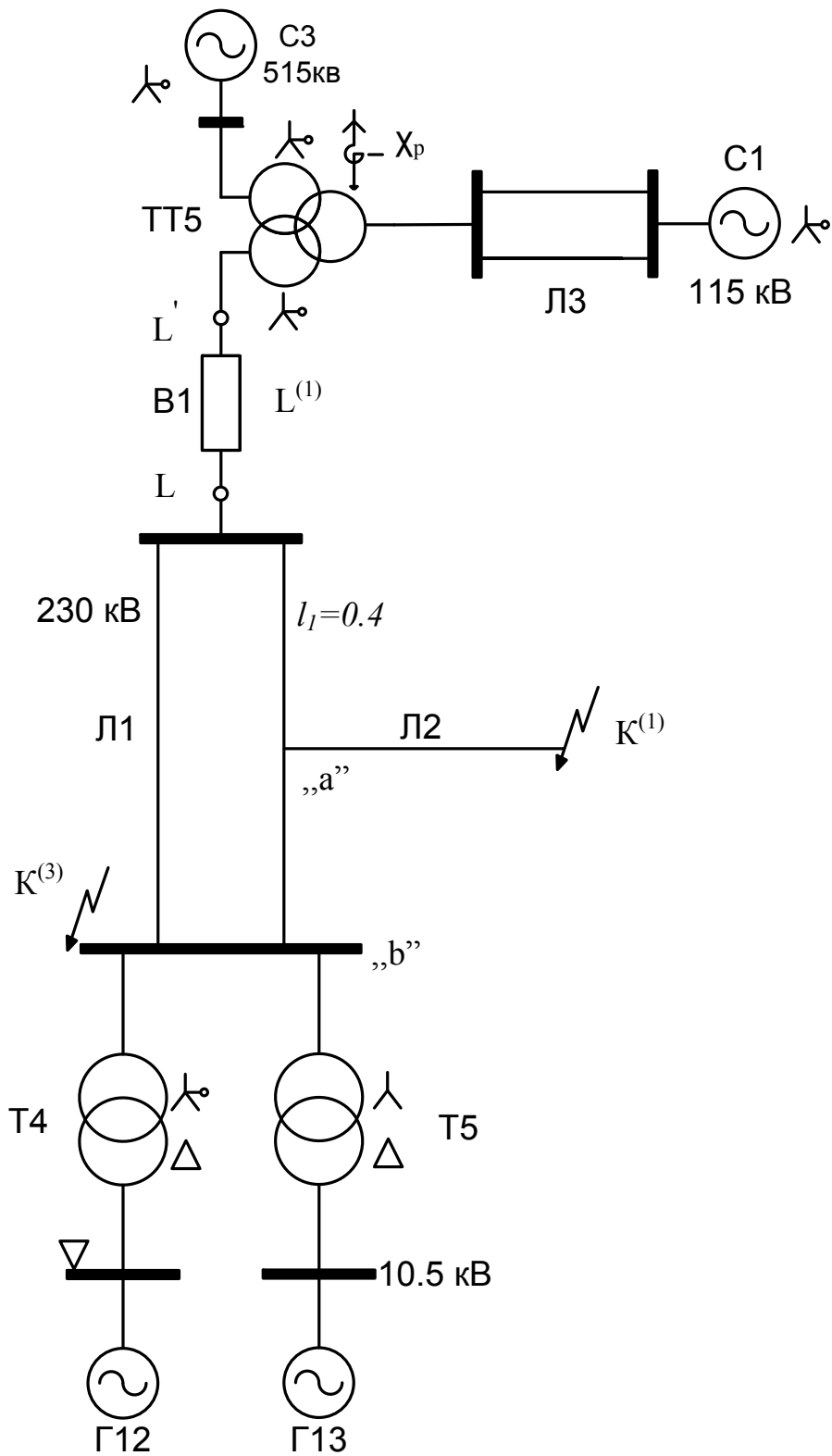
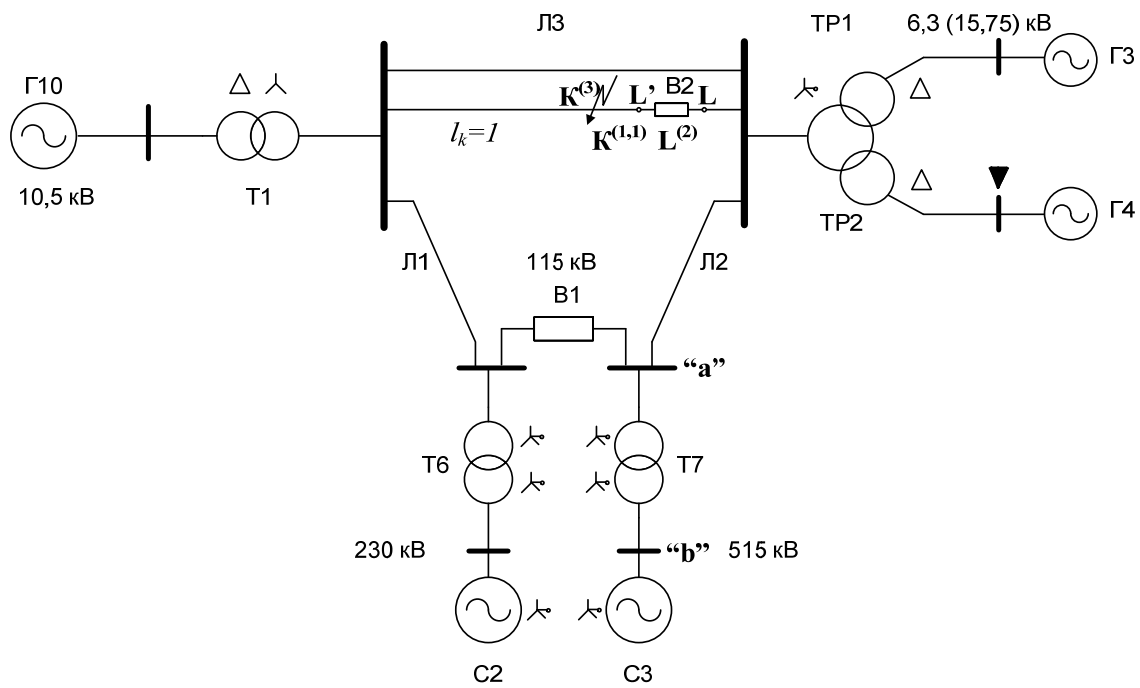


