

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра "Системы электроснабжения"

621.31(07)

Д438

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ
В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ**

Программа, контрольные задания и методические указания

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2010

УДК [621.31:537.8](075.8) + 537.8(075.8)

Д438

Одобрено

учебно-методической комиссией энергетического факультета

Рецензент А.Г. Возмилов

Д438 **Электромагнитная совместимость в электроэнергетике:** программа, контрольные задания и методические указания / составитель М.А. Дзюба. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 14 с.

Представлена программа дисциплины "Электромагнитная совместимость в электроэнергетике", приведены контрольные задания с методическими указаниями по их выполнению. Предназначено для студентов очной и заочной форм обучения специальности 140211 – "Электроснабжение".

© Издательский центр ЮУрГУ, 2010

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ (Программа курса, 72 часа)

1. Введение

Роль и задачи предмета, его связь с другими дисциплинами. Основные понятия и определения. Современное состояние и проблемы электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики, перспективы развития теоретических и практических исследований в области электромагнитной совместимости. Основные требования, предъявляемые системами электроснабжения (СЭС) к качеству электрической энергии (ЭЭ).

2. Помехи и электроэкология

Классификация помех. Основные источники помех и чувствительные к помехам элементы, каналы передачи и допустимые уровни помех, уровень помехоустойчивости, помеховосприимчивости, помехоэмиссии. Методы испытаний и сертификации элементов СЭС на помехоустойчивость, помехоэмиссию.

Классификация электромагнитной обстановки и мест размещения технических средств (ТС) по допустимым уровням электромагнитных помех.

Влияние электромагнитных полей на биологические объекты, нормы допустимых значений напряженности электрических и магнитных полей промышленной частоты для населения и персонала.

Нормативная база РФ в сфере электромагнитной совместимости СЭС. основополагающие стандарты электромагнитной совместимости: термины и определения – ГОСТ Р 50397; общие требования помехоустойчивости и методы испытаний – ГОСТ Р 51317.4. Общие стандарты электромагнитной совместимости: требования помехоустойчивости и нормы помехоэмиссии – ГОСТ Р 51317.6. Стандарты электромагнитной совместимости для группы однородной продукции: нормы помехоэмиссии – ГОСТ 13109, ГОСТ Р 51317.3.

3. Качество электрической энергии в системах электроснабжения

ЭЭ как продукция, обладающая специфическими свойствами, и имеющая качественные характеристики. Проблемы электромагнитной совместимости ТС в СЭС.

Причины ухудшения качества ЭЭ. Влияние ухудшения качества ЭЭ на работу ТС.

Основные и дополнительные показатели качества электрической энергии (ПКЭ), установленные ГОСТ 13109.

4. Установившееся отклонение напряжения

Причины возникновения отклонений напряжения в СЭС: изменения графиков нагрузок, регулирование напряжения в узлах СЭС, изменения мощности источников реактивной энергии.

Влияние отклонения установившегося значения напряжения от номинального на работу ТС. Нормы, принятые на установившееся отклонение напряжения в ГОСТ 13109.

Методы оценки соответствия установившегося отклонения напряжения требованиям ГОСТ 13109.

5. Колебания напряжения

Понятие и ПКЭ, характеризующие колебания напряжения (размах изменения напряжения и доза фликера). Что такое огибающая среднеквадратичных значений напряжения. Доза фликера как математическая модель, описывающая реакцию нервной системы человека на быстрые изменения светового потока лампы накаливания.

Причины возникновения колебаний напряжения – ТС, имеющие режимы работы с резким изменением действующего значения потребляемого тока.

Методы расчета указанных ПКЭ и оценки их соответствия допустимым нормам. Роль формы огибающей среднеквадратичных значений напряжения при оценке соответствия нормам размаха изменения напряжения. Методы приведения огибающей к форме меандра.

6. Несинусоидальность напряжения

Что такое несинусоидальность напряжения? ПКЭ, характеризующие несинусоидальность напряжения (коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения, коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения).

Основные источники токов высших гармоник (ТС, имеющие нелинейную вольт-амперную характеристику). Влияние несинусоидальности напряжения на ТС и элементы СЭС. Частотные характеристики СЭС.

Расчет гармонических составляющих токов и напряжений в СЭС как в точках подключения источников помех, так и в удаленных точках. Особенности расчетов в сетях напряжением ниже 1000 В.

Допустимые нормы на ПКЭ, характеризующие несинусоидальность напряжения.

7. Несимметрия напряжений

Понятие несимметрии напряжений. ПКЭ, характеризующие несимметрию напряжений (коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности, коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности).

