Некоммерческое акционерное общество

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ-ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 5В071800-Электроэнергетика. Часть 1

Алматы 2014

СОСТАВИТЕЛИ: С.А.Бугубаев, Ш.К.Шоколакова. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем. Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 5В071800-Электроэнергетика. Часть 1 – Алматы: АУЭС, 2014. – 39 с.

Методические указания соответствуют курсу «Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем», включают задания по выполнению лабораторных работ, исходные данные, указания к выполнению и перечень рекомендуемой литературы.

Ил. 18 , табл. 9, библиогр. - 9 назв.

Рецензент: доцент Кузембаева Р.М.

Печатается по дополнительному плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2013 год.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2014 г.

Содержание

Введение	4
Лабораторная работа №1	4
Лабораторная работа №2	7
Приложение А	13
Приложение Б	24
Приложение В	28
Приложение Г	29
Приложение Д	30
Приложение Е	32
Список литературы	37

Введение

При проектировании и эксплуатации электрических установок и систем требуется выполнить расчеты электромагнитных переходных процессов при внезапном симметричном или несимметричном коротких замыканиях (КЗ). Основными видами КЗ в электрических системах являются несимметричные КЗ , расчет токов и напряжения для которых достаточно сложен. Ток короткого замыкания в начальный момент переходного процесса складывается из периодической и апериодической составляющих. При отсутствии на генераторах автоматического регулирования возбуждения (АРВ) после затухания апериодической составляющей тока КЗ наступает установившийся режим КЗ. Наличие устройств АРВ генераторов существенно влияет на характер переходного процесса, его длительность и величину тока как в переходном, так и в установившемся режимах.

При расчете КЗ аналитическим или практическим методами неоценимую помощь оказывают универсальные компьютерные программы-симуляторы электрических цепей. Они позволяют получить решение в соответствии с принятым методом расчета, почти полностью освобождая от трудоемкой вычислительной работы. На модели можно производить экспериментальные исследования, которые невозможно или очень сложно выполнять в реальной схеме.

1 Лабораторная работа № 1

Расчет величины тока трехфазного короткого замыкания для начального момента времени КЗ (t = 0).

Цель работы: проведение расчета тока трехфазного короткого замыкания для начального момента времени t = 0 с использованием компьютерной модели.

1.1 Задание на подготовительную работу

1.1.1 Ознакомиться с компьютерной программой-симулятором и принципом создания расчетной модели электрической системы (приложение Е).

1.1.2 Составить схему замещения исследуемой электрической системы по варианту (приложения А, Б), выбрать базисные условия и рассчитать в системе относительных единиц параметры элементов схемы замещения.

1.1.3 Рассчитать токи при КЗ в точках, указанных преподавателем.

1.2 Порядок проведения работы

1.2.1 Составить модель схемы замещения для начального момента времени короткого замыкания на компьютере с использованием программы-симулятора.

1.2.2 Подключить амперметр попеременно в заданные преподавателем точки КЗ и, включив режим симуляции, замерить величину токов трехфазного КЗ (сверхпереходный ток) на модели.

1.2.3 Пересчитать полученные на модели значения токов в относительных единицах в реальные токи КЗ.

1.3 Оформление результатов работы

Отчет должен содержать:

1) Схемы замещения для начального момента времени t = 0.

2) Результаты расчета ЭДС и сопротивлений элементов системы при выбранных базисных условиях.

3) Результаты расчета токов КЗ.

4) Результаты замеров токов на компьютерной модели и пересчитанные значения токов КЗ.

1.4 Методические указания

1.4.1 Параметры элементов и ЭДС в схемах замещения обычно представляются в относительных единицах, что позволяет придать результатам исследований простоту и наглядность. Чтобы выразить параметры элементов и ЭДС в относительных единицах нужно сначала выбрать те величины, которые должны служить единицами измерения, т.е. установить базисные единицы (выбрать базисные условия). Выбираемые базисный ток $I_б$, базисное междуфазное напряжение $U_б$, базисная мощность и базисное сопротивление $X_б$ связаны между собой известными соотношениями:

$$S_б = \sqrt{3}\, U_б I_б\,, \tag{1}$$

$$X_б = \frac{U_б}{\sqrt{3}\cdot I_б}\,. \tag{2}$$

Из приведенных выражений видно, что произвольно могут быть выбраны только две базисные величины – базисная мощность и базисное напряжение, а две другие определяются. Выбор базисных условий произволен, но рекомендуется производить его так, чтобы вычислительная работа, по возможности, была проще. Для базисной мощности целесообразно принимать простое круглое число (100, 1000 МВА и т.п.), а за базисное напряжение - номинальное напряжение одной из ступеней трансформации данной схемы участка системы.

1.4.2 Составление схемы замещения. Генераторы вводятся в схему замещения своими сверхпереходными ЭДС E'' и сопротивлениями x''_d. Если из-

вестен предшествующий режим работы генератора, то величину сверхпереходной ЭДС легко определить по формуле

$$E'' = \sqrt{(U_0 \cos\varphi_0)^2 + (U_0 \sin + I_0 x''_d)^2}\,, \qquad (3)$$

где U_o, I_o, φ_o – предшествующие напряжения, ток и угол сдвига между их векторами.

Все генераторы до возникновения к.з. работают с номинальной нагрузкой (I_o=1, U_o=1) и $cos\varphi_o$=0,8. В приближенных расчетах методом относительных единиц для турбогенераторов E''=1,08, для гидрогенераторов E''=1,13, $x''_{d(б)} = x''_d \dfrac{S_б}{S_{нГ}}$. Нагрузки должны быть введены в схему замещения в точках их действительного присоединения. При этом их относительная реактивность принимается равной $x''_{нагр.}$=0,35$\dfrac{S_б}{S_н}$, а $E''_{нагр.}$=0,85 при их полной рабочей мощности (МВА) и среднем номинальном напряжении (кВ) той ступени, где эти нагрузки присоединены. Система вводится в схему замещения ЭДС E_c=1 и сопротивлением x_c=$\dfrac{S_б}{S_{кз}}$. Схемы замещения остальных элементов приведены в приложении В.

1.4.3 Далее схему замещения следует преобразовать в эквивалентную схему замещения (приложение Г), состоящую из результирующих ЭДС и сопротивления ($E_{рез}$ и $x_{рез}$). Ток трехфазного короткого замыкания находится по формуле

$$I_к^{(3)} = \frac{E_{рез}}{x_{рез}} \cdot I_б, \text{ [А]}, \qquad (4)$$

причем

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3}U_б}, \text{ [А]}, \qquad (5)$$

где $U_б$ – напряжение той ступени системы, на которой расположена точка короткого замыкания, которое обычно принимают как базисное напряжение.

Контрольные вопросы:

1) Укажите основные причины возникновения КЗ.

2) Какие основные допущения принимаются при расчете коротких замыканий?

3) Понятие о системе относительных единиц.

4) Составление схем замещения и их преобразование.

5) Понятие о периодической и апериодической слагающих тока КЗ.

6) Как учитывается нагрузка в начальный момент внезапного нарушения режима?

7) Понятие ударного тока КЗ.

8) В чем состоит практическая ценность сверхпереходной ЭДС и сопротивления?

9) Для чего в компьютерной модели в комплексной схеме несимметричных КЗ убирается заземление и заменяется на соединительные провода, объединяющие заземленные точки между собой?

2 Лабораторная работа № 2

Расчет несимметричных коротких замыканий.

Цель работы: проведение расчета всех видов несимметричных коротких замыканий для начального момента времени с использованием метода симметричных составляющих.

2.1 Задание на подготовительную работу

2.1.1 Для схемы, заданной преподавателем (приложения А, Б), выбрать базисные условия и рассчитать в системе относительных единиц сопротивления элементов схем замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей.

2.1.2 Задать величину ЭДС источников в схеме замещения прямой последовательности в системе относительных единиц при выбранных базисных условиях для начального момента времени t=0 (лабораторная работа № 1).

2.1.3 Рассчитать значения симметричных составляющих и фазных токов и напряжений короткого замыкания и заполнить таблицу из приложения Д.

2.2 Порядок проведения работы

2.2.1 В программе-симуляторе дополнительно к схеме замещения прямой последовательности (лабораторная работа №1) составить схемы замещения обратной и нулевой последовательностей.

2.2.2 Для определения эквивалентных сопротивлений различных последовательностей необходимо задать произвольную величину ЭДС в относительных единицах одинаковую для всех источников (например 1 В). В схему нулевой последовательности следует ввести ЭДС системы с тем же значением. Включить режим симуляции и снять показания амперметра в точке КЗ. Значения эквивалентных сопротивлений находятся по следующей формуле:

$$x_{1\Sigma} = x_{2\Sigma} = \frac{E_м}{I_м}, \quad (1)$$

$$x_{0\Sigma} = \frac{E_м}{I_м}, \quad (2)$$

где $E_м$ – величина моделируемой ЭДС;

$I_м$ – показания амперметра.

2.2.4 Сравнить с предварительным расчетом.

2.2.5 Зная эквивалентное сопротивление прямой последовательности, можно определить величину эквивалентной ЭДС прямой последовательности по формуле

$$E_{1\Sigma} = I_{к}^{(3)} \cdot x_{1\Sigma}, \qquad (3)$$

где $I_{к}^{(3)}$ – ток трехфазного короткого замыкания (лабораторная работа №1).

2.2.6 Составить в программе-симуляторе комплексные схемы замещения для двухфазного ($к^{(2)}$), однофазного ($к^{(1)}$) и двухфазного на землю ($к^{(1,1)}$) коротких замыканий. Снять значения симметричных составляющих токов и напряжений на модели по амперметрам и вольтметрам.

2.2.7 Перевести измеренные значения из относительных в именованные.

2.2.8 Сравнить с предварительным расчетом.

2.3 Оформление результатов работы

Отчет должен содержать:

1) Схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей.

2) Результаты расчета ЭДС и сопротивлений элементов системы при выбранных базисных условиях.

3) Результаты расчета токов и напряжений КЗ (таблица из приложения Д).

4) Комплексные схемы замещения.

5) Результаты замеров токов и напряжений на компьютерной модели.

6) Векторные диаграммы токов и напряжений.

2.4 Методические указания

2.4.1 Наиболее просто задача расчета несимметричных к.з. решается при помощи метода симметричных составляющих, который позволяет любую несимметричную трехфазную систему токов или напряжений разложить на три симметричные составляющие: прямой, обратной и нулевой последовательностей. Данные симметричные системы независимы и не влияют одна на другую. Токи прямой последовательности вызывают падение напряжения на сопротивлении прямой последовательности, а токи обратной и нулевой последовательностей вызывают соответственно падения напряжения обратной и нулевой последовательностей на сопротивлении обратной и нулевой последовательностей. Следовательно, каждый элемент электрической системы оказывает свое сопротивление протекающим по нему токам различных последовательностей. В общем случае сопротивления различных последовательностей одного и того же элемента отличаются друг от друга.

2.4.2 Разложение несимметричной системы на три симметричные требует составления схем замещения отдельно для прямой, обратной и нулевой последовательностей.

2.4.3 Схема замещения прямой последовательности - это обычная схема, которая составляется для расчета симметричного КЗ. Началом схемы следует считать нулевую точку эквивалентной звезды генератора (или нагрузки), потенциал которой равен нулю. Конец схемы - точка КЗ.

2.4.4 Схема замещения обратной последовательности по структуре аналогична прямой последовательности. Все элементы схемы системы вводятся сопротивлениями обратной последовательности. ЭДС генераторов и нагрузки принимаются равными нулю.

Началом схемы замещения обратной последовательности является точка нулевого потенциала, в которой объединены свободные концы всех генерирующих и нагрузочных ветвей. Концом схемы является точка КЗ.

Для элементов, магнитосвязанные цепи которых неподвижны относительно друг друга, сопротивления прямой и обратной последовательностей одинаковы, так как от перемены порядка чередования фаз симметричной трехфазной системы токов взаимоиндукция между фазами такого элемента не изменяется.

Таким образом, для трансформаторов, автотрансформаторов, воздушных и кабельных линий, реакторов сопротивление обратной последовательности равно сопротивлению прямой последовательности $x_1 = x_2$.

Для генераторов сопротивление обратной последовательности равно $x_2 = 1{,}22\ x''_{\mathrm{d}}$. В практических расчетах обычно принимают $x_2 \approx x''_{\mathrm{d}}$, поэтому для начального момента времени справедливо следующее соотношение $x_{1\Sigma} = x_{2\Sigma}$.