СХЕМА 12



ЭСТ1

СХЕМА 13



CXEMA 14

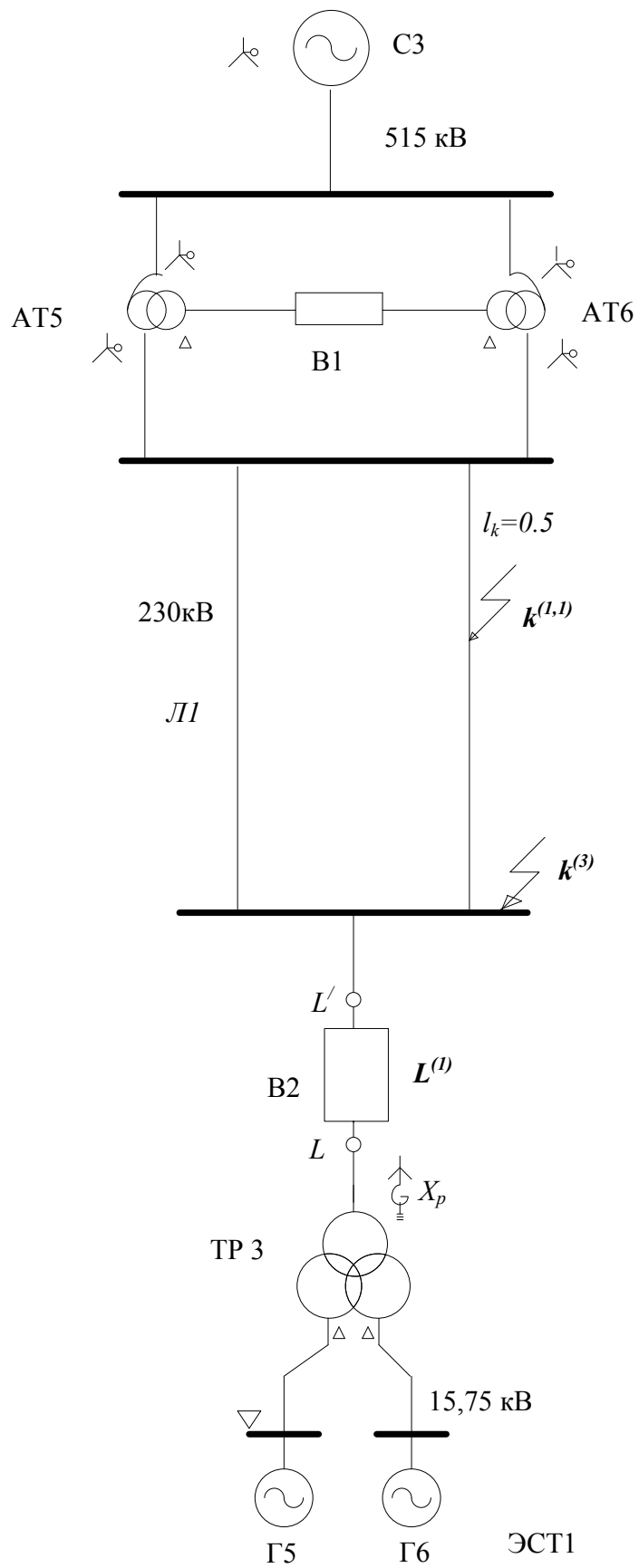


СХЕМА 15

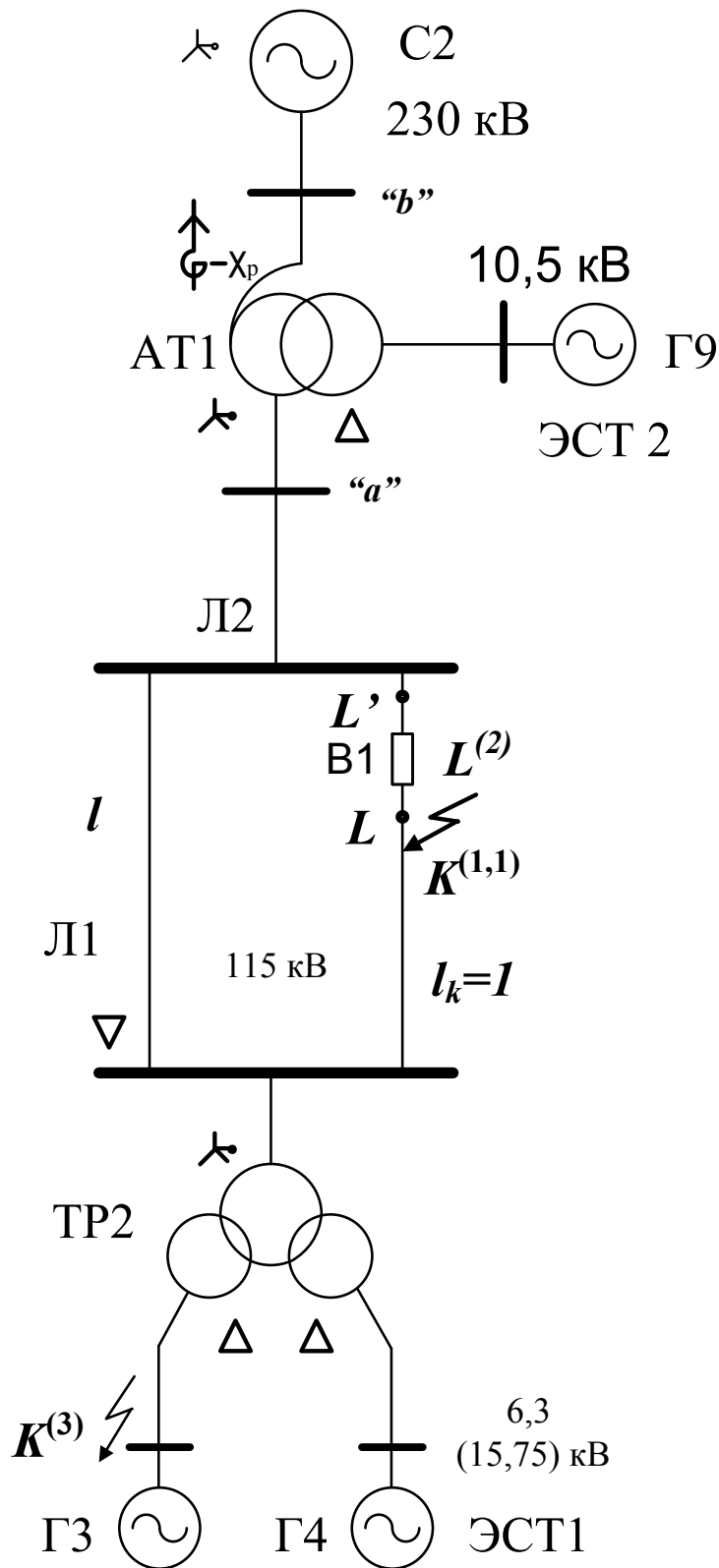


СХЕМА 17

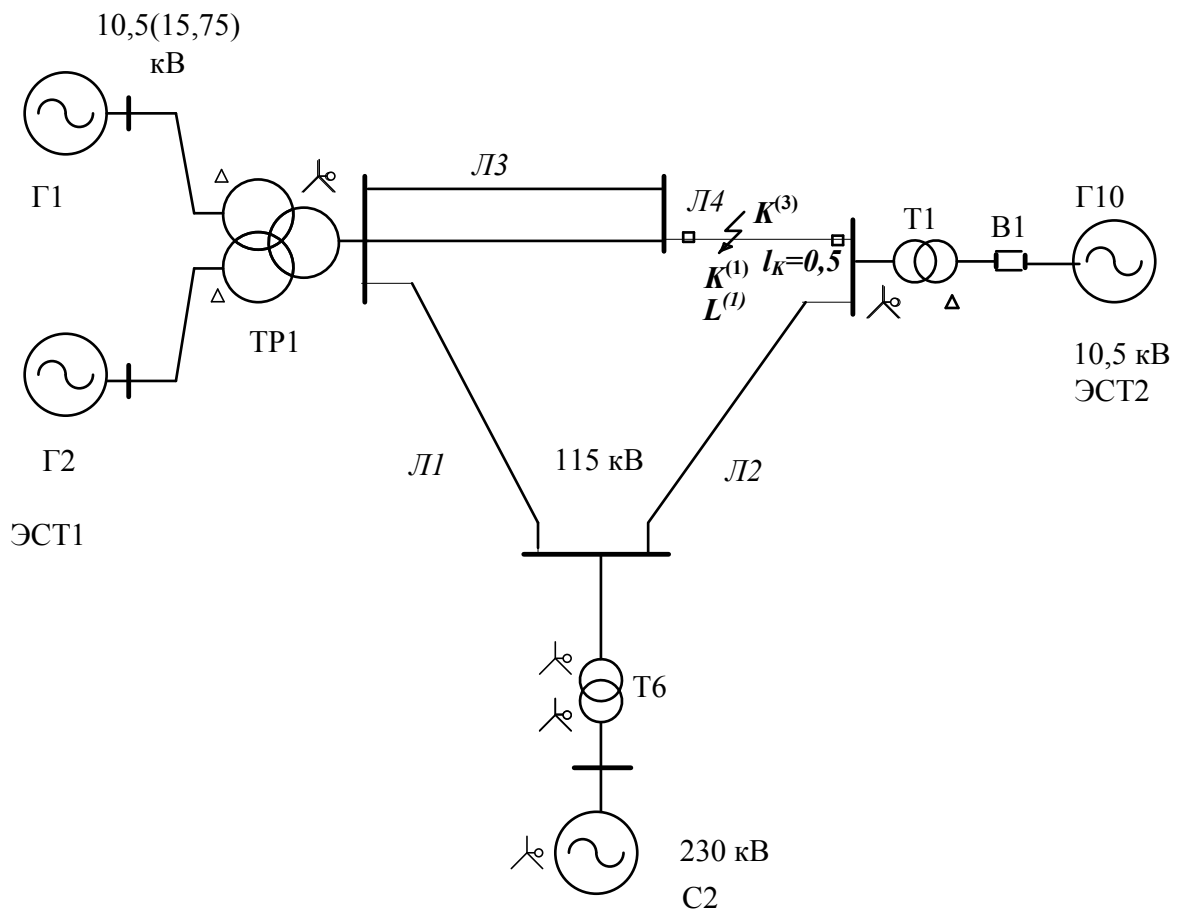


СХЕМА 18

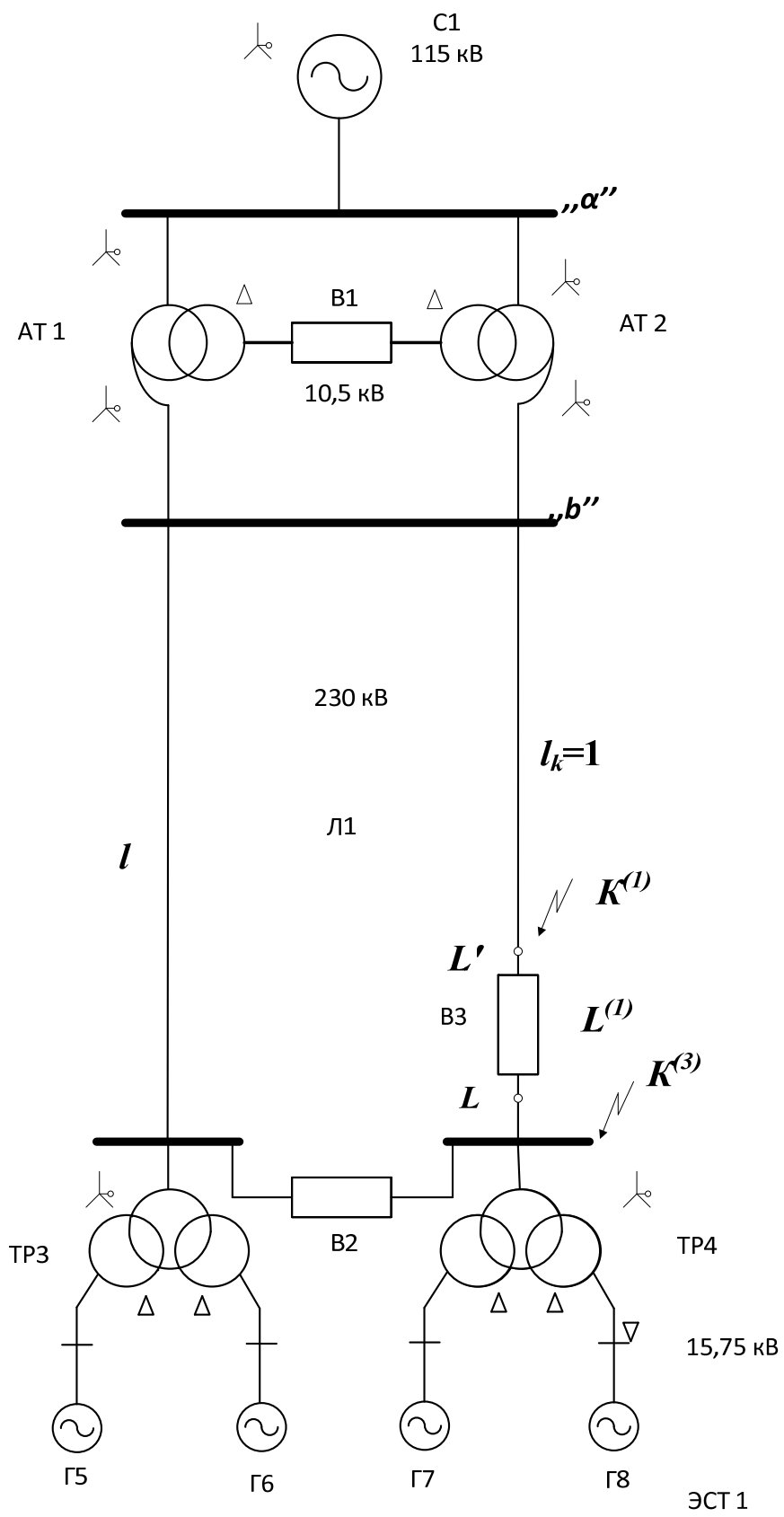


СХЕМА 19

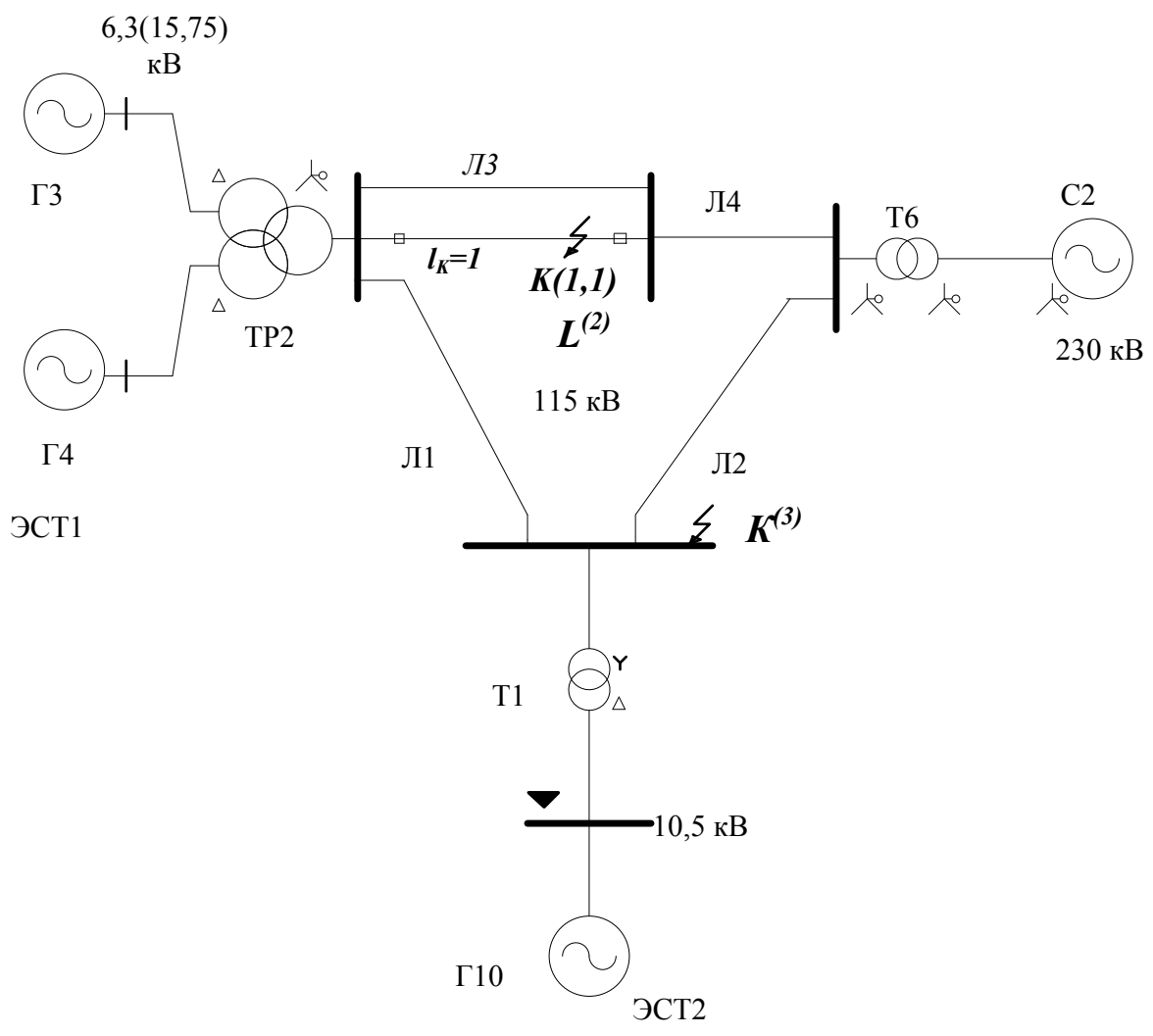


СХЕМА 20

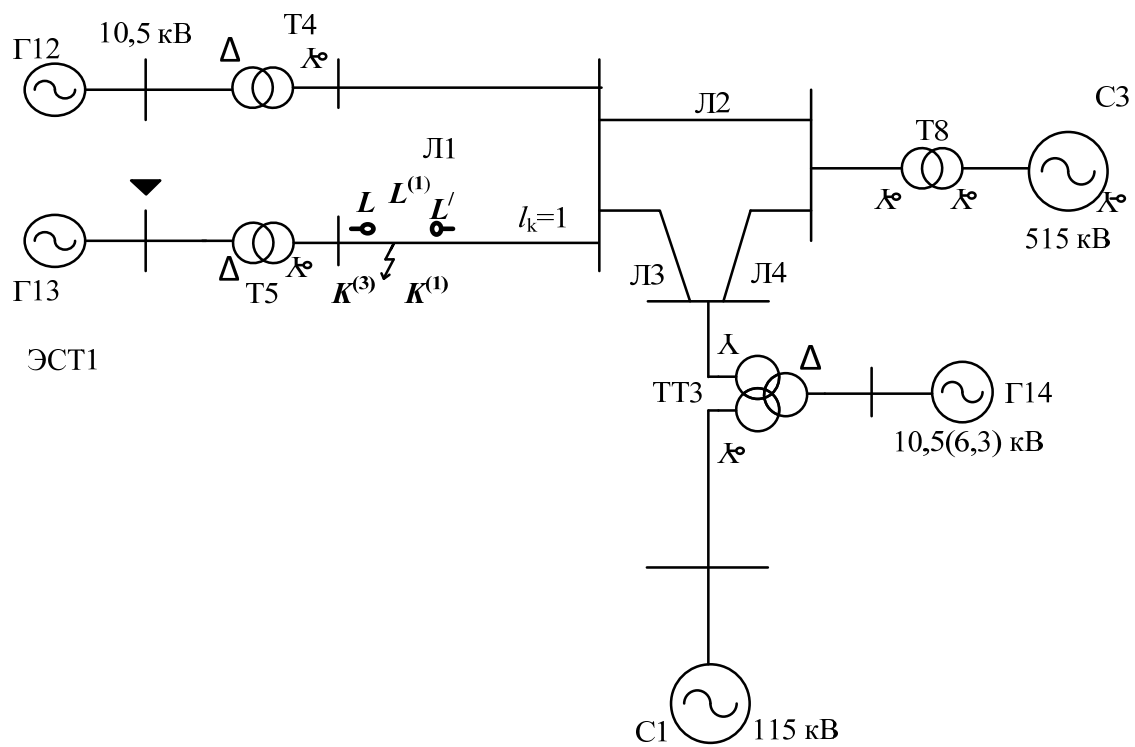


СХЕМА 21

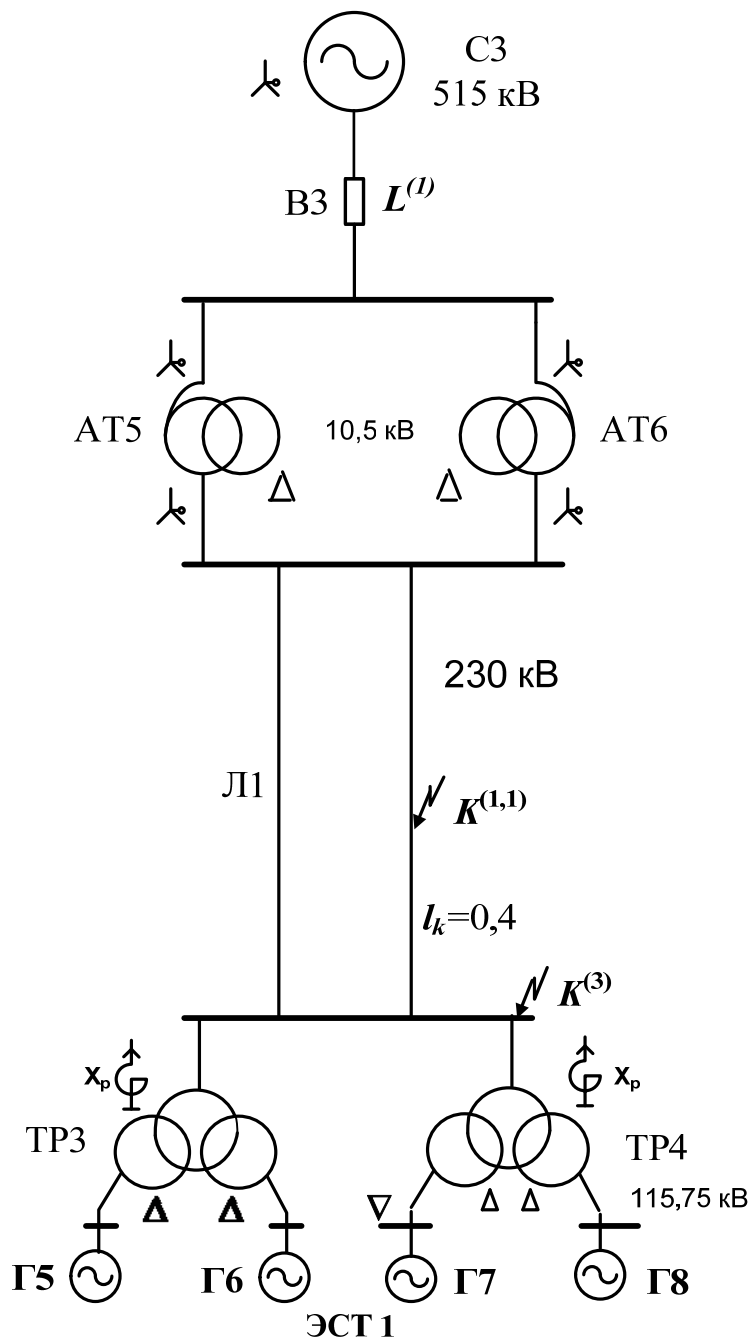


СХЕМА 22

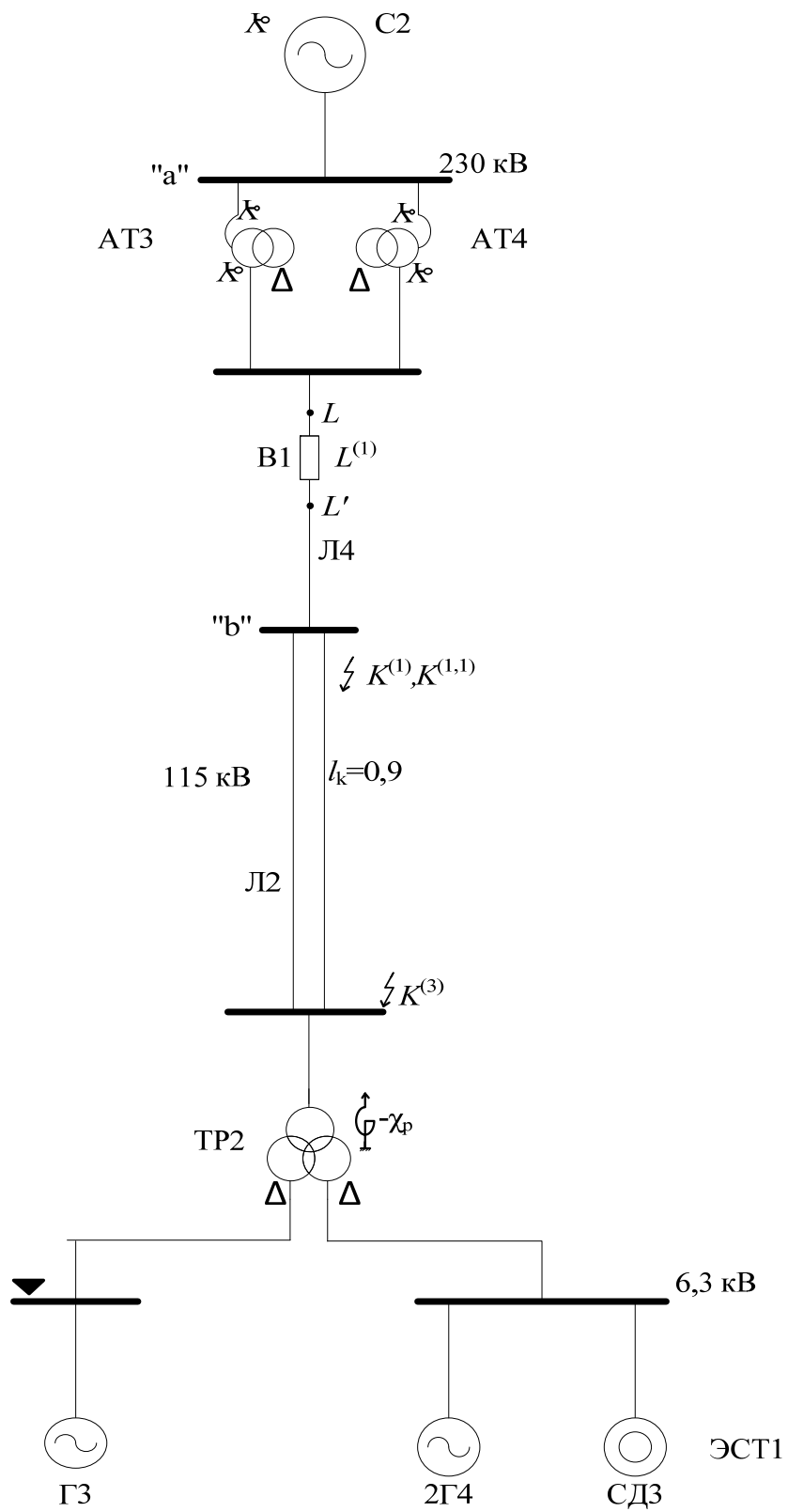


СХЕМА 23

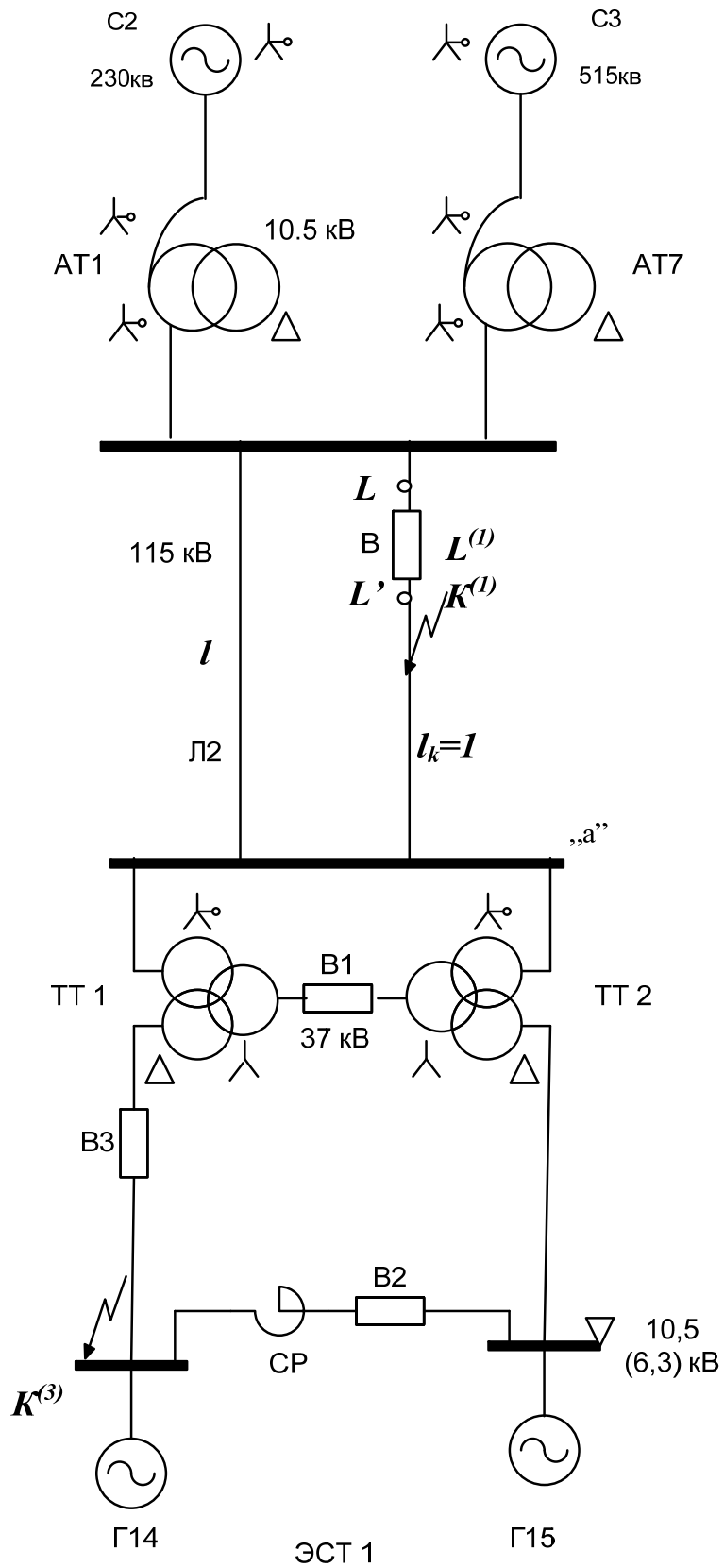