Причины возникновения несимметрии напряжений. Влияние несимметрии напряжений на работу ТС и элементов СЭС.

Допустимые нормы, установленные ГОСТ 13109 на ПКЭ, характеризующие несимметрию напряжений. Расчет напряжений обратной и нулевой последовательности.

8. Отклонение частоты

Причины отклонения частоты напряжения от номинального значения. Влияние отклонения частоты на работу ТС. Нормы, установленные в ГОСТ 13109 на этот ПКЭ.

9. Показатели качества электроэнергии, не нормируемые ГОСТ 13109

ПКЭ, связанные с описанием характеристик динамических процессов, происходящих в СЭС (провалы напряжения, импульсное напряжение, временное перенапряжение). Причины отсутствия норм на эти ПКЭ. Причины ухудшения качества ЭЭ по данной группе ПКЭ. Методы их расчета.

10. Пути улучшения качества электрической энергии

Классификация мероприятий по улучшению качества ЭЭ.

Мероприятия, способствующие одновременному снижению колебаний напряжения, несинусоидальности напряжения, несимметрии напряжений.

ТС, предназначенные для улучшения отдельных групп ПКЭ. Их достоинства, недостатки, выбор параметров. Компенсирующие устройства для снижения отклонений напряжения. Статические компенсаторы реактивной мощности для снижения колебаний напряжения. Пассивные и активные фильтры высших гармоник. Пассивные и активные симметрирующие и симметро-компенсирующие устройства.

Мероприятия по снижению провалов напряжения, импульсного напряжения и временного перенапряжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электротехника: учебное пособие для вузов: в 3 кн. Кн. 3: Электроприводы. Электроснабжение / под ред. П.А. Бутырина, Р.Х. Гафиятуллина, А.Л. Шестакова. – М.; Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 639 с.
2. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий / Б.И. Кудрин – М.: Интермет Инжиниринг, 2005. – 672 с.
3. Хабигер Э. Электромагнитная совместимость. Основы ее обеспечения в технике / Э. Хабигер – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 304 с
4. Управление качеством электроэнергии / И.И. Карташев, В.Н. Тульский и др.; под ред. Ю.В. Шарова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 320 с.

5. Кармашев В.С. Электромагнитная совместимость технических средств: Справочник: основные понятия, законодательные акты, требования по ограничению помехоэмиссии и обеспечению помехоустойчивости, испытания на помехоэмиссию и помехоустойчивость, средства измерений и испытательное оборудование / В.С. Кармашев – М.: НТПКЦ "НОРТ", 2001. – 401 с.
6. Шваб А. Электромагнитная совместимость / пер. с нем. В.Д. Мазина, С.А. Спектора / под ред. И.П. Кежукина. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 480 с.
7. Гост 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Госстандарт, 1998. – 33 с.
8. Ершов А.М. Качество электрической энергии в системах электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие для студентов-заочников / А.М. Ершов. – Челябинск: ЧГТУ, 1991. – 88 с.
9. Электротехнический справочник: в 4-х т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова, А.Ф. Дьякова, Н.Ф. Ильинского и др. (гл. ред. А.И. Попов). – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 964 с.
10. Электротехнический справочник: в 4-х т. Т. 4. Использование электрической энергии / под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова А.Ф. Дьякова, Н.Ф. Ильинского и др. (гл. ред. А.И. Попов). – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 696 с.
11. Справочник по проектированию электроснабжения / под ред. Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

При изучении курса "Электромагнитная совместимость в электроэнергетике» студентом выполняется одно контрольное задание. Варианты выдаются преподавателем кафедры.

При оформлении задания на первом листе следует записать номер варианта и исходные данные. Теоретические положения методов расчёта приводить не нужно, расчет должен сопровождаться только используемыми формулами и ссылками на литературные источники, из которых взяты методы расчётов, формулы и исходные данные. Задание должно заканчиваться списком используемой литературы. Оформление задания должно соответствовать требованиям СТО ЮУрГУ 04-2008 «Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению».

Внимание! К проверке принимаются контрольные задания, выполненные только рукописно.

Задание №1

На рис. 1 – 5 приведены электрические схемы, на которых приняты следующие обозначения:

ЭС – энергосистема;

Т – силовой трансформатор;

Р – реактор;

СШ1, СШ2, СШ3 – секции сборных шин;

БК1, БК2 – батареи конденсаторов;

Н – нагрузка, не оказывающая влияние на качество электроэнергии;

ИИ – источник искажений – потребитель, оказывающий влияние на качество ЭЭ;

U_{cp} – среднее напряжение трехобмоточного трансформатора, равное 35 кВ.