2.4.5 Система токов нулевой последовательности резко отличается от систем токов прямой и обратной последовательностей, вследствие чего сопротивления нулевой последовательности в общем случае весьма существенно отличаются от соответствующих сопротивлений двух других последовательностей. Ток нулевой последовательности, по существу, является однофазным током, разветвленным по трем фазам сети, обратным проводом которой служит земля. Следовательно, основным условием, определяющим возможность протекания тока нулевой последовательности, является наличие хотя бы одной заземленной нейтрали, электрически связанной с местом КЗ.

Структура схемы замещения нулевой последовательности главным образом определяется схемой соединения обмоток трансформаторов и автотрансформаторов (см. таблицу 1). Обмотки трансформатора и автотрансформатора, соединенные в Δ или Y без заземленной нейтрали, ограничивают пути циркуляции токов нулевой последовательности, поэтому элементы сети, присоединенные к этим обмоткам в схеме замещения отсутствуют.

Началом схемы считают точку, в которой объединены ветви с нулевым потенциалом (точку заземления нейтралей). Концом схемы является точка КЗ. Составление схемы замещения нулевой последовательности следует начинать от точки КЗ, считая, что в последней все три фазы закорочены и к этой точке приложено напряжение нулевой последовательности.

Если нейтраль одного из трансформаторов заземлена через какое-либо индуктивное сопротивление (реактор), то оно должно быть введено в схему

нулевой последовательности утроенной величиной. Это объясняется тем, что схему нулевой последовательности составляют для одной фазы, а через указанное сопротивление протекает сумма токов нулевой последовательности всех трех фаз. Чтобы падение напряжения на этом элементе осталось неизменным, величину сопротивления в нейтрали утраивают.

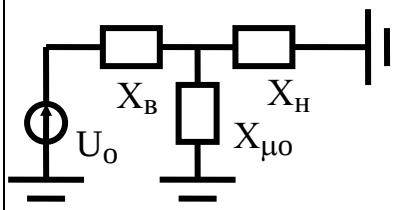
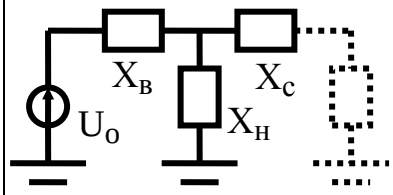
2.4.6 Как известно, ток прямой последовательности при любом несимметричном коротком замыкании может быть определен как ток при трехфазном КЗ в точке, удаленной от действительной точки КЗ (в схеме прямой последовательности) на дополнительное реактивное сопротивление, которое не зависит от параметров схемы прямой последовательности и определяется результирующими сопротивлениями обратной и нулевой последовательностей относительно места возникновения несимметрии.

$$I_{K1}^{(n)} = \frac{E_{1\Sigma}}{j(X_{1\Sigma} + X_{\Delta}^{(n)})}, \qquad (4)$$

где $X_{\Delta}^{(n)}$ - дополнительное сопротивление для данного вида несимметричного КЗ.

Это положение называют правилом эквивалентности прямой последовательности. Значения $X_{\Delta}^{(n)}$, токов и напряжений для несимметричных КЗ приведены в приложении Д.

Т а б л и ц а 1

Тип трансформатора	Схема замещения нулевой последовательности	Сопротивление нулевой последовательности
Трехфазный двухобмоточный трансформатор со схемой соединения обмоток Y_0/Δ		$X_o = X_1 = X_в + X_н = \frac{U_K\%}{100}$ $X_{\mu o} = \infty$
Автотрансформатор со схемой соединения обмоток $Y_0/Y_0/\Delta$		$X_в = \frac{1}{200}\cdot(U_{в-с} + U_{в-н} - U_{с-н})$ $X_C = \frac{1}{200}\cdot(U_{в-с} + U_{с-н} - U_{в-н})$ $X_н = \frac{1}{200}\cdot(U_{в-н} + U_{с-н} - U_{в-с})$

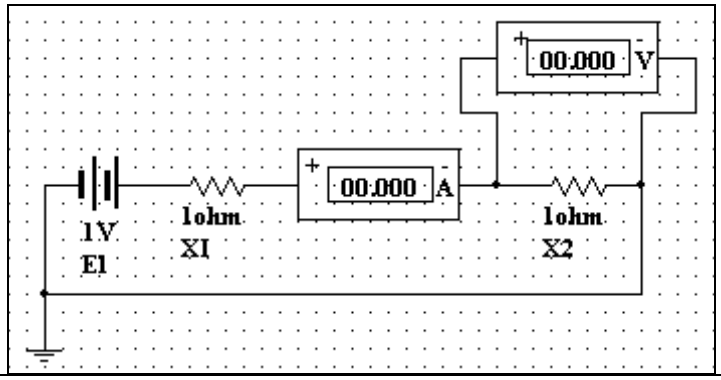
Токи и напряжения всех последовательностей в месте КЗ прямо пропорциональны току прямой последовательности, поэтому задача расчета любого несимметричного КЗ прежде всего состоит в определении тока прямой последовательности в месте КЗ.

2.4.7 Для определения тока прямой последовательности нужно соединить схемы отдельных последовательностей друг с другом так, чтобы в сумме они давали то сопротивление, которое должно быть поставлено в знаменателе. Такие схемы называются комплексными схемами замещения (см. рисунок 1).

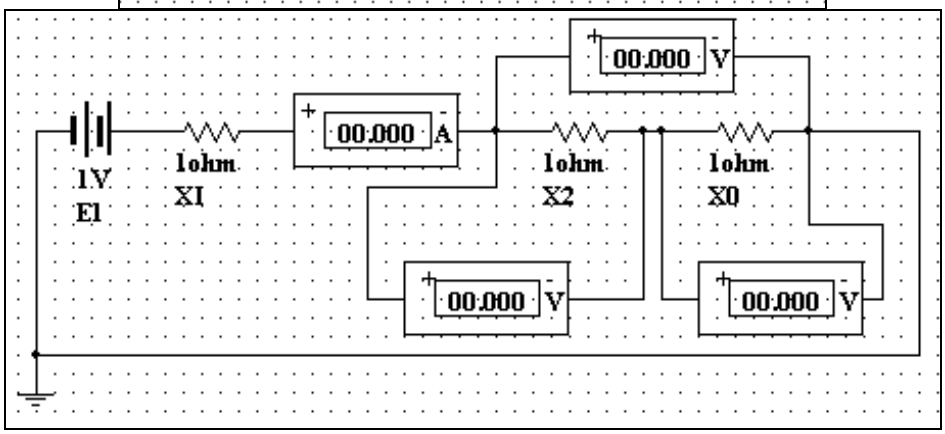
Комплексные схемы замещения наглядно показывают, что величина тока или напряжения любой последовательности в месте к.з. зависит от результирующих сопротивлений всех последовательностей; распределение токов и напряжений каждой последовательности происходит только в пределах схемы данной последовательности.

Комплексные схемы замещения особенно удобны при использовании расчетных моделей постоянного или переменного тока, поскольку в этом случае можно замерить приборами токи и напряжения отдельных последовательностей для любого участка и любой точки рассматриваемой системы.

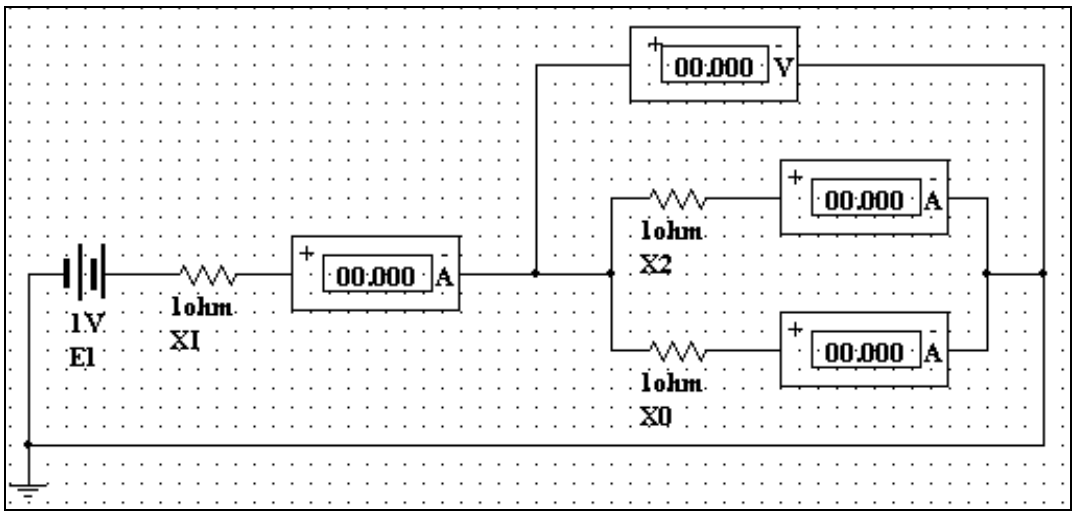
а)



б)



в)



а) для двухфазного КЗ; б) для однофазного КЗ; в) для двухфазного КЗ на землю.

Рисунок 1- Комплексные схемы замещения

Контрольные вопросы:

1) В чем сущность метода симметричных составляющих, каковы его основные положения?

2) Определение параметров элементов системы для токов обратной и нулевой последовательностей.

3) Граничные условия и основные соотношения между токами и напряжениями отдельных последовательностей при различных видах поперечной несимметрии.

4) Применение правила эквивалентности прямой последовательности и комплексные схемы замещения.

5) Сравнение токов при различных видах коротких замыканий.

6) Влияет ли на методику расчета то обстоятельство, что в модели расчета-симулятора используют ЭДС постоянного тока и вместо реактивного сопротивления – активное?