СХЕМА 24

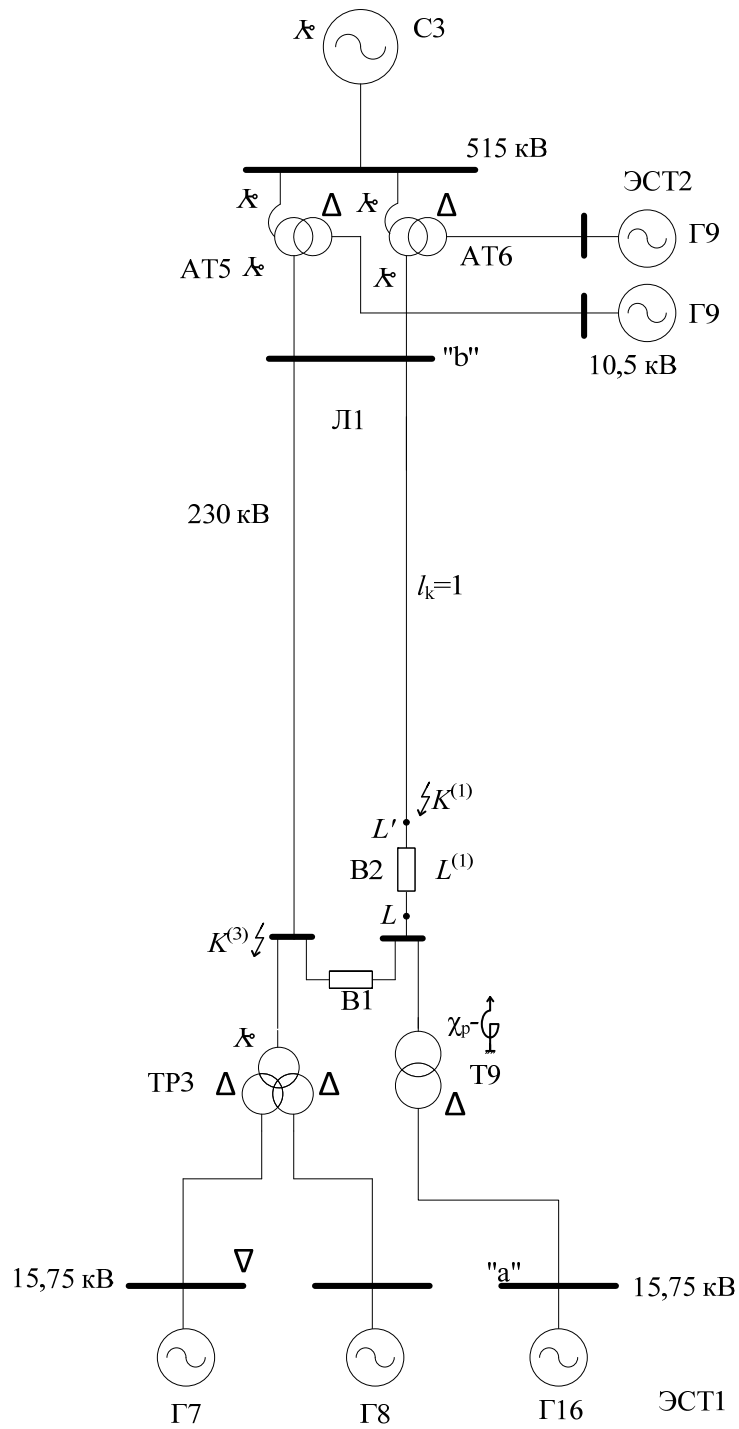


СХЕМА 25

5. ПАСПОРТНЫЕ ДАННЫЕ СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ СХЕМ

Таблица 7

АВТОТРАНСФОРМАТОРЫ

АТ1, АТ2, АТ3, АТ4, АТ5, АТ6, АТ7

<i>Автотрансформаторы</i>								
АТ1, АТ2 – 230/121/11 кВ; АТ3, АТ4 – 230/121/6,6 кВ; АТ5, АТ6 – 500/230/11 кВ; АТ7 – 500/121/11 кВ								
№2 вари ри- анта	Тип	S_n , МВА	U , кВ			U_K , %		
			ВН	СН	НН	В-С	В-Н	С-Н
АТ1, АТ2 – 230/121/11 кВ								