В табл. 1 приведены данные по вариантам, задаваемым преподавателем. Вариант задается набором цифр. Порядковый номер цифры в наборе соответствует номеру колонки в табл. 1. Значение самой цифры определяет номер варианта из крайней левой колонки табл. 1. Если в указанном поле табл. 1 ничего нет, то этот элемент в схеме отсутствует. Номер задания определяет, что необходимо рассчитать в соответствии с нумерованным списком заданий, приведенным ниже. Недостающие номинальные данные для элементов схемы принимаются по справочникам и ГОСТ.

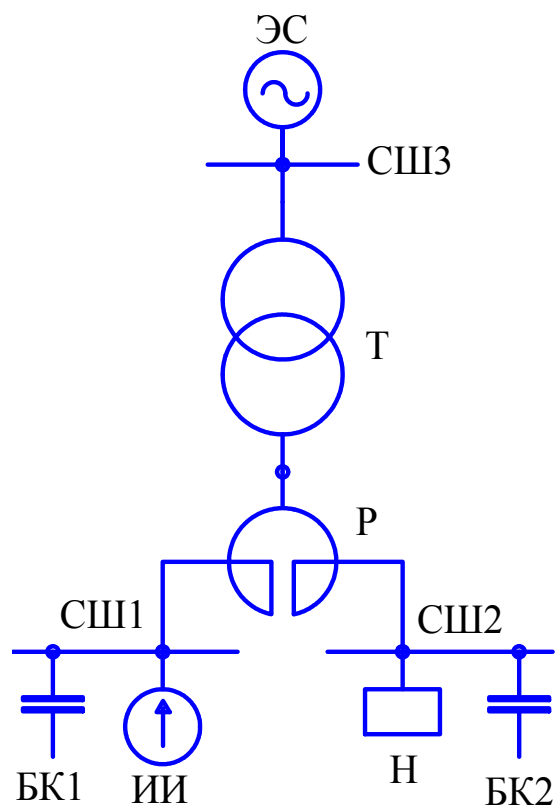


Рис. 1. Схема питания потребителей через сдвоенный реактор

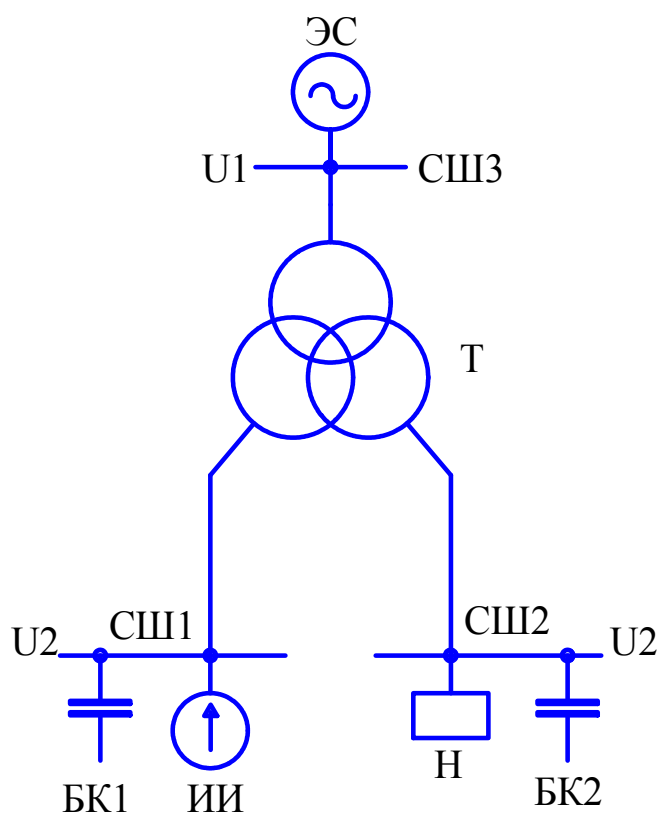


Рис. 2. Схема питания потребителей через трансформатор с расщепленной обмоткой

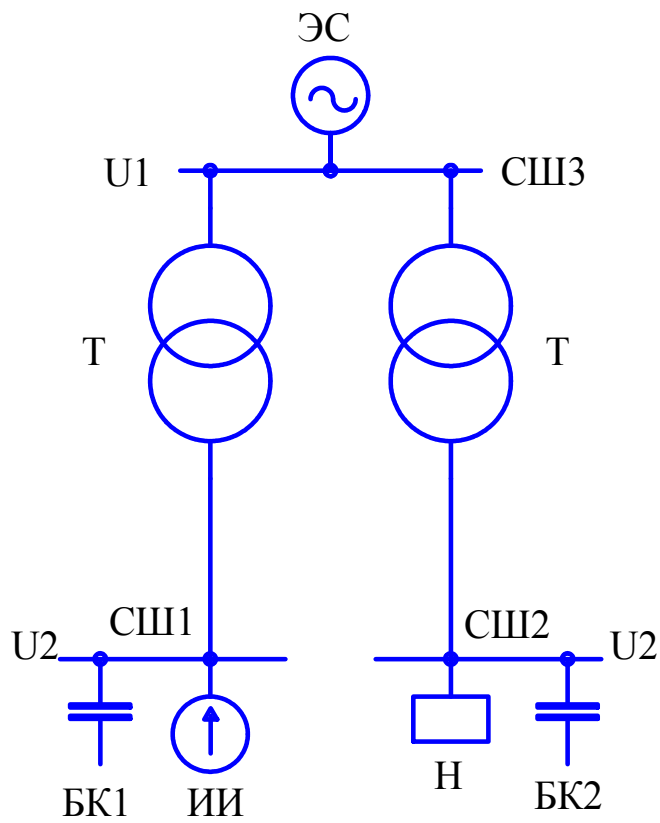