Приложение А

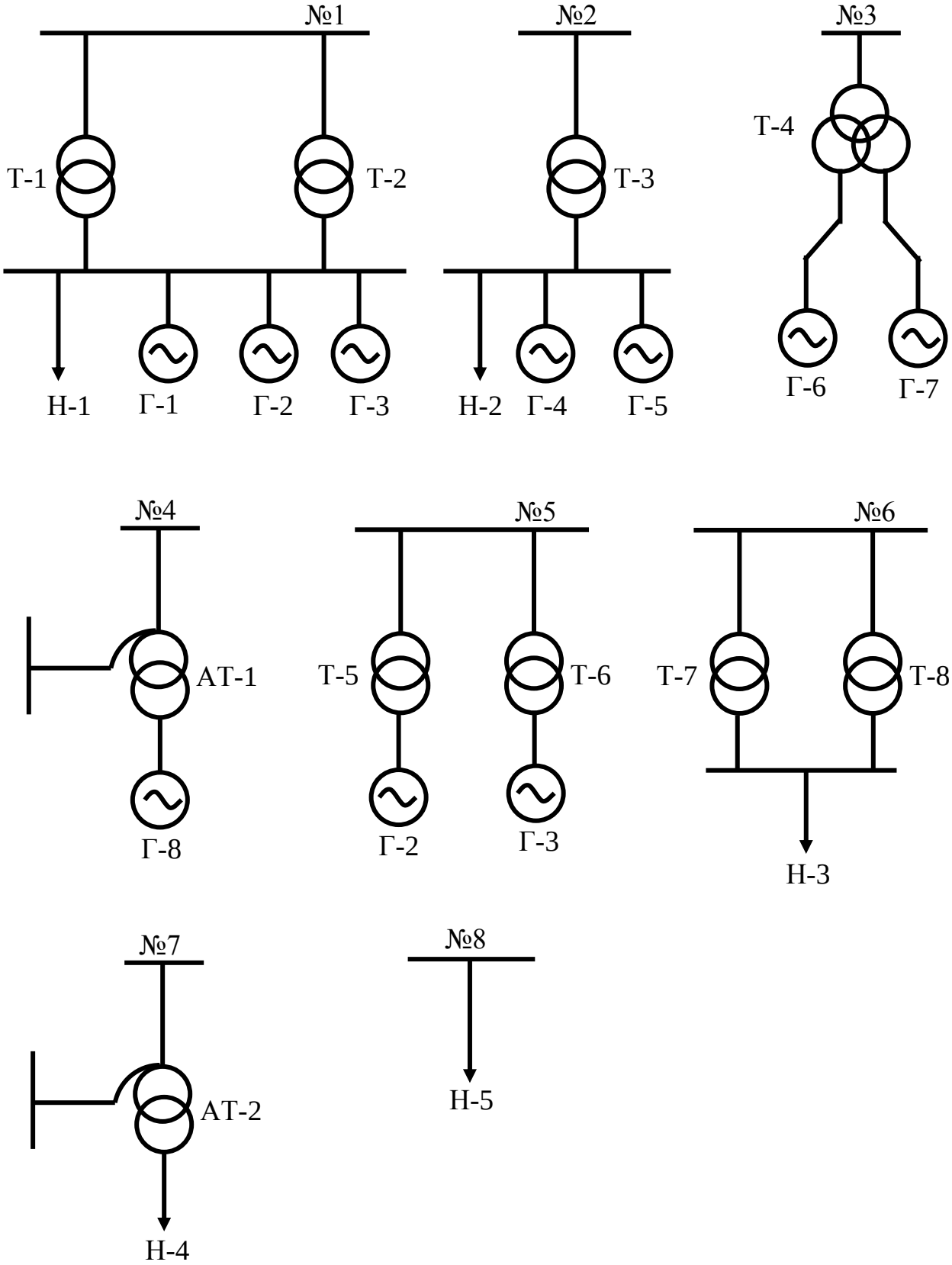


Рисунок А.1 - Схемы типовых элементов электрической системы

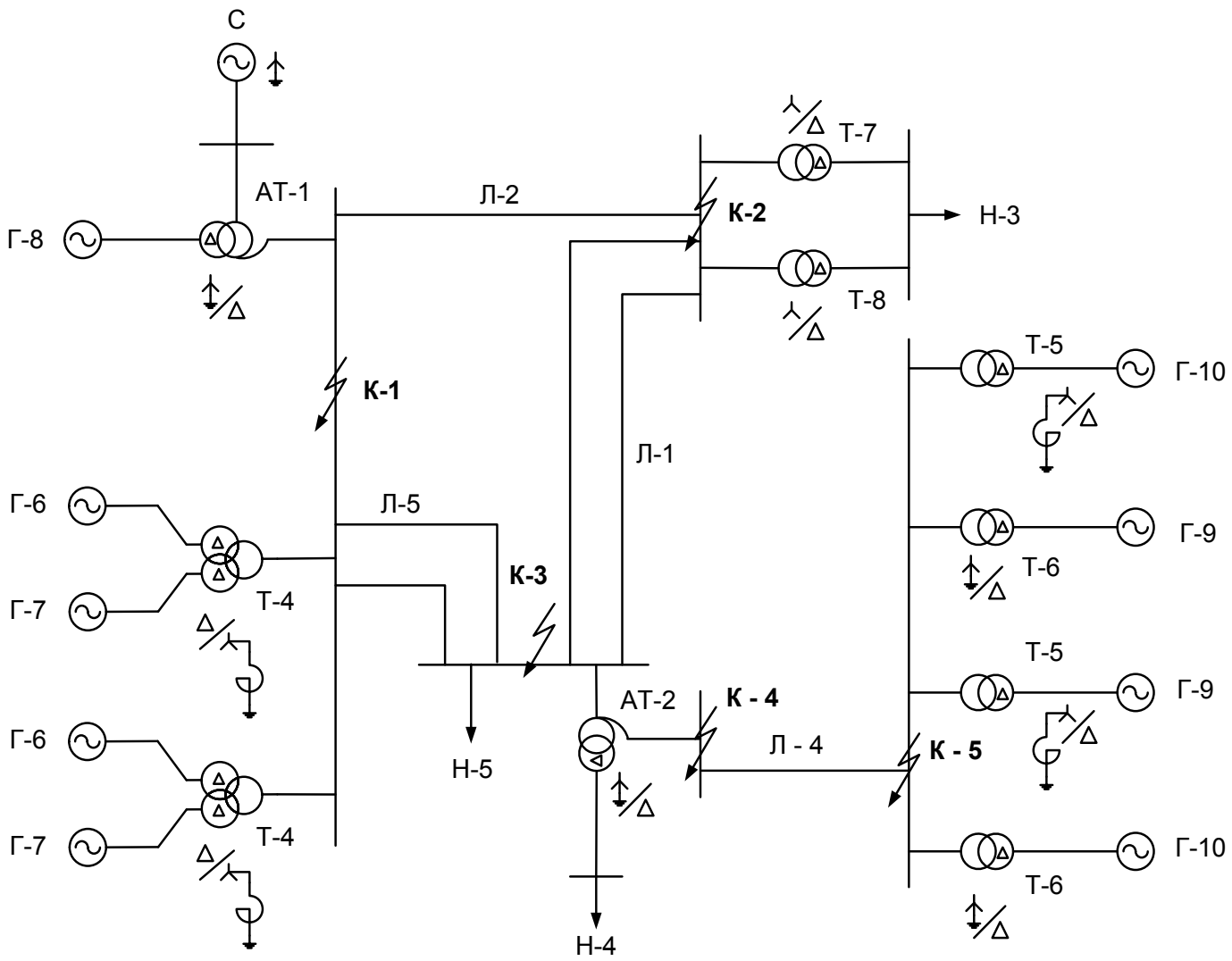


Рисунок А.2 - Схема № 1

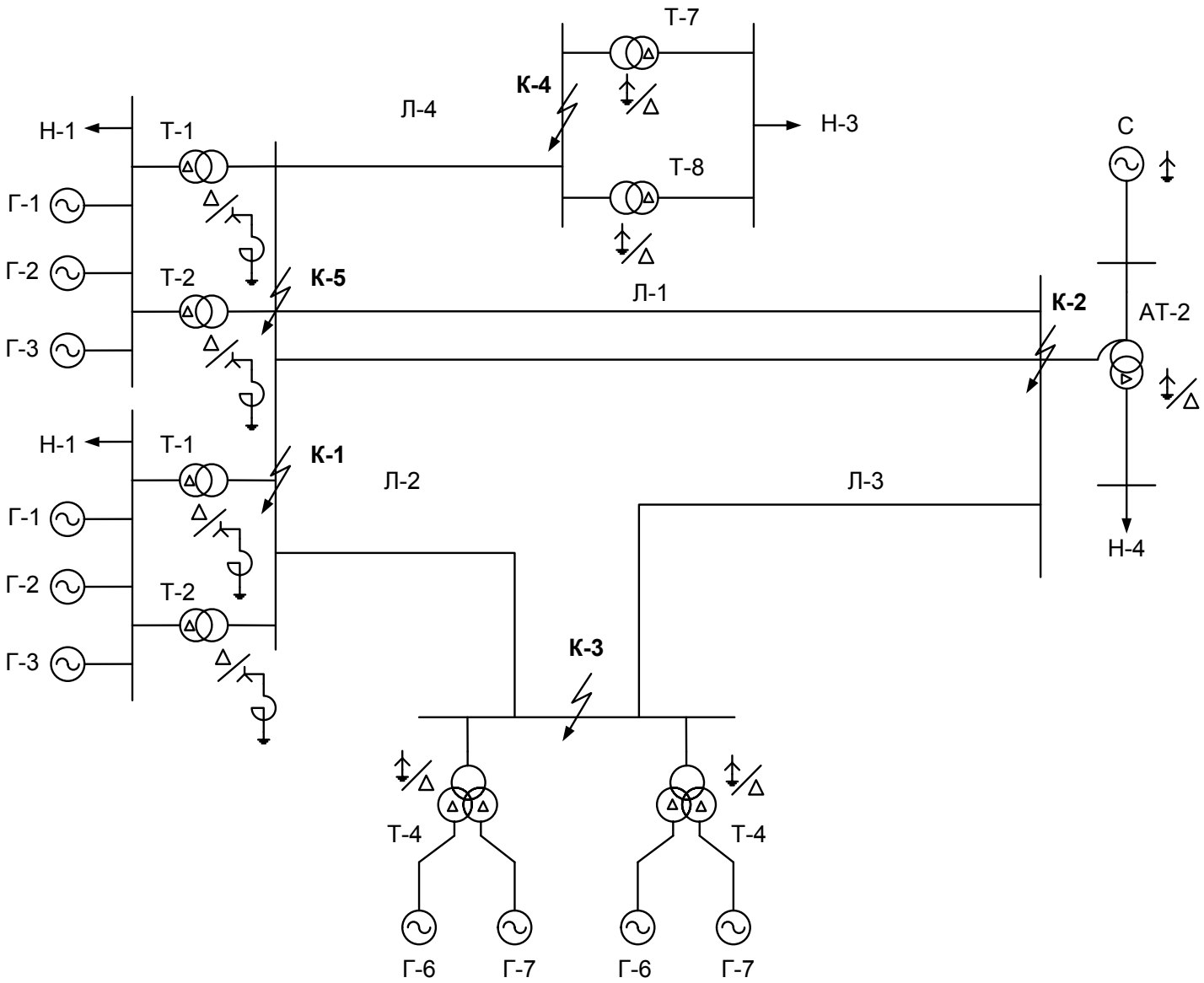


Рисунок А.3 - Схема № 2

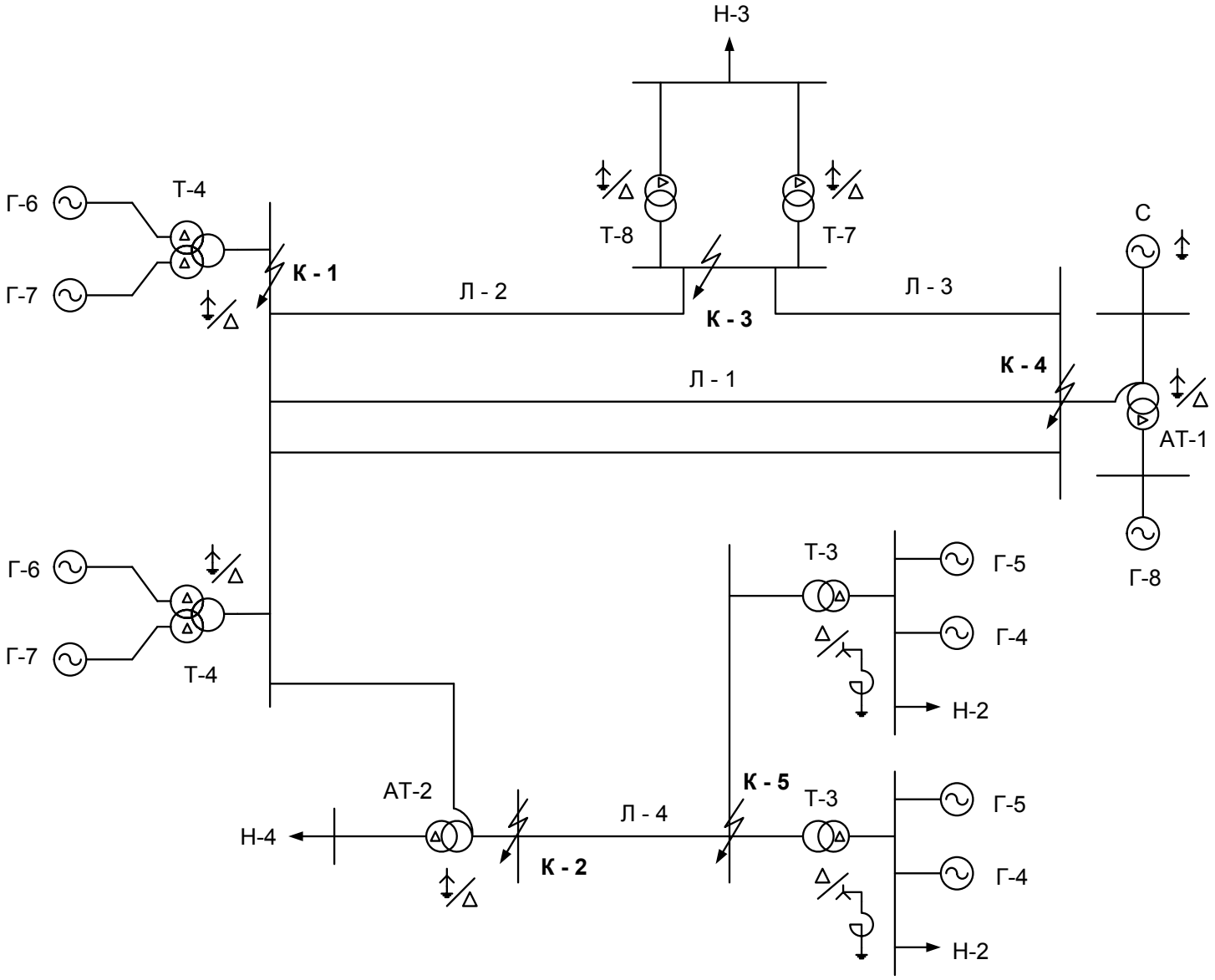


Рисунок А.4 - Схема № 3

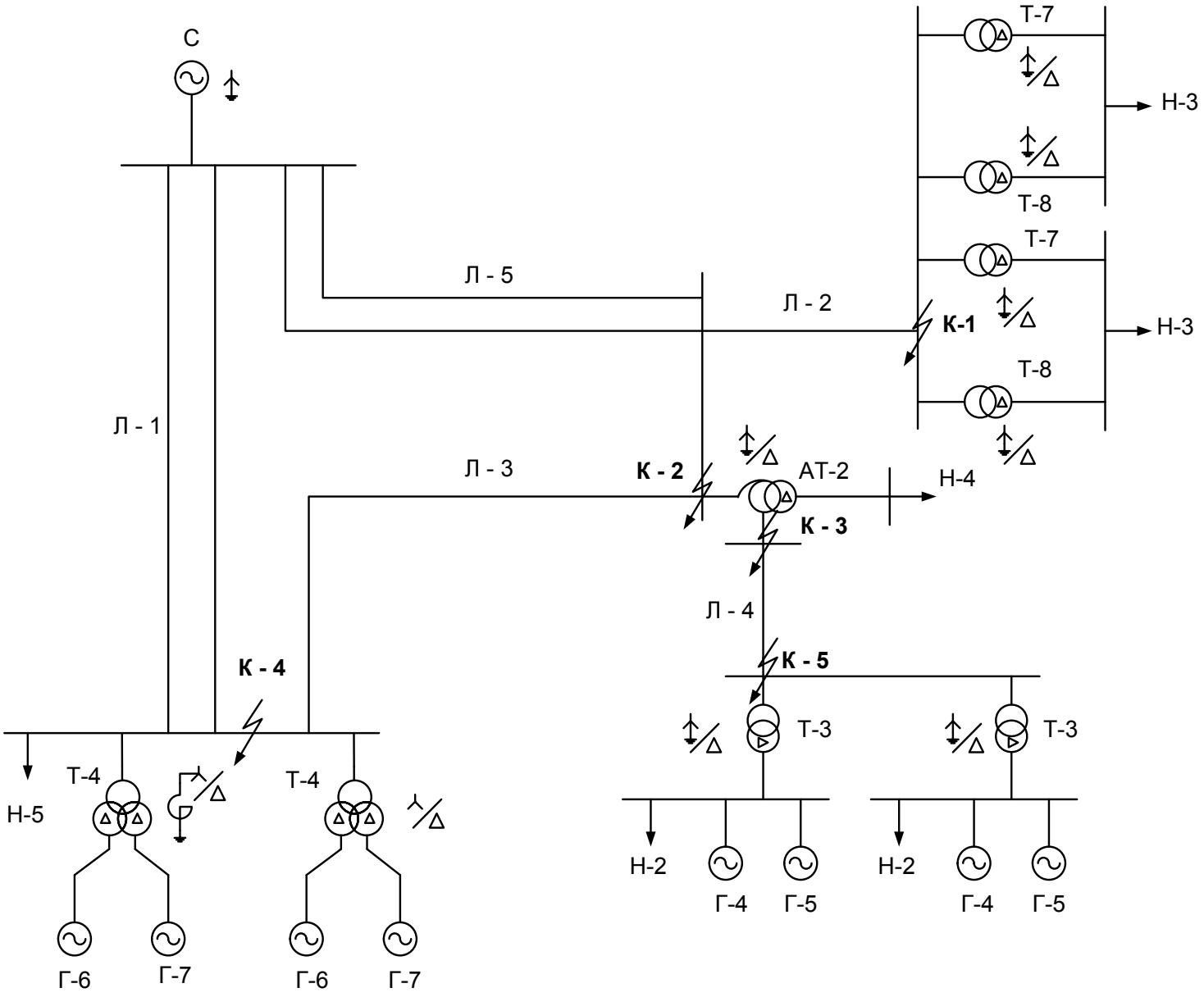


Рисунок А.5 - Схема № 4

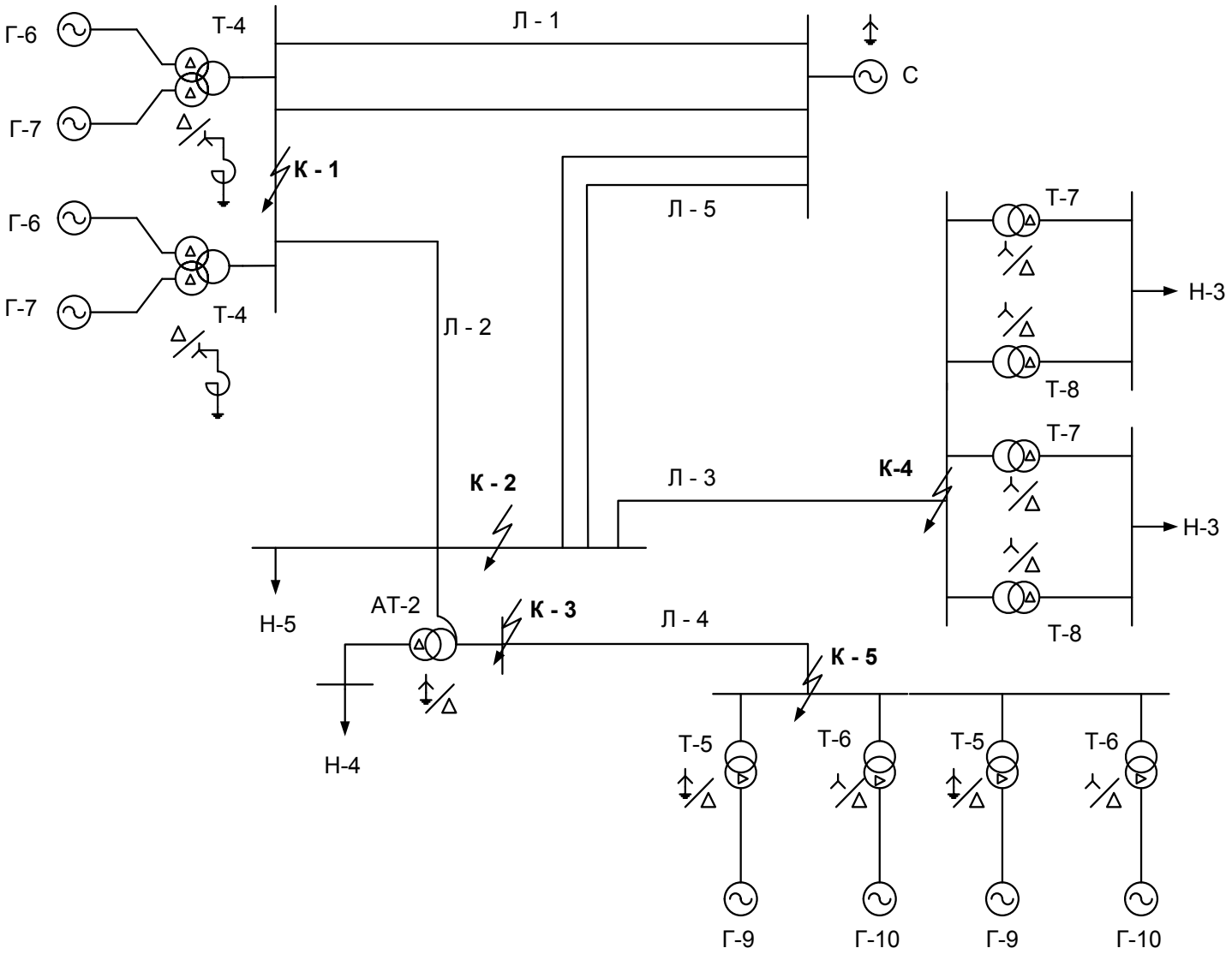


Рисунок А.6 - Схема № 5

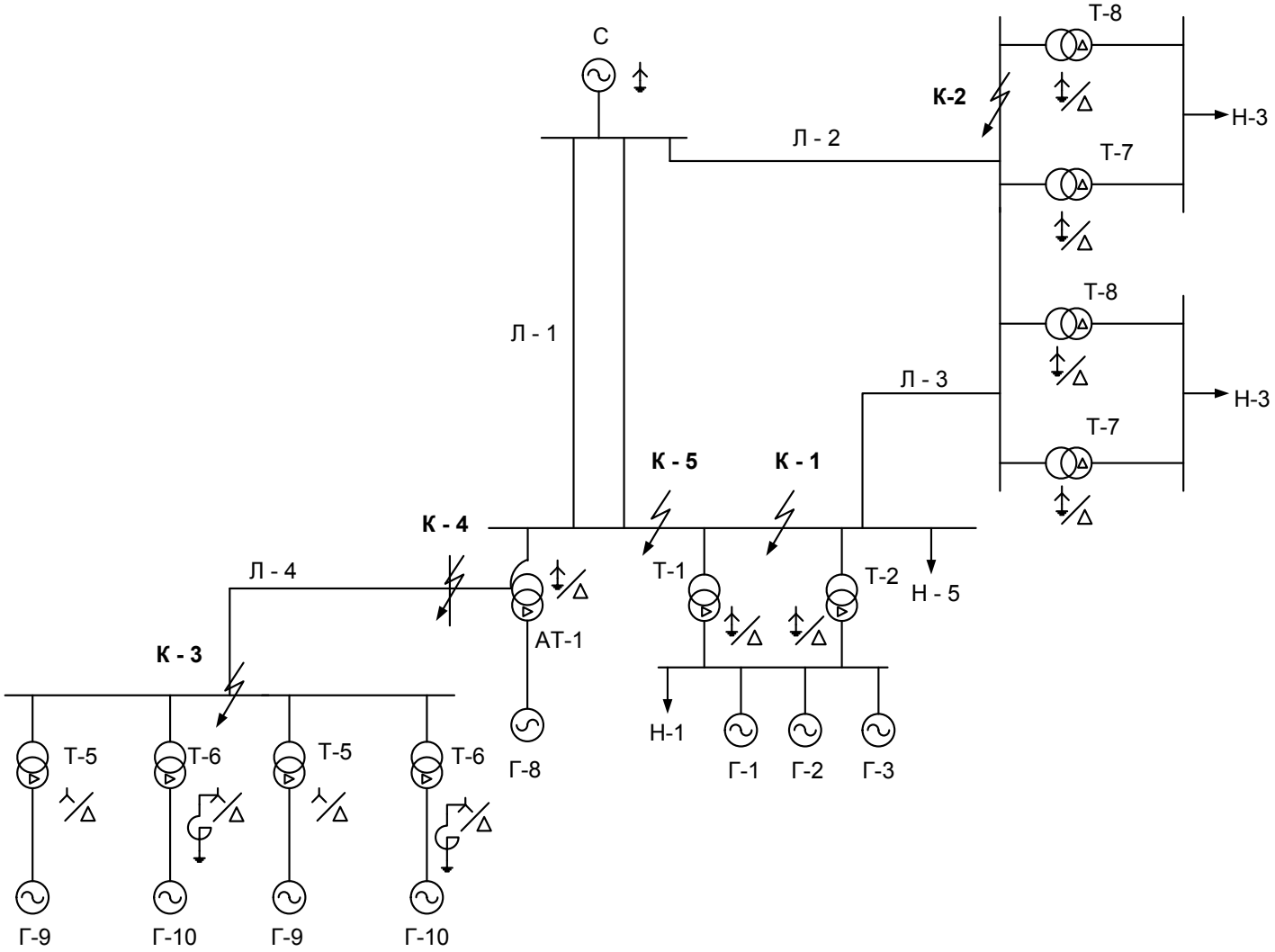


Рисунок А.7 - Схема № 6

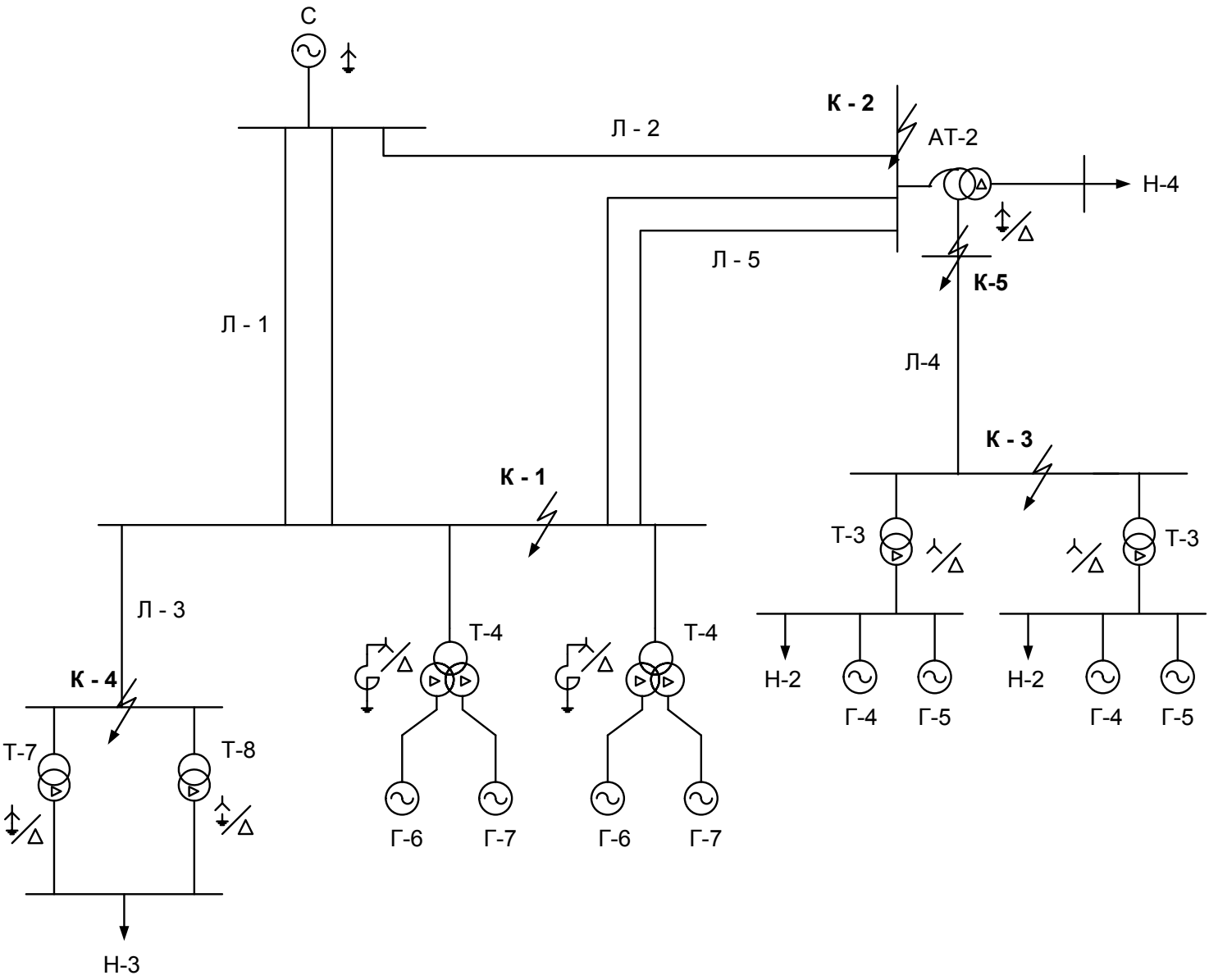


Рисунок А.8 - Схема № 7

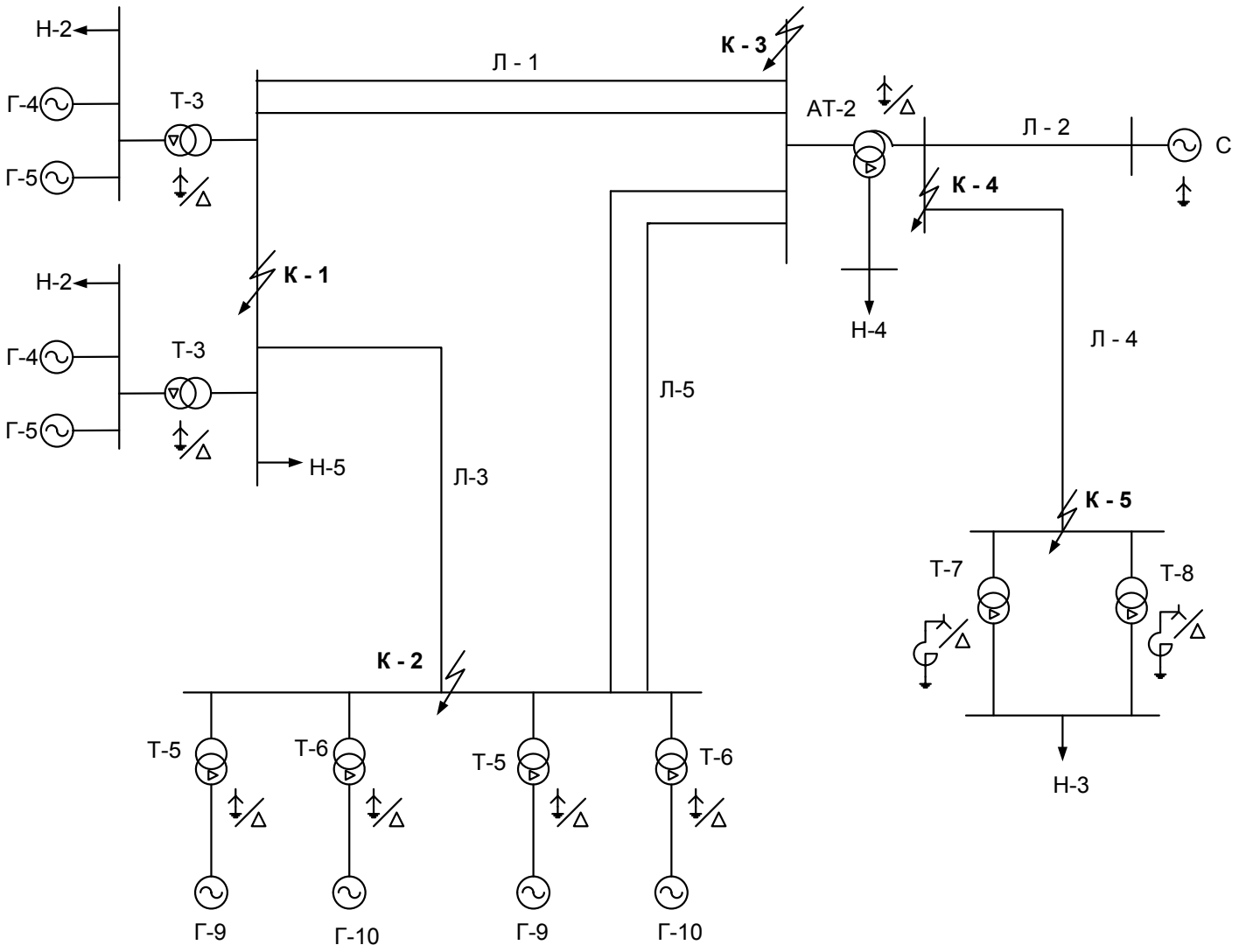


Рисунок А.9 - Схема № 8

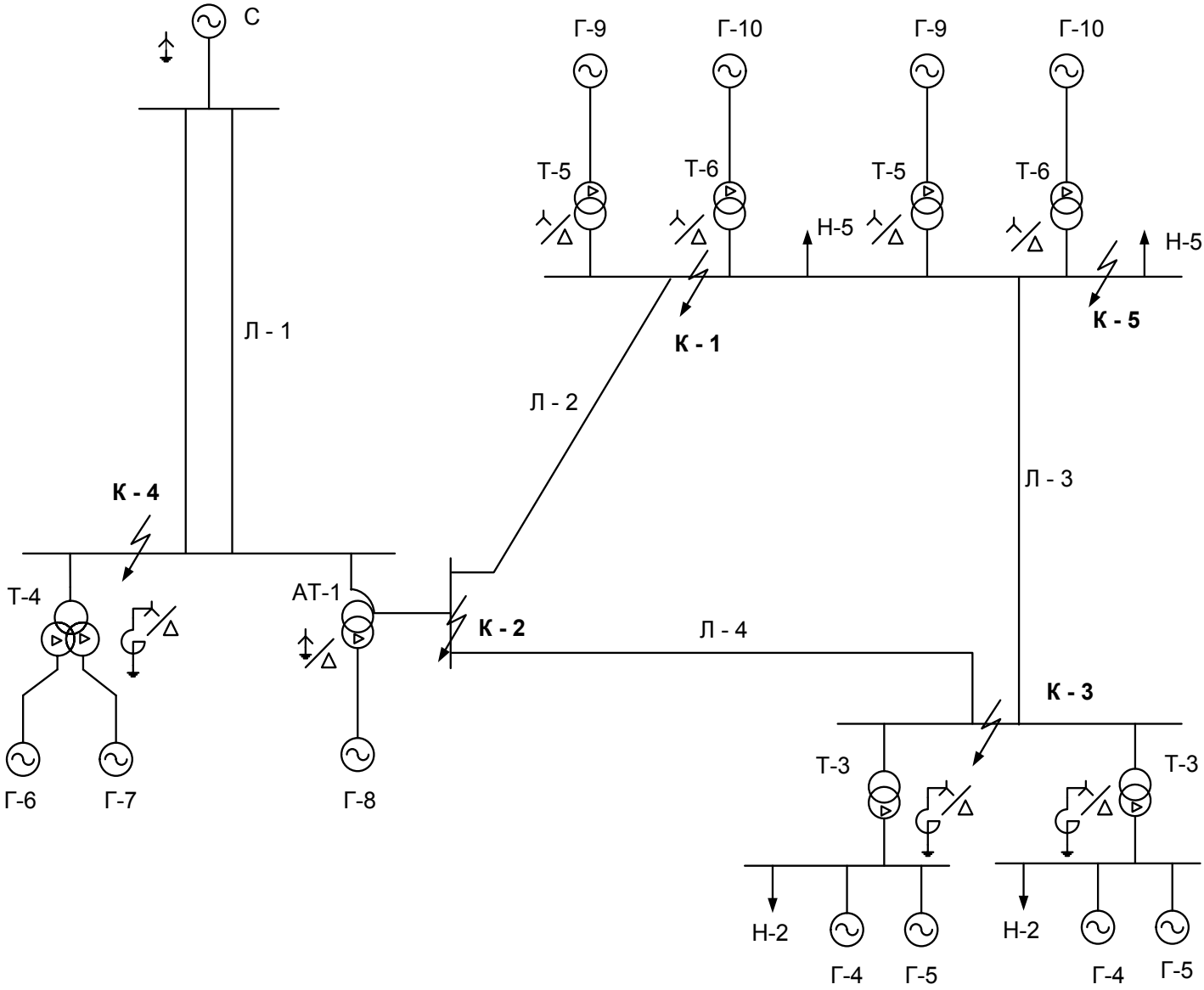


Рисунок А.10 - Схема № 9

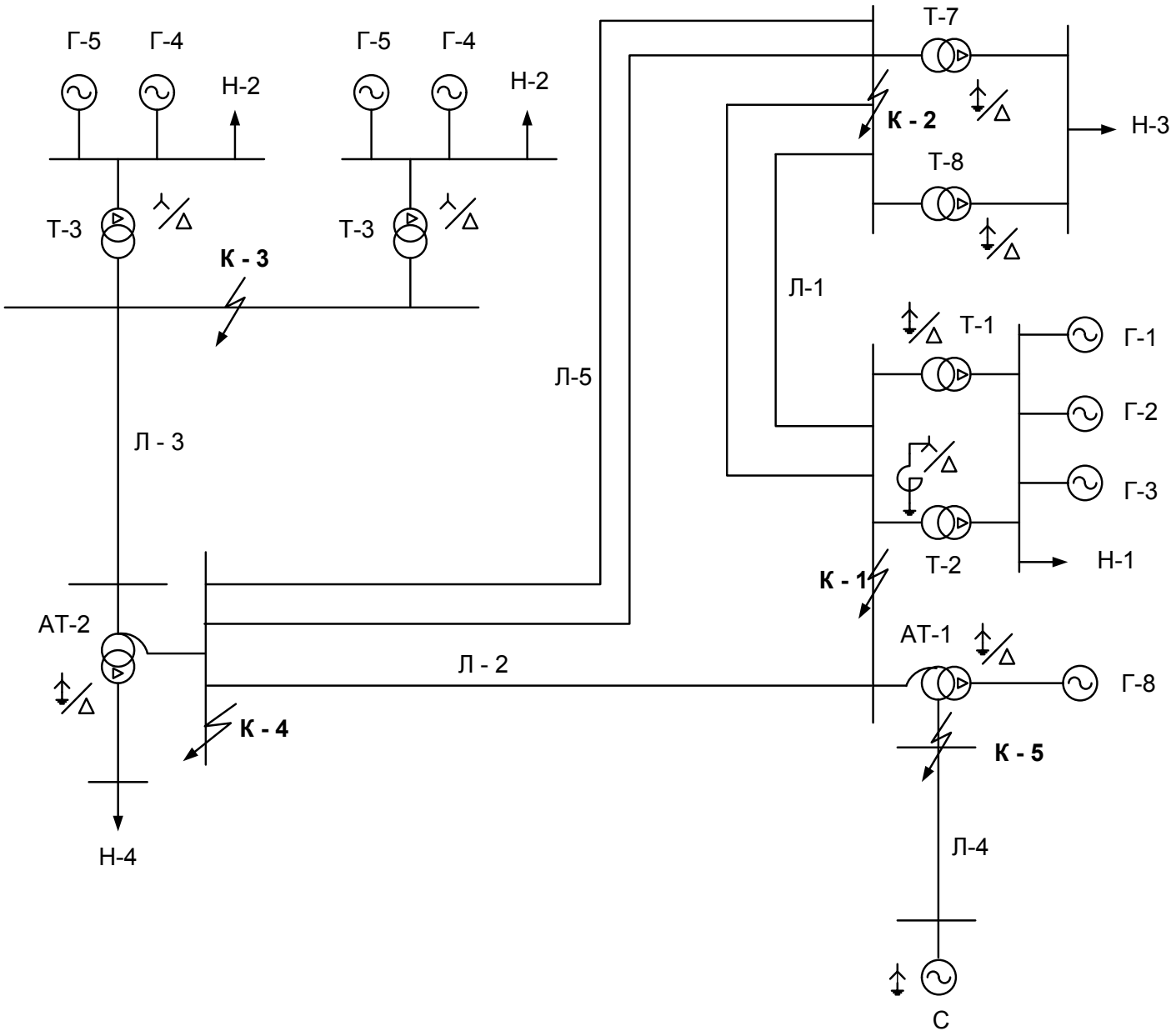


Рисунок А.11 - Схема № 10

Приложение Б

Т а б л и ц а Б.1 - Параметры элементов электрической системы

Предпоследняя цифра номера зачетной книжки	Система	ЭЛЕМЕНТ № 1										ЭЛЕМЕНТ № 2									
		Генераторы Г-1, Г-2, Г-3					Трансформаторы Т-1, Т-2				Н-1	Генераторы Г-4, Г-5					Трансформатор Т-3				Н-2
	$S_{к.з.}$, МВА	$S_{ном}$, МВА	$U_{ном}$, кВ	X_d	X''_d	$If._{пред}$	$S_{ном}$, МВА	$U_{ном}$, кВ		$U_к$, %	$S_{ном}$, МВА	$S_{ном}$, МВА	$U_{ном}$, кВ	X_d	X''_d	$If._{пред}$	$S_{ном}$, МВА	$U_{ном}$, кВ		$U_к$, %	$S_{ном}$, МВА
								$U_{вн}$,кВ	$U_{нн}$, кВ									$U_{вн}$,кВ	$U_{нн}$, кВ		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0	1600	125	10,5	1,907	0,192	3,2	125	347	10,5	11	80	80	10,5	1,23	0,22	3,15	125	121	10,5	11	70
1	1200	75	10,5	1,69	0,146	4,2	125	242	10,5	11	50	30	10,5	0,95	0,3	3,2	80	121	10,5	11	20