0	АТДТН-140000/230	140	230	121	11	11	32	21
1	АТДЦТН-150000/230	150	230	121	11	11	33	22
2	АТДЦТН-100000/230	100	230	121	11	11	30	19
3	АТДЦТН-125000/230	125	230	121	11	11	30	19
4	АТДЦТН-160000/230	160	230	121	11	10	30	20
5	АТДЦТН-200000/230	200	230	121	11	11	31	20
6	АТДЦТН-250000/230	250	230	121	11	11	31	20
7	АТДЦТН-63000/230	63	230	121	11	11	34	23
8	АТДЦТН-100000/230	100	230	121	11	11	31	20
9	АТДЦТН-125000/230	125	230	121	11	11	31	20
АТ3, АТ4 – 230/121/6,6 кВ								
0	АТДТН-140000/230	140	230	121	6,6	11	32	21
1	АТДЦТН-150000/230	150	230	121	6,6	11	33	22
2	АТДЦТН-100000/230	100	230	121	6,6	11	30	19
3	АТДЦТН-125000/230	125	230	121	6,6	11	30	19
4	АТДЦТН-160000/230	160	230	121	6,6	10	30	20
5	АТДЦТН-200000/230	200	230	121	6,6	11	31	20
6	АТДЦТН-250000/230	250	230	121	6,6	11	31	20
7	АТДЦТН-63000/230	63	230	121	6,6	11	34	23
8	АТДЦТН-100000/230	100	230	121	6,6	11	31	20
9	АТДЦТН-125000/230	125	230	121	6,6	11	31	20
АТ5, АТ6 – 500/230/11 кВ								
0	АТДЦТН-167000/500	167	500	230	11	11	33	22