Рис. 3. Схема питания потребителей через отдельные трансформаторы

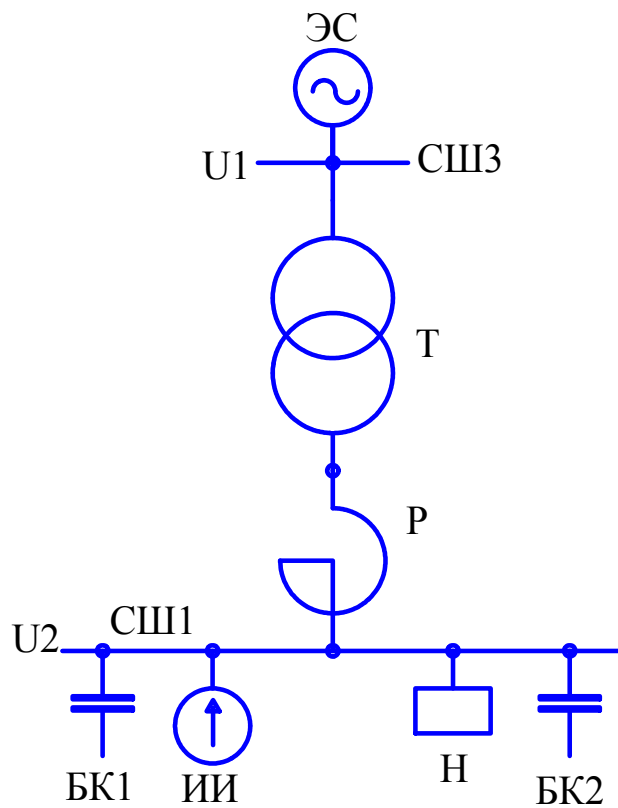


Рис. 4. Схема питания потребителей через двухобмоточный трансформатор

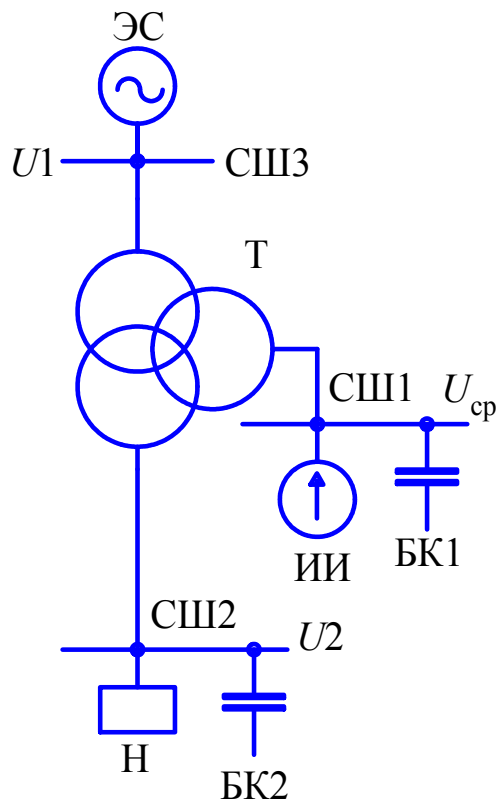


Рис. 5. Схема питания потребителей через трехобмоточный трансформатор

Номинальную мощность нагрузки «Н» вычислять:

— для схем с двухобмоточным трансформатором по формуле

$$S_{\text{н}} = S_{\text{т}} K_3 - S_{\text{ии}}; \quad (1)$$

— для схем с трехобмоточным трансформатором и трансформатором с расщепленной обмоткой

$$S_{\text{н}} = \frac{S_{\text{т}} K_3}{2}. \quad (2)$$

При этом следует учитывать, что если в задании сравниваются две схемы с разными типами трансформаторов, то за номинальную мощность нагрузки «Н» принимается наименьшее значение из полученных по формулам (1) и (2).