2	1000	37,5	6,3	2,46	0,143	3,5	80	242	6,3	11	30	66	10,5	0,91	0,21	2,8	125	121	10,5	11	50
3	1500	62,5	6,3	1,4	0,134	3,9	80	242	6,3	11	40	55	10,5	0,61	0,23	2,6	125	121	10,5	11	45
4	900	78,75	10,5	2,2	0,153	4	125	242	10,5	11	60	100	13,8	0,89	0,26	2,85	200	121	13,8	11	80
5	1800	75	10,5	1,69	0,145	4,4	125	347	10,5	11	55	50	10,5	1	0,16	2,65	125	121	10,5	11	35
6	2000	37,5	10,5	2,65	0,153	3,8	125	347	10,5	11	25	30	10,5	0,95	0,3	2,7	80	121	10,5	11	25
7	2400	235,3	15,75	1,88	0,191	2,6	400	347	15,8	11	200	55	10,5	0,61	0,23	2,95	125	121	10,5	11	30
8	1500	176,5	18	1,713	0,213	2,8	200	347	18	11	150	27,5	6,3	1,35	0,21	2,55	40	121	6,3	11	25
9	1300	117,5	10,5	1,79	0,183	3	125	242	10,5	11	90	25	10,5	0,95	0,24	3,1	40	121	10,5	11	15

Продолжение таблицы Б.1

Предпоследняя цифра номера зачетной книжки	ЭЛЕМЕНТ № 3									ЭЛЕМЕНТ № 4											
	Генераторы Г-6, Г-7					Трансформатор Т-4				Генератор Г-8					Автотрансформатор АТ-1						
	$S_{ном}$, МВА	$U_{ном}$, кВ	X_d	X''_d	$If._{пред}$	$S_{ном}$, МВА	$U_{ном}$,кВ		$U_к$, %	$S_{ном}$, МВА	$U_{ном}$, кВ	X_d	X''_d	$If._{пред}$	$S_{ном}$, МВА	$U_{ном}$,кВ			$U_к$, %		
							$U_{вн}$,кВ	$U_{нн}$, кВ								$U_{вн}$,кВ	$U_{сн}$,кВ	$U_{нн}$,кВ	$U_{к\ В\text{-}С}$	$U_{к\ В\text{-}Н}$	$U_{к\ С\text{-}Н}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0	**15**	**6,3**	**1,85**	**0,11**	**3,85**	**63**	**330**	**6,3/6,3**	**11**	**37,5**	**10,5**	**2,65**	**0,153**	**3,75**	**63**	**330**	**115**	**11**	**10**	**32**	**21,5**
1	37,5	10,5	2,65	0,15	3,8	100	230	11/11	12	15	6,3	1,35	0,114	3,66	32	230	121	6,6	11	34	21
2	15	6,3	1,85	0,11	3,65	32	230	6,6/6,6	12	62,5	6,3	1,4	0,134	3,9	125	230	121	6,6	11	31	19