1	АТДЦТН-250000/500	250	500	230	11	11	34	23
2	АТДЦТН-290000/500	290	500	230	11	11	31	20
3	АТДЦТН-330000/500	330	500	230	11	11	30	19
4	АТДЦТН-417000/500	417	500	230	11	10	31	21
5	АТДЦТН-500000/500	500	500	230	11	11	32	21
6-9	АТДЦТН-550000/500	550	500	230	11	11	31	20
АТ7 – 500/121/11 кВ								
0	АТДЦТН-120000/500	120	500	121	11	10	31	21
1	АТДЦТН-140000/500	140	500	121	11	10	32	22
2	АТДЦТН-100000/500	100	500	121	11	10	30	20
3	АТДЦТН-125000/500	125	500	121	11	11	30	19
4	АТДЦТН-167000/500	167	500	121	11	10	30	20
5	АТДЦТН-200000/500	200	500	121	11	11	31	20
6-9	АТДЦТН-250000/500	250	500	121	11	11	32	21

Таблица 8

**ТРАНСФОРМАТОРЫ С РАСЩЕПЛЕННОЙ ОБМОТКОЙ
ТР1, ТР2**

<p><i>Трансформаторы с расщепленной обмоткой</i> ТР1 – 115/10,5-10,5 кВ; ТР1 – 115/15,75-15,75 кВ; ТР2 – 115/6,3-6,3 кВ; ТР2 – 115/15,75-15,75 кВ</p>					
$U_{KB} \% = \frac{U_{B-H} \%}{100} \left(1 - \frac{K_p}{4} \right) \quad U_{KH} \% = \frac{U_{B-H} \% K_p}{100} \frac{K_p}{2} \quad K_p$					
№2 вари- ри- анта	Тип	S_n , МВА	U_{BH} , кВ	U_{H1-H2} , кВ	U_{KBH-H1} , %
ТР1 – 115/10,5-10,5 кВ					
0	ТРДН-67000/115	67	115	10,5-10,5	10,5
1	ТРДН-90000/115	90	115	10,5-10,5	10,5
2	ТРДН-120000/115	120	115	10,5-10,5	10,5
ТР1 – 115/15,75-15,75 кВ					
3	ТРДН-140000/115	140	115	15,75-15,75	10,5

4	ТРДН-200000/115	200	115	15,75-15,75	10,5
5	ТРДН-225000/115	225	115	15,75-15,75	10,5
ТР1 – 115/10,5-10,5 кВ					
6	ТРДН-70000/115	70	115	10,5-10,5	10,5
7	ТРДН-93000/115	93	115	10,5-10,5	10,5
8	ТРДН-100000/115	100	115	10,5-10,5	10,5
ТР1 – 115/15,75-15,75 кВ					
9	ТРДН-125000/115	125	115	15,75-15,75	10,5
ТР2 – 115/6,3-6,3 кВ					
0	ТРДН-67000/115	67	115	6,3- 6,3	10,5
1	ТРДН-90000/115	90	115	6,3- 6,3	10,5
2	ТРДН-120000/115	120	115	6,3- 6,3	10,5
ТР2 – 115/15,75-15,75 кВ					
3	ТРДН-140000/115	140	115	15,75-15,75	10,5
4	ТРДН-200000/115	200	115	15,75-15,75	10,5
5	ТРДН-225000/115	225	115	15,75-15,75	10,5
ТР2 – 115/6,3-6,3 кВ					
6	ТРДН-70000/115	70	115	6,3- 6,3	10,5
7	ТРДН-93000/115	93	115	6,3- 6,3	10,5
8	ТРДН-100000/115	100	115	6,3- 6,3	10,5
ТР2 –115/15,75-15,75 кВ					
9	ТРДН-125000/115	125	115	15,75-15,75	10,5

Таблица 9

**ТРАНСФОРМАТОРЫ С РАСЩЕПЛЕННОЙ ОБМОТКОЙ
ТР3, ТР4**

<i>Трансформаторы с расщепленной обмоткой ТР3, ТР4 – 230/15,75-15,75 кВ</i>					
№2 вари- ри- анта	Тип	S_n , МВА	$U_{вн}$, кВ	$U_{нн1-нн2}$, кВ	$U_{Квн-нн}$, %
0	ТРДН-125000/230	125	230	15,75-15,75	12
1	ТРДН-250000/230	250	230	15,75-15,75	12

2	ТРДН-300000/230	300	230	15,75-15,75	12
3	ТРДН-350000/230	350	230	15,75-15,75	11
4	ТРДН-375000/230	375	230	15,75-15,75	11
5	ТРДН-450000/230	450	230	15,75-15,75	11
6	ТРДН-400000/230	400	230	15,75-15,75	12
7	ТРДН-500000/230	500	230	15,75-15,75	12
8	ТРДН-600000/230	600	230	15,75-15,75	12
9	ТРДН-630000/230	630	230	15,75-15,75	12

Таблица 10

ТРАНСФОРМАТОРЫ ДВУХОБМОТОЧНЫЕ Т1, Т2, Т3

<i>Трансформаторы двухобмоточные</i> Т1, Т2 – 115/10,5 кВ; Т3 – 115/6,3 кВ					
№2 вари анта	Тип	$S_{\text{ном}}$, МВА	$U_{\text{вн}}$, кВ	$U_{\text{нн}}$, кВ	U_K , %
Т1, Т2 – 115/10,5 кВ					
0	ТДН-32000/115	32	115	10,5	10,5
1	ТДН-67000/115	67	115	10,5	10,5
2	ТДЦН-80000/115	80	115	10,5	10,5
3	ТДЦН-125000/121	125	121	10,5	10,5
4	ТДЦН-160000/121	160	121	10,5	10,5
5	ТДЦН-150000/121	150	121	10,5	10,5
6	ТДЦН-125000/115	125	115	10,5	10,5
7	ТДЦН-80000/115	80	115	10,5	10,5
8	ТДН-24000/115	24	115	10,5	10,5
9	ТДН-55000/115	55	115	10,5	10,5
Т3 – 115/6,3 кВ					
0	ТДН-40000/115	40	115	6,3	10,5
1	ТДН-40000/115	35	115	6,3	10,5
2	ТДН-40000/115	42	115	6,3	10,5
3	ТДН-24000/115	50	115	6,3	10,5
4	ТДН-24000/115	24	115	6,3	10,5
5	ТДН-24000/115	30	115	6,3	10,5

6	ТДН-24000/115	37	115	6,3	10,5
7	ТДН-24000/115	20	115	6,3	10,5
8	ТДН-24000/115	15	115	6,3	10,5
9	ТДН-24000/115	24	115	6,3	10,5

Таблица 11

**ТРАНСФОРМАТОРЫ ДВУХОБМОТОЧНЫЕ
Т4, Т5, Т9, Т6, Т7, Т8**

<i>Трансформаторы двухобмоточные</i>					
		Т4, Т5 – 230/10,5 кВ;		Т9 – 230/15,75 кВ;	
		Т6 – 230/115 кВ;		Т7 – 500/121 кВ;	
		Т8 – 500/230 кВ			
№2 вари- ри- анта	Тип	$S_{ном}$, МВА	$U_{вн}$, кВ	$U_{нн}$, кВ	U_K , %
Т4, Т5 – 230/10,5 кВ					
0-3	ТДН-67000/230	67	230	10,5	10,5
4-7	ТДЦН-80000/230	80	230	10,5	10,5
8-9	ТДН-40000/230	40	230	10,5	10,5
Т9 – 230/15,75 кВ					
0-3	ТДН-67000/230	67	230	15,75	12,5
4-7	ТДЦН-80000/230	80	230	15,75	12,5
8-9	ТДН-40000/230	40	230	15,75	12,5
Т6 – 230/115 кВ					
0-3	ТДН-67000/230	67	230	115	10,5
4-7	ТДЦН-80000/230	80	230	115	10,5
8-9	ТДН-60000/230	60	230	115	10,5
Т7 – 500/121 кВ					
0-3	ТДН-100000/500	100	500	121	11,5
4-7	ТДЦН-120000/500	120	500	121	11,5
8-9	ТДН-150000/500	150	500	121	11,5
Т8 – 500/230 кВ					
0-3	ТДН-115000/500	115	500	230	11,5
4-7	ТДЦН-125000/500	125	500	230	11,5
8-9	ТДН-167000/500	167	500	230	11,5