Задания (колонка 1 из табл. 1):

1. Сравнить ПКЭ для двух вариантов схемы питания потребителей подстанции в трех точках схемы: СШ1, СШ2, СШ3.
2. Сравнить коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения и коэффициент n -ой гармонической составляющей в трех точках схемы: СШ1, СШ2, СШ3, при наличии и отсутствии БК1.
3. Сравнить коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения и коэффициент n -ой гармонической составляющей в трех точках схемы: СШ1, СШ2, СШ3, при наличии и отсутствии БК2.

4. Рассчитать параметры пассивных фильтров высших гармоник, необходимых для обеспечения требуемых норм на коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения и коэффициент n -ой гармонической составляющей.
5. Рассчитать установленную мощность реактивных элементов тиристорного компенсатора реактивной мощности косвенного действия при двух вариантах схемы питания потребителей подстанции.
6. Рассчитать установленную мощность одной ступени и количество ступеней тиристорного компенсатора реактивной мощности прямого действия при двух вариантах схемы питания потребителей подстанции и обеспечении предельного значения δU_t равного 0,5 %.
7. Построить амплитудно-частотную характеристику СЭС в диапазоне частот со 2 по 40 гармонику включительно относительно номинальной частоты 50 Гц в трех точках схемы: СШ1, СШ2, СШ3.
8. Определить емкости БК1 при которых возникает резонанс на частотах генерируемых источником высших гармоник в точке СШ1 схемы СЭС.
9. Определить емкости БК2 при которых возникает резонанс на частотах генерируемых источником высших гармоник в точке СШ2 схемы СЭС.
10. Рассчитать ПКЭ в двух точках схемы: СШ1 и СШ3 при наличии и отсутствии реактора Р.
11. Рассчитать параметры симметро-компенсирующего устройства.

Примечания к табл. 1:

В табл. 1 приняты следующие сокращения:

ДСП – дуговая сталеплавильная печь;

ВП – выпрямитель неуправляемый;

Пр.Стан – прокатный стан;

РТП – рудно-термическая печь;

ПС – однофазная печь сопротивления;

УВП – управляемый тиристорный выпрямитель.

Фазность схемы преобразования выпрямителей принимать: при мощности больше 6 МВ·А – 12, при меньшей мощности – 6.

Таблица 1

Номер варианта	Номер задания	Номер рис.	Источник искажений			Номинальное напряжение, кВ		Мощность системы $S_{кз}$, МВ·А	Трансформатор Т		Коэффициент мощности нагрузки $\cos\varphi$	Мощность конденсатора		Номинальные данные реактора	
			Тип	Мощность $S_{ин}$, МВ·А	Кол-во	U1	U2		Мощность S_T , МВ·А	Коэффициент загрузки K_3		БК1, Мвар	БК2, Мвар	Сопротивление реактора X_p , Ом	Коэффициент связи
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1	ДСП	12,5	1	220	10	106	0,63	0,50	0,65	0,1	0,1	0,14	0,49
2	2	2	ВП	10	2	110	0,4	120	1,0	0,55	0,67	0,15	0,15	0,20	0,51
3	3	3	Пр.Стан	8	3	35		150	1,6	0,60	0,68	0,2	0,2	0,22	0,53
4	4	4	РТП	6	4	10		200	25	0,65	0,70	0,3	0,3	0,25	0,508
5	5	5	ПС	5	5			1200	32	0,70	0,72	0,45	0,45	0,28	0,53
6	6	1 и 3	УВП	3				1400	40	0,75	0,74	0,6	0,6	0,35	0,55
7	7	2 и 3		0,3				1500	63	0,80	0,76	1,35	1,35	0,45	0,49
8	8	1 и 3		0,24				1600	80	0,85	0,78	1,8	1,8	0,56	0,50
9	9	1 и 5		0,12				2300		0,90	0,80	2,7	2,7		
10	10	2 и 5						2500		0,95	0,82	3,15	3,15		
11	11	3 и 5						2600		1,00	0,84	3,6	3,6		
12								3200			0,86	4,5	4,5		
13								3600			0,88				
14								4200			0,90				
15								4500			0,92				

Задание №