3	78,75	10,5	2,2	0,15	4	160	230	11/11	12	37,5	10,5	2,65	0,153	3,8	100	230	121	11	11	31	19
4	37,5	6,3	2,46	0,14	3,8	100	230	6,6/6,6	12	75	10,5	1,69	0,146	5,4	160	330	121	11	11	32	20
5	75	10,5	1,69	0,15	4,4	200	330	10,5/10,5	11	15	10,5	2,07	0,131	3,85	63	330	115	11	10	32	21,5
6	15	10,5	2,07	0,13	3,75	32	330	10,5/10,5	11	62,5	6,3	1,4	0,134	3,95	125	330	115	6,6	10	35	22
7	78,75	10,5	2,2	0,15	4	200	330	10,5/10,5	11	37,5	6,3	2,46	0,143	3,75	125	330	115	6,6	10	35	22
8	37,5	10,5	2,65	0,15	4,2	63	330	10,5/10,5	11	75	6,3	1,6	0,195	4,25	200	330	115	6,6	10	34	22,5
9	37,5	10,5	2,65	0,15	4,15	63	230	11/11	12	125	10,5	1,19	0,192	4,25	250	230	121	11	11	32	20

Продолжение таблицы Б.1

Предпоследняя цифра номера зачетной книжки	ЭЛЕМЕНТ № 5									ЭЛЕМЕНТ № 6					ЭЛЕМЕНТ № 7							
	Генераторы Г-9, Г-10					Трансформаторы Т-5, Т-6				Трансформаторы Т-7, Т-8				Н-3	Автотрансформатор АТ-2							Н-4
	$S_{ном}$, МВА	$U_{ном}$, кВ	X_d	X''_d	$If._{пред}$	$S_{ном}$, МВА	Uном,кВ		$U_к$, %	$S_{ном}$, МВА	$U_{ном}$,кВ		$U_к$, %	$S_{ном}$, МВА	$S_{ном}$, МВА	$U_{ном}$,кВ			$U_к$, %			Sном, МВА
							$U_{вн}$,кВ	$U_{нн}$, кВ			$U_{вн}$,кВ	$U_{нн}$, кВ				$U_{вн}$,кВ	$U_{сн}$,кВ	$U_{нн}$,кВ	$U_{к\ В-С}$	$U_{к\ В-Н}$	$U_{к\ С-Н}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0	80	10,5	1,23	0,22	3,2	80	121	10,5	11	125	330	10,5/10,5	11	55	200	330	115	38,5	10	34	22,5	100
1	25	10,5	0,95	0,24	3,1	40	121	10,5	11	80	242	6,3	12	70	63	230	121	38,5	11	35	22	30
2	27,5	6,3	1,25	0,21	2,6	40	121	6,3	11	125	242	10,5	11	100	100	230	121	11	11	31	19	45
3	66	10,5	0,91	0,21	2,8	80	121	10,5	11	32	230	6,6/6,6	12	12	125	230	121	6,6	11	31	19	60
4	100	13,8	0,89	0,26	2,9	125	121	13,8	11	63	230	11/11	12	30	160	230	121	38,5	11	32	20	80