ТРАНСФОРМАТОРЫ ТРЕХОБМОТОЧНЫЕ
ТТ1, ТТ2, ТТ3, ТТ4, ТТ5, ТТ6

<i>Трансформаторы трехобмоточные</i>								
ТТ1, ТТ2 – 115/38,5/11 кВ; ТТ1, ТТ2 – 115/38,5/6,3 кВ; ТТ3, ТТ4 – 230/121/11 кВ; ТТ3, ТТ4 – 230/121/6,3 кВ; ТТ5 – 500/230/121 кВ; ТТ6 – 500/230/15,75 кВ								
№2 вари- ри- анта	Тип	S_n , МВА	U , кВ			U_K , %		
			ВН	СН	НН	В-С	В-Н	С-Н
ТТ1, ТТ2 – 115/38,5/11 кВ								
0	ТДТН-45000/115	45	115	38,5	11	10,5	17	6,5
1	ТДТН-105000/115	105	115	38,5	11	10,5	17	6,5
2	ТДТН-40000/115	40	115	38,5	11	10,5	17	6,5
3	ТДТН-63000/115	63	115	38,5	11	10,5	17	6,5
4	ТДТН-80000/115	80	115	38,5	11	10,5	17	6,5
5	ТДТН-125000/115	125	115	38,5	11	10,5	17	6,5
ТТ1, ТТ2 – 115/38,5/6,3 кВ								
6	ТДТН-100000/115	100	115	38,5	6,3	10,5	17	6,5
7	ТДТН-60000/115	60	115	38,5	6,3	10,5	17	6,5
8	ТДТН-63000/115	63	115	38,5	6,3	10,5	17	6,5
9	ТДТН-80000/115	80	115	38,5	6,3	10,5	17	6,5
ТТ3, ТТ4 – 230/121/11 кВ								
0	ТДТН-45000/230	45	230	121	11	10,5	17	6
1	ТДТН-105000/230	105	230	121	11	10,5	17	6
2	ТДТН-40000/230	40	230	121	11	10,5	17	6
3	ТДТН-63000/230	63	230	121	11	10,5	17	6,5
4	ТДТН-80000/230	80	230	121	11	10,5	17	6,5
5	ТДТН-125000/230	125	230	121	11	10,5	17	6,5
ТТ3, ТТ4 – 230/121/6,3 кВ								
6	ТДТН-100000/230	100	230	121	6,3	10,5	17	6,5
7	ТДТН-60000/230	60	230	121	6,3	10,5	17	6,5
8	ТДТН-63000/230	63	230	121	6,3	10,5	17	6,5

9	ТДТН-80000/230	80	230	121	6,3	10,5	17	6,5
ТТ5 – 500/230/121 кВ								
0	ТДТН-110000/500	110	500	230	121	10,5	24	13
1	ТДТН-115000/500	115	500	230	121	10,5	24	13
2	ТДТН-120000/500	120	500	230	121	10,5	24	13
3	ТДТН-125000/500	125	500	230	121	10,5	24	13
4	ТДТН-150000/500	150	500	230	121	10,5	24	13
5	ТДТН-167000/500	167	500	230	121	10,5	24	13
6	ТДТН-180000/500	180	500	230	121	10,5	24	13
7	ТДТН-185000/500	185	500	230	121	10,5	24	13
8	ТДТН-200000/500	200	500	230	121	10,5	24	13
9	ТДТН-240000/500	240	500	230	121	10,5	24	13
ТТ6 – 500/230/15,75 кВ								
0-1	ТДТН-110000/500	110	500	230	15,7	10,5	24	13
2-3	ТДТН-120000/500	120	500	230	15,7	10,5	24	13
4-5	ТДТН-167000/500	167	500	230	15,7	10,5	24	13
6-9	ТДТН-185000/500	185	500	230	15,7	10,5	24	13

Таблица 13

ТУРБОГЕНЕРАТОРЫ Г1, Г2, Г3, Г4

<i>Турбогенераторы</i>							
Г1, Г2 – 10,5 кВ;				Г3, Г4 – 6,3 кВ;			
Г1, Г2 – 15,75 кВ;				Г3, Г4 – 15,75 кВ			
№2 вари- ри- анта	Тип	$P_{\text{ном}}$, МВт	$U_{\text{н}}$, кВ	x''_d , о.е.	x_d	$I_{\text{ном}}$, кА	$\cos\varphi_{\text{н}}$
Г1, Г2 – 10,5 кВ							
0	ТВ–34	34	10,5	0,119	2,4	2,34	0,8
1	ТВ–45	45	10,5	0,131	2,2	3,09	0,8
2	ТВ–60	60	10,5	0,153	1,8	3,89	0,85
Г1, Г2 – 15,75 кВ							
3	ТВ–65	65	15,75	0,23	1,75	2,81	0,85
4	ТВ–87	87	15,75	0,24	1,75	3,75	0,85
5	ТВ–105	105	15,75	0,32	1,8	4,53	0,85
Г1, Г2 – 10,5 кВ							

6	ТВ-32	32	10,5	0,134	2,3	2,20	0,8
7	ТВ-46	46	10,5	0,143	2,2	3,16	0,8
8	ТВ-48	48	10,5	0,121	2,2	3,30	0,8
Г1, Г2 – 15,75 кВ							
9	ТВ-62	62	15,75	0,24	1,9	2,68	0,85
Г3, Г4 – 6,3 кВ							
0	ТВ-34	34	6,3	0,119	2,4	3,90	0,8
1	ТВ-45	45	6,3	0,131	2,2	5,16	0,8
2	ТВ-60	60	6,3	0,153	1,8	6,48	0,85
Г3, Г4 – 15,75 кВ							
3	ТВ-65	65	15,75	0,23	1,75	2,81	0,85
4	ТВ-87	87	15,75	0,24	1,75	3,75	0,85
5	ТВ-105	105	15,75	0,32	1,8	4,53	0,85
Г3, Г4 – 6,3 кВ							
6	ТВ-32	32	6,3	0,134	2,3	3,67	0,8
7	ТВ-46	46	6,3	0,143	2,2	5,27	0,8
8	ТВ-48	48	6,3	0,121	2,2	5,50	0,8
Г3, Г4 – 15,75 кВ							
9	ТВ-62	62	15,75	0,24	1,9	2,68	0,85

Таблица 14

ТУРБОГЕНЕРАТОРЫ Г5 – Г13

<i>Турбогенераторы</i>							
Г5 - Г8 – 15,75 кВ; Г9 – Г13 – 10,5 кВ							
№2 вари- ри- анта	Тип	$P_{\text{ном}}$, МВт	$U_{\text{н}}$, кВ	x_d'' , о.е.	x_d	$I_{\text{ном}}$, кА	$\cos\varphi_{\text{н}}$
Г5 - Г8 – 15,75 кВ							
0	ТВ-67	67	15,75	0,29	2,2	2,89	0,85
1	ТВ-120	120	15,75	0,25	1,8	5,18	0,85
2	ТВ-145	145	15,75	0,25	1,8	6,26	0,85
3	ТВ-170	170	15,75	0,25	1,7	6,93	0,9
4	ТВ-183	183	15,75	0,26	1,7	7,46	0,9
5	ТВ-210	210	15,75	0,24	1,8	8,56	0,9
6	ТВ-195	195	15,75	0,24	1,8	7,95	0,9
7	ТВ-230	230	15,75	0,24	1,9	9,38	0,9
8	ТВ-275	275	15,75	0,28	1,7	11,21	0,9
9	ТВ-300	300	15,75	0,20	1,8	12,23	0,9
Г9 – 10,5 кВ							

0-1	ТВ-46	46	10,5	0,153	2,4	3,16	0,8
2-3	ТВ-40	40	10,5	0,153	2,4	2,75	0,8
4	ТВ-53	53	10,5	0,192	2,2	3,45	0,8
5	ТВ-67	67	10,5	0,230	2,2	4,61	0,8
6	ТВ-76	76	10,5	0,245	1,8	5,23	0,8
7	ТВ-24	24	10,5	0,127	2,6	1,65	0,8
8-9	ТВ-33	33	10,5	0,143	2,6	2,27	0,8
Г10, Г11 – 10,5 кВ							
0	ТВ-24	24	10,5	0,22	2,6	1,65	0,8
1	ТВ-45	45	10,5	0,20	2,4	3,10	0,8
2	ТВ-52	52	10,5	0,21	2,2	3,37	0,85
3	ТВ-87	87	10,5	0,21	2,2	5,32	0,9
4	ТВ-100	100	10,5	0,24	1,8	6,12	0,9
5	ТВ-115	115	10,5	0,12	1,8	7,03	0,9
6	ТВ-87	87	10,5	0,21	2,2	5,320	0,9
7	ТВ-65	65	10,5	0,24	2,3	4,21	0,85
8	ТВ-32	32	10,5	0,17	2,4	2,07	0,85
9	ТВ-40	40	10,5	0,22	2,4	2,59	0,85
Г12, Г13 – 10,5 кВ							
0-3	ТГВ-47	47	10,5	0,22	2,6	3,23	0,8
4-7	ТГВ-56	56	10,5	0,20	2,2	3,85	0,8
8-9	ТГВ-35	35	10,5	0,21	2,7	2,41	0,8