5	97	13,8	0,76	0,21	3	125	121	13,8	11	125	347	10,5	11	90	125	330	115	11	10	35	22	50
6	55	10,5	0,61	0,23	2,6	80	121	10,5	11	200	330	10,5/10,5	11	85	63	330	115	6,6	10	32	21,5	25
7	236	15,8	1,65	0,3	3,4	250	121	15,8	11	32	330	6,6/6,3	11	10	200	330	115	11	10	34	22,5	90
8	160	13,8	1,34	0,28	3,3	200	121	13,8	11	63	330	10,5/10,5	11	25	125	330	115	38,5	10	35	22	55
9	30	10,5	0,95	0,3	2,7	40	121	10,5	11	100	230	11/11	12	40	250	230	121	38,5	11	32	20	125

Продолжение таблицы Б.1

Предпоследняя цифра номера зачетной книжки	Элемент № 8	Воздушные линии										Реактор
		Л-1		Л-2		Л-3		Л-4		Л-5		
	Н-5	двухцепная		одноцепная		одноцепная		одноцепная		двухцепная		
	$S_{ном}$, МВА	L, км	X_0/X_1	L, км	X_0/X_1	L, км	X_0/X_1	L, км	X_0/X_1	L, км	X_0/X_1	$X_р$, Ом
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	120	320	3	70	2	270	2	105	3	170	2	35
1	200	280	5,5	140	3,5	70	3	80	3,5	160	3	15
2	250	360	4,7	100	3	60	3	90	3	150	4,7	20
3	300	180	3	80	2	70	2	100	3	140	5,5	25
4	150	300	4,7	210	3,5	100	3	70	2	130	3,5	30
5	350	390	5,5	180	3	220	3,5	60	3,5	120	2	35
6	240	250	3	125	2	200	3	65	3	110	3	15
7	320	420	4,7	240	3,5	120	3	75	3	100	4,7	30
8	180	200	5,5	90	3	110	3	85	2	90	5,6	25
9	100	450	4,7	60	3	300	2	95	3	80	3,5	30

Примечания: 1) Система – источник неограниченной мощности с неизменным напряжением, равным среднему номинальному напряжению той ступени, где она подключена; 2) все генераторы до возникновения короткого замыкания работают с номинальной нагрузкой Cosφ=0,8; 3) Г-1, 2, 3, 8, 9 – турбогенераторы, Г-4, 5, 6, 7 – гидрогенераторы; 4) для воздушных линий принимать удельное сопротивление прямой последовательности $x_{уд}$ = 0,4 Ом/км.