Таблица 15

ГИДРОГЕНЕРАТОРЫ Г14 – Г16

<i>Гидрогенераторы</i> Г14, Г15 – 10,5 кВ Г16 – 15,75 кВ Г14, Г15 – 6,3 кВ							
№2 вари- ри- анта	Тип	$P_{\text{ном}}$, МВт	$U_{\text{н}}$, кВ	x_d'' , о.е.	x_d	$I_{\text{ном}}$, кА	$\cos\varphi_{\text{н}}$
Г14, Г15 – 10,5 кВ							
0	ВГС-45	45	10,5	0,22	1,15	3,10	0,8
1	ВГС-90	90	10,5	0,20	0,97	5,50	0,9
2	ВГС-33	33	10,5	0,21	1,10	2,27	0,8
3	ВГС-55	55	10,5	0,21	1,15	3,56	0,85
4	ВГС-65	65	10,5	0,24	0,90	3,98	0,9
5	ВГС-100	100	10,5	0,12	0,97	6,12	0,9
Г14, Г15 – 6,3 кВ							

6	ВГС-78	78	6,3	0,21	0,85	7,95	0,9
7	ВГС-45	45	6,3	0,24	1,20	4,86	0,85
8	ВГС-54	54	6,3	0,17	1,20	5,83	0,85
9	ВГС-67	67	6,3	0,22	1,05	6,83	0,9
Г16 – 15,75 кВ							
0-1	ВГС-67	67	15,75	0,22	1,05	2,73	0,9
2-3	ВГС-55	55	15,75	0,20	1,15	2,24	0,9
4-5	ВГС-75	75	15,75	0,21	0,85	3,06	0,9
6-9	ВГС-90	90	15,75	0,21	0,97	3,67	0,9

Таблица 16

СИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ СД 1, СД 2, СД 3

Синхронные двигатели СД 1 - 6 кВ; СД 2 – 10 кВ; СД 3 – 6 кВ <i>Режим до возникновения переходного процесса – «перевозбуждение»</i>						
№2 вари- анта	Тип	$P_{\text{ном}}$, МВт	$U_{\text{н}}$, кВ	$I_{\text{пуск}}$, о.е.	$I_{\text{ном}}$, кА	$\cos\varphi_{\text{н}}$
СД 1 - 6 кВ						
0	СДН-10-69-6	10	6	5,4	1,11	0,87
1	СДН-12-84-6	12	6	5,8	1,33	0,87
2	СДН-14-104-6	14	6	7,1	1,55	0,87
3	СДН-16-94-6	16	6	6,8	1,71	0,9
4	СДН-18-90-6	18	6	5,9	1,93	0,9
5	СТМ-20-60-6	20	6	5,4	2,14	0,9
6	СТД-22-45-6	22	6	6,7	2,35	0,9
7	СТД-8-500-6	8	6	10,1	0,88	0,87
8	СТД-16-63-6	16	6	6,3	1,77	0,87
9	СТД-24-80-6	24	6	7,0	2,57	0,9
СД 2 – 10 кВ						
0	СДН-10-69-10	10	10	5,4	0,66	0,87
1	СДН-12-84-10	12	10	5,8	0,80	0,87
2	СДН-14-104-10	14	10	7,1	0,93	0,87
3-5	СД 2 отсутствует					
6	СДН-22-69-10	22	10	6,7	1,41	0,9
7	СДН-18-84-10	18	10	8,5	1,19	0,87

8	СДН-16-104-10	16	10	6,3	1,06	0,87
9	СД 2 отсутствует					
СД 3 – 6 кВ						
0	СДН-10-69-6	10	6	5,4	1,11	0,87
1	СДН-12-84-6	12	6	5,8	1,33	0,87
2	СДН-14-104-6	14	6	7,1	1,55	0,87
3-5	СД 3 отсутствует					
6	СДН-22-69-6	22	6	6,7	2,35	0,9
7	СДН-18-84-6	18	6	8,5	2,00	0,87
8	СДН-16-104-6	16	6	6,3	1,77	0,87
9	СД 3 отсутствует					

Таблица 17

ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

<i>Системы</i>						
Реактивности систем: $x_{1C} = x_{2C}$, $x_{0C} = 2 x_{1C}$						
№2 вари- ри- анта	Система C_1		Система C_2		Система C_3	
	E_c , кВ	$S_{к.з.}$, МВА	E_c , кВ	$S_{к.з.}$, МВА	E_c , кВ	$S_{к.з.}$, МВА
0	115	2700	235	12000	500	15000
1	125	2800	240	10000	515	16000
2	120	2900	240	9000	515	20000
3	120	3200	230	8200	520	25000
4	118	3500	235	7000	520	30000
5	118	4000	230	6500	510	35000
6	117	4500	240	14000	515	40000
7	115	5000	245	5000	515	36000
8	115	5500	245	5500	520	46000
9	115	6000	225	6000	525	55000

ВОЗДУШНЫЕ ЛЭП

<i>Воздушные линии электропередачи</i>							
ЛЭП-110 кВ (АС-120); $x_1 = 0,425$ Ом/км Взаимная реактивность нулевой последовательности между цепями $x_{0I-II} = 2x_1$				ЛЭП-220 кВ (АС-240); $x_1 = 0,435$ Ом/км Взаимная реактивность нулевой последовательности между цепями $x_{0I-II} = 1,6x_1$			
Одноцепные ВЛ имеют стальной грозозащитный трос; Двухцепные ВЛ выполнены без грозозащитного троса							
№2 вари- анта	Длина ЛЭП -110 кВ, км				Длина ЛЭП -220 кВ, км		
	Л1	Л2	Л3	Л4	Л1	Л2	Л3, Л4
0	30	35	55	15	55	55	65
1	40	30	40	20	60	60	85
2	45	15	55	12	80	80	80
3	25	35	65	10	90	90	65
4	35	35	50	10	40	40	75
5	45	25	55	15	60	65	70
6	55	35	60	15	70	70	55
7	55	20	40	20	65	55	55
8	30	40	40	40	90	40	70
9	45	65	85	25	70	70	30

Таблица 19

Наименование заданий	Трудоемкость	
	<i>t</i> , ч	%
Задание 1. Расчет трехфазного КЗ в сложной электрической системе	10	25
1.1. Составление электрической схемы замещения, расчет сопротивлений и ЭДС элементов схемы	6	15
1.2. Упрощение схемы замещения и расчет параметров аварийного режима трехфазного КЗ для $t = 0$, $t \neq 0$, $t = \infty$, $U_{ост}$	4	10
Задание 2. Расчет и анализ несимметричного КЗ в сложной электрической системе	12	30
2.1. Составление и расчет параметров схем замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей.	6	15
2.2 Расчет токов и напряжений несимметричного КЗ в соответствии с заданием; построение векторных диаграмм.	6	15
Задание 3. Расчет и анализ режима продольной несимметрии в сложной электрической системе	12	30
3.1. Составление и расчет параметров схем замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей.	6	15
3.2 Расчет токов и напряжений для режиме продольной несимметрии в соответствии с индивидуальным заданием; построение эпюр напряжений.	6	15
4. Оформление записки	6	15
Σ	40	100

Ниже приведен образец титульного листа курсовой работы.

(ОБРАЗЕЦ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА КУРСОВОЙ РАБОТЫ)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Институт – Электротехнический (ЭНИН)

Направление – 140400 Электроэнергетика и электротехника

Профиль – (1. Электроэнергетические системы и сети

2. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем

3. Электрические станции)

Кафедра – « Электрических сетей и электротехники »

КУРСОВАЯ РАБОТА

Пояснительная записка к курсовой работе по дисциплине

«Электромагнитные переходные процессы

в электрических системах»

(вариант №1- , №2-)

Выполнил студент гр. 9А92

И.И. Иванов

Принял доц. каф. ЭСС

Р.Б. Абеуов

Томск 200__ г.

6. ЛИТЕРАТУРА

6.1. Основная

1. Готман В.И. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008, 2009. – 240 с.
2. Готман В.И. Короткие замыкания и несимметричные режимы в электроэнергетических системах: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 240 с.
3. Готман В.И. Режимы коротких замыканий в электроэнергетических системах: Учебн. пособие. Сборник задач. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 98 с.
4. Готман В.И. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах. Учебное пособие по курсовому проектированию. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 42 с.

6.2. Дополнительная

5. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. – М.: Энергия, 1970.
6. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. – М.: Энергия, 1964.
7. Ульянов С.А. Сборник задач по электромагнитным переходным процессам в электрических системах. – М.: Энергия, 1968.–496 с.
8. Куликов Ю.А. Переходные процессы в электрических системах, учебное пособие. – Новосибирск: Изд. НГТУ, 2003 – 284с.
9. Крючков И.П. и др. Переходные процессы в электроэнергетических системах / под ред. И.П. Крючкова — 2-е изд., стереотип.–М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 416 с.
10. Борисов Р.И., Готман В.И. Основы переходных процессов в электрических системах: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 1969. – 387 с.
11. Готман В.И., Хрущев Ю.В. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. Учебное пособие к курсовому проектированию. – Томск: Изд. ТПУ, 2002