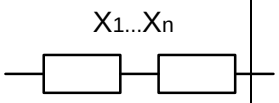
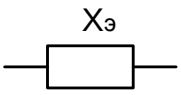
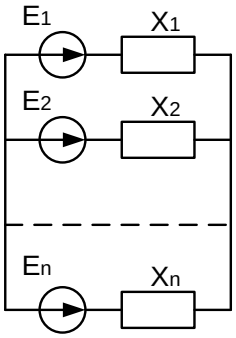
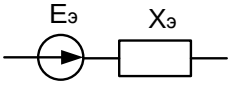
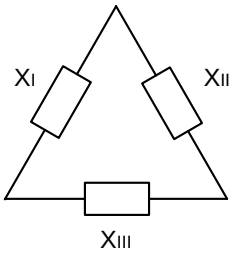
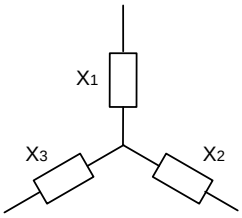
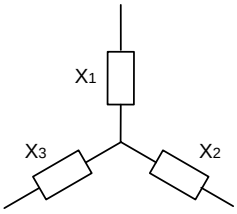
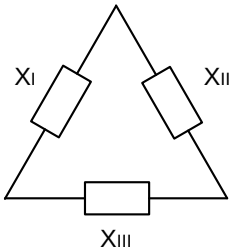
Приложение В

Т а б л и ц а В.1 - Схемы замещения элементов

Наименование	Условное обозначение	Схема замещения	Исходные данные	Расчетные выражения
Двухобмоточный трансформатор		$X_т$	$U_к$ $S_н$	$X_{T*} = \frac{U_K\%}{100}$
Трехобмоточный трансформатор		$X_в$ $X_с$ $X_н$	$U_{к\,В\text{-}С}$ $U_{к\,В\text{-}Н}$ $U_{к\,С\text{-}Н}$ $S_н$	$X_{B-C} = \frac{U_{KB-C}\%}{100}$ $X_{B-H} = \frac{U_{KB-H}\%}{100}$ $X_{C-H} = \frac{U_{KC-H}\%}{100}$ $X_{B*} = 0{,}5(X_{B-C} + X_{B-H} - X_{C-H})$ $X_{C*} = 0{,}5(X_{B-C} + X_{C-H} - X_{B-H})$ $X_{H*} = 0{,}5(X_{C-H} + X_{B-H} - X_{B-C})$
Автотрансформатор с обмоткой низшего напряжения		$X_в$ $X_с$ $X_н$	$U_{к\,В\text{-}С}$ $U_{к\,В\text{-}Н}$ $U_{к\,С\text{-}Н}$ $S_н$	Аналогично трехобмоточному трансформатору
Трехфазный трансформатор с обмоткой низшего напряжения, разделенной на две ветви		$X_в$ $X_{н1}$ $X_{н2}$	$U_{к\,В\text{-}Н}$ $S_н$	$X_{B-H} = \frac{U_{KB-H}\%}{100}$ $X_{н1} = X_{н2} = 1{,}75X_{B-H}$ $X_B = 0{,}125X_{B-H}$

Приложение Г

Т а б л и ц а Г.1 - Основные формулы преобразования схем замещения

Производимое преобразование	Схемы		Э.д.с. и сопротивления преобразованной схемы
	До преобразования	После преобразования	
Последовательное соединение			$X_э = X_1 + X_2 + ... + X_n$
Параллельное соединение			$E_э = \dfrac{E_1 \dfrac{1}{X_1} + E_2 \dfrac{1}{X_2} + ... + E_n \dfrac{1}{X_n}}{\dfrac{1}{X_1} + \dfrac{1}{X_2} + ... + \dfrac{1}{X_n}}$ $X_э = \dfrac{1}{\dfrac{1}{X_1} + \dfrac{1}{X_2} + ... + \dfrac{1}{X_n}}$
Преобразование треугольника в эквивалентную звезду			$X_1 = \dfrac{X_I \cdot X_{II}}{X_I + X_{II} + X_{III}}$ $X_2 = \dfrac{X_{II} \cdot X_{III}}{X_I + X_{II} + X_{III}}$ $X_3 = \dfrac{X_I \cdot X_{III}}{X_I + X_{II} + X_{III}}$
Преобразование звезды в эквивалентный треугольник			$X_I = X_1 + X_3 + \dfrac{X_1 \cdot X_3}{X_2}$ $X_{II} = X_1 + X_2 + \dfrac{X_1 \cdot X_2}{X_3}$ $X_{III} = X_2 + X_3 + \dfrac{X_2 \cdot X_3}{X_1}$

Приложение Д

Т а б л и ц а Д.1 - Основные формулы, применяемые при расчете КЗ

Определяемые величины	Вид короткого замыкания		
	Двухфазное	Однофазное	Двухфазное на землю
1	2	3	4
Условное обозначение вида КЗ *(n)*	(2)	(1)	(1,1)
Дополнительное сопротивление $x_{\Delta}^{(n)}$	$x_{2\Sigma}$	$x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}$	$\frac{x_{2\Sigma}\cdot x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}}$
Коэффициент $m^{(n)}$	$\sqrt{3}$	3	$\sqrt{3}\sqrt{1-\frac{x_{2\Sigma}\cdot x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}}}$
Токи в месте КЗ прямой последовательности фазы А, $\vec{I}_{A1}$	$\frac{\vec{E}_{A,\Sigma}}{j(x_{1\Sigma}+x_{2\Sigma})}$	$\frac{\vec{E}_{A,\Sigma}}{j(x_{1\Sigma}+x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma})}$	$\frac{\vec{E}_{A,\Sigma}}{j\left(x_{1\Sigma}+\frac{x_{2\Sigma}\cdot x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}}\right)}$
То же обратной последовательности фазы А, $\vec{I}_{A2}$	$-\vec{I}_{A1}$	$\vec{I}_{A1}$	$-\vec{I}_{A1}\frac{x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}}$
То же нулевой последовательности, $\vec{I}_{0}$	0	$\vec{I}_{A1}$	$-\vec{I}_{A1}\frac{x_{2\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}}$
Ток в месте КЗ фазы А, $\vec{I}_{A}$	0	$3\vec{I}_{A1}$	0
То же фазы В, $\vec{I}_{B}$	$-j\sqrt{3}\vec{I}_{A1}$	0	$\left(a^2-\frac{x_{2\Sigma}+ax_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}}\right)\vec{I}_{A1}$

30

Продолжение таблицы Д.1

1	2	3	4
То же фазы С, $\vec{I}_C$	$j\sqrt{3}\,\vec{I}_{A1}$	0	$\left(a-\dfrac{x_{2\Sigma}+a^3x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}}\right)\vec{I}_{A1}$
Напряжения в месте КЗ прямой последовательности фазы А, $\vec{U}_{A1}$	$jx_{2\Sigma}\,\vec{I}_{A1}$	$j(x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma})\vec{I}_{A1}$	$j\left(\dfrac{x_{2\Sigma}\cdot x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}}\right)\vec{I}_{A1}$
То же обратной последовательности фазы А, $\vec{U}_{A2}$	$\vec{U}_{A1}$	$-jx_{2\Sigma}\,\vec{I}_{A1}$	$\vec{U}_{A1}$
То же нулевой последовательности, $\vec{U}_0$	0	$-jx_{0A}\,\vec{I}_{A1}$	$\vec{U}_{A1}$
Напряжения в месте КЗ фазы А, $\vec{U}_A$	$2jx_{2\Sigma}\,\vec{I}_{A1}$	0	$3j\left(\dfrac{x_{2\Sigma}\cdot x_{0\Sigma}}{x_{2\Sigma}+x_{0\Sigma}}\right)\vec{I}_{A1}$
То же фазы В, $\vec{U}_B$	$-jx_{2\Sigma}\,\vec{I}_{A1}$	$-j\left[\left(a^2-a\right)x_{2\Sigma}+\left(a^2-1\right)x_{0\Sigma}\right]\vec{I}_{A1}$	0
То же фазы С, $\vec{U}_C$	$-jx_{2\Sigma}\,\vec{I}_{A1}$	$-j\left[\left(a-a^2\right)x_{2\Sigma}+(a-1)x_{0\Sigma}\right]\vec{I}_{A1}$	0

Примечание: Оператор $a=e^{j120}=-\dfrac{1}{2}+j\dfrac{\sqrt{3}}{2}$; $a^2=e^{j240}=-\dfrac{1}{2}-j\dfrac{\sqrt{3}}{2}$

31

Приложение Е

Е.1 Описание работы с программой-симулятором

При открытии программы-симулятора на экране появляется основное окно программы (см. рисунок А.2).

Элементы, используемые в лабораторной работе, выбираются в окнах: “SOURCES”, “BASIC”, “INDICATORS”.

После щелчка левой кнопкой «мышки» на значок , расположенный на боковой панели слева, появляется окно “SOURCES”, в котором выбираются элементы: “GROUND” – «ЗАЗЕМЛЕНИЕ» – ; “DC VOLTAGE SOURSE” – «ЭДС» – (см. рисунок А.2). Чтобы выбрать необходимый элемент, нужно щелкнуть левой кнопкой «мышки» на соответствующий символ, отпустив кнопку, дождаться, когда погаснет символ и, ведя «мышкой», установить элемент на требуемое место рабочей области, после этого повторно щелкнуть «мышкой».

Для того чтобы ввести параметры, нужно дважды щелкнуть левой кнопкой «мышки» на требуемом элементе, после этого появится окно установки параметров элемента (см. рисунок А.3). В опции «Value» устанавливаются значение и единица измерения напряжения или сопротивления.

Для того чтобы повернуть элемент, нужно щелкнуть на нем правой кнопкой «мышки», появится вспомогательное окно, в котором выбирается соответствующая функция (см. рисунок А.4).

После щелчка левой кнопкой «мышки» на значок , расположенный на боковой панели слева, появляется окно “BASIC”, в котором выбирается элемент

“RESISTOR VIRTUAL” – «СОПРОТИВЛЕНИЕ» – (см. рисунок А.2). Установка параметров элемента производится аналогично предыдущему.

Для установки измерительных приборов в схеме надо щелкнуть “мышкой” на знак - , расположенный на боковой панели слева, после этого появится окно “INDICATORS” (см. рисунок А.2). В этом окне выбираются “VOLTMETER” – «ВОЛЬТМЕТР» - или “AMMETER” – «АМПЕРМЕТР»

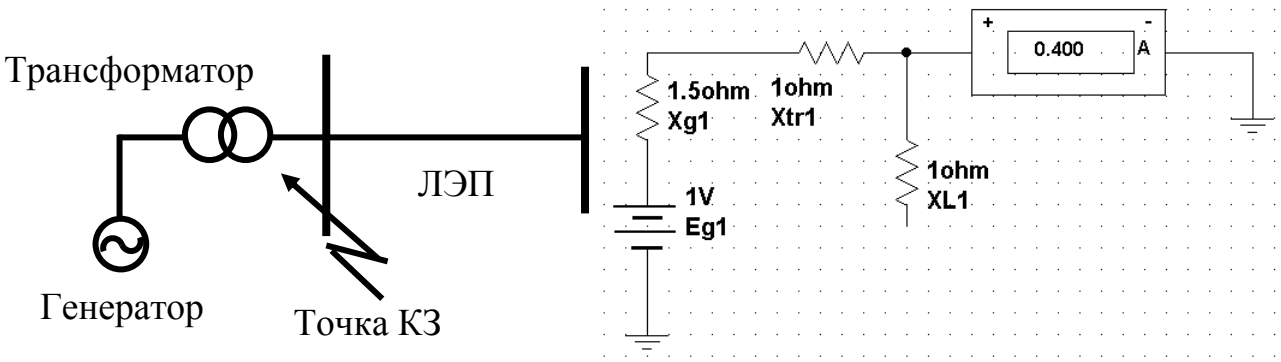
- . Затем щелкнуть левой кнопкой “мышки” на выбираемом элементе, по
явится окно “Component Browser”. В этом окне надо щелкнуть «мышкой» на «ОК» и, ведя курсор по рабочей области, установить элемент в требуемом месте, щелкнув «мышкой». Параметры вольтметра и амперметра устанавливаются в окнах “VOLTMETER” и “AMMETER” соответственно, появляющиеся, если дважды щелкнуть левой кнопкой «мышки» на выбранном приборе. В опции “Value” установить род измеряемого напряжения или тока – DC – постоянный (в функции “MODE”); для снижения погрешности измерений сопротивление вольтметра выставить максимальным, а амперметра - минимальным (функция “Resistance (R)”).

На рисунке А.5 показана установка соединения между элементами схемы (провода). Курсор «мышки» навести на вывод элемента, появится символ ✚ , щелкнуть левой кнопкой «мышки»; ведя этот символ по рабочему пространству (при этом за символом будет следовать пунктирная линия), установить его на выводе другого элемента и повторно щелкнуть «мышкой».

Установив символ ✚ на связывающий элементы провод, можно получить узел соединения (см. рисунок А.6), на узел соединения можно завести максимум 4 провода.

На рисунке А.1 приведен пример построения схем. ЭДС, имеющиеся в схемах, заземляются со стороны отрицательного вывода, точки КЗ образуются путем соединения заданной на исходной схеме точки с заземлением через амперметр.

Режим симуляции включается и отключается кнопкой включения-отключения на верхней панели – (см. рисунок А.2). После включения режима симуляции снимаются показания с установленных в схеме измерительных приборов.



а) исходная; б) в программе-симуляторе.

Рисунок Е.1 - Пример построения схемы

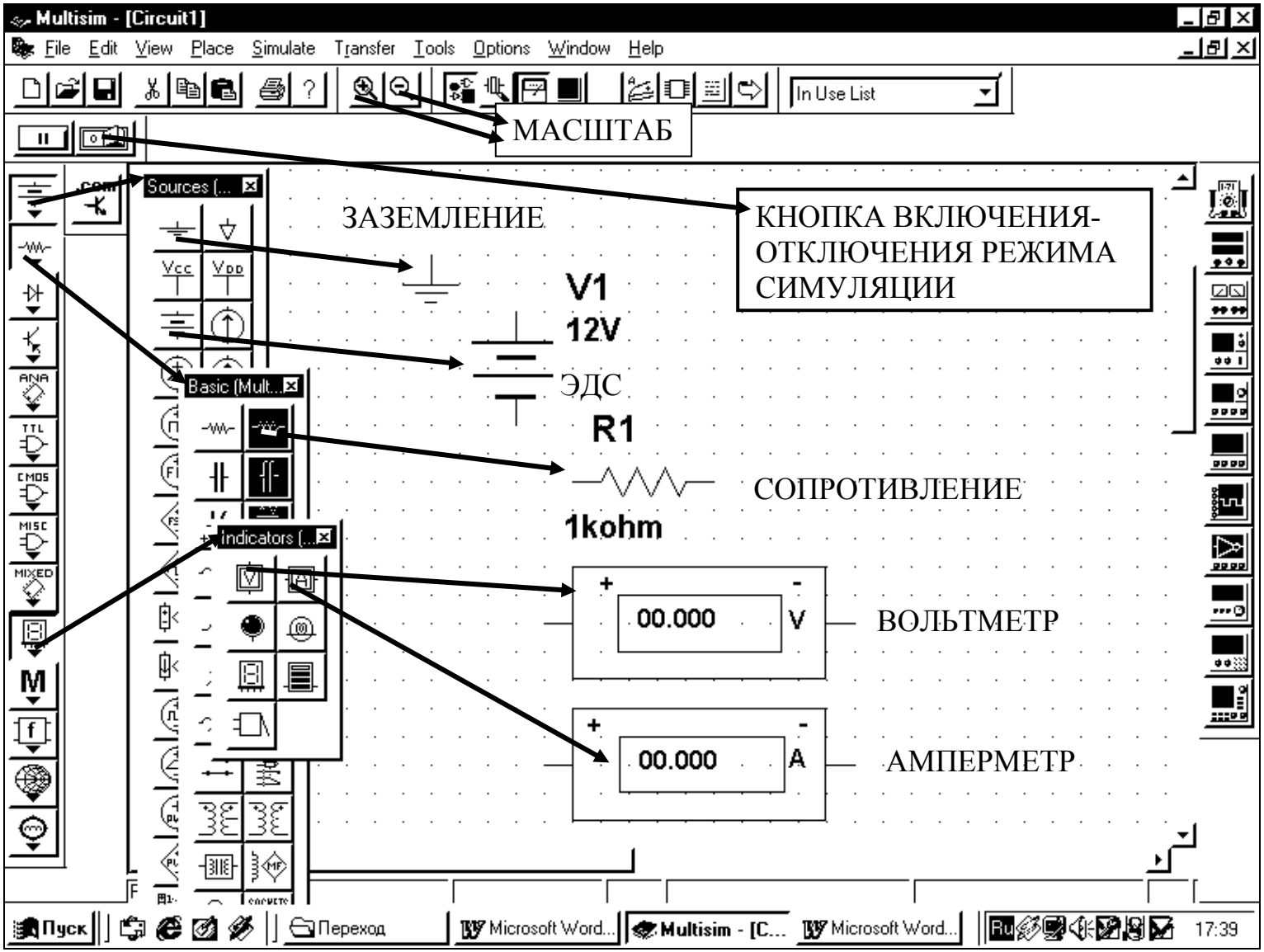


Рисунок Е.2 - Основное окно программы-симулятора, панели элементов и элементы, используемые в лабораторной работе

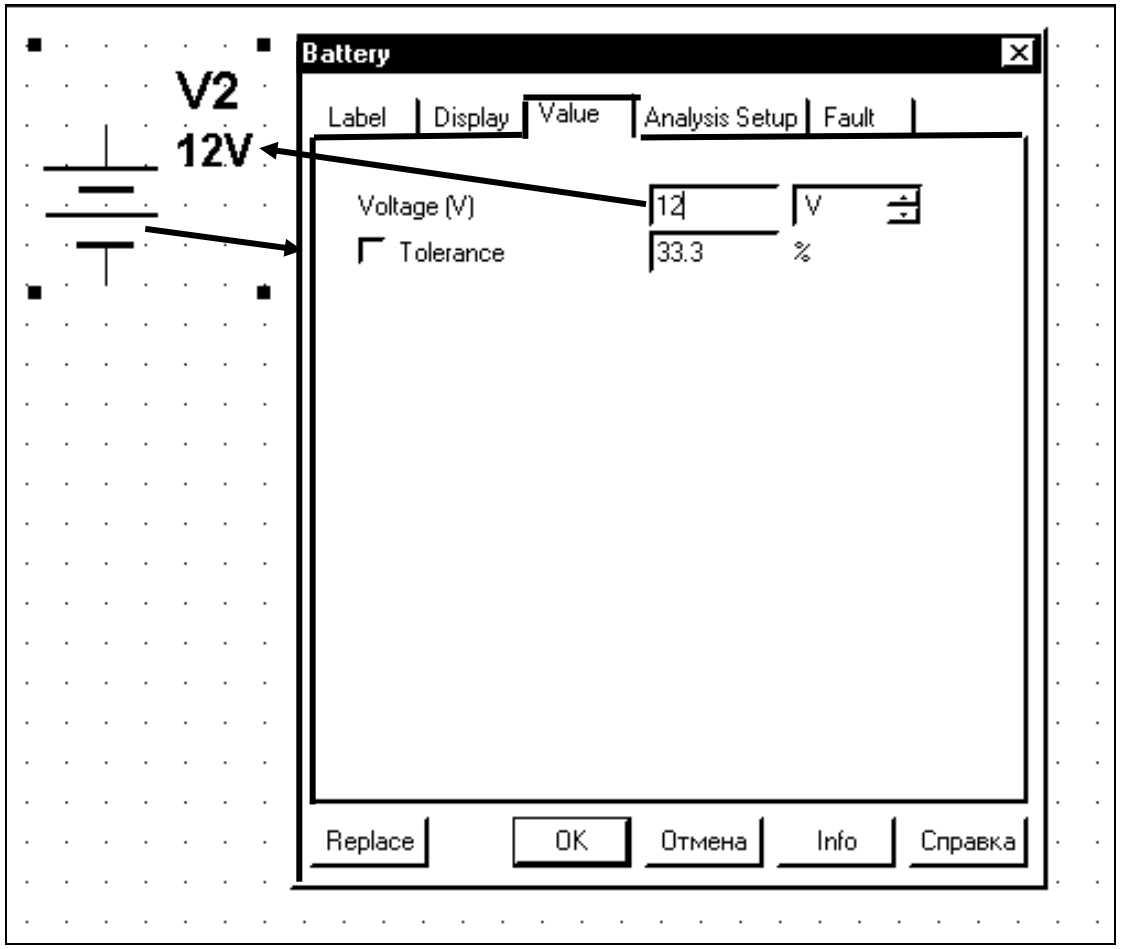


Рисунок Е.3 - Установка параметров элемента схемы

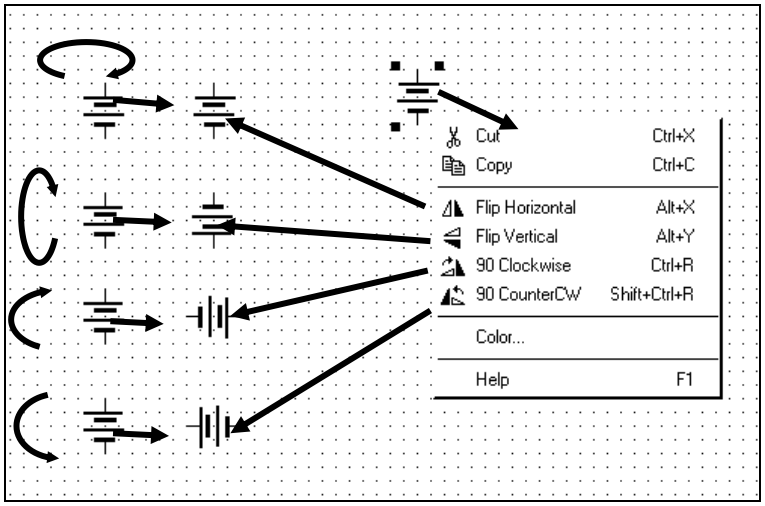


Рисунок Е.4 - Вращение элемента схемы

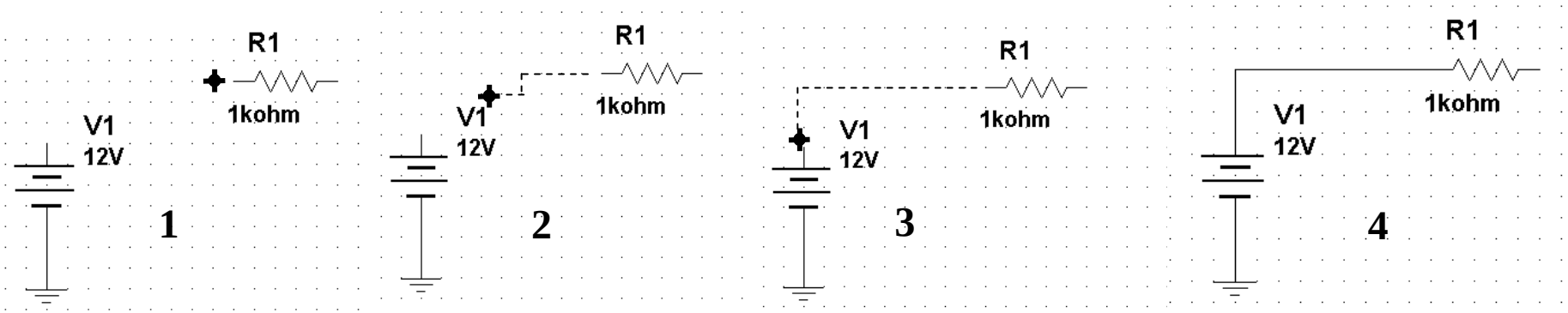


Рисунок Е.5 - Установка соединения между элементами схемы

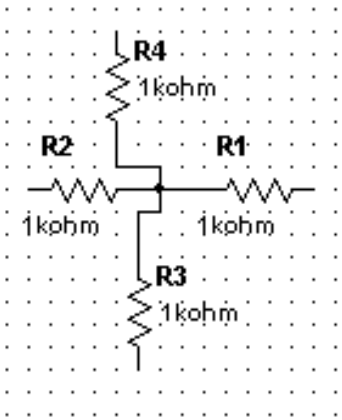


Рисунок Е.6 - Узел соединения.

Список литературы

Основная:

1. РД-153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2002.

2. Переходные процессы в электрических машинах и аппаратах и вопросы их проектирования /Под ред. О.Д. Гольдберга. – М.: Высшая школа, 2001.

Дополнительная:

1. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах.- М.: Энергия, 1970.

2. Ульянов С.А Сборник задач по электромагнитным переходным процессам.- М.: Энергия, 1968.

3. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций.- М.: Энергоатомиздат, 1986.

4. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. Т.1. Электроснабжение /Под общ.ред. А.А.Федорова. - М.: Энергоатомиздат, 1986.

5. Справочник по проектированию электроснабжения. Электроустановки промышленных предприятий /Под ред. В.И. Круповича.- М.: Энергия, 1980.

6. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. - М.: Высшая школа, 1985. 1

7. Переходные процессы в системах электроснабжения /Под ред. В.Н. Винославского. - Киев: Высшая школа, 1989.

Дополнительный план 2013 г. поз 35

Бугубаев Сулейман Абдуалиевич
Шоколакова Шинара Каликановна

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 5В071800-Электроэнергетика. Часть1

Редактор Л.Т.Сластихина
Специалист по стандартизации Н.К.Молдабекова

Подписано в печать _____
Тираж 50 экз.
Объем 2,4 уч.-изд.л.

Формат 60х84 1/16
Бумага типографская №1
Заказ _____. Цена 1200 тг.

Копировально-множительное бюро
Некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013, Алматы. Байтурсынова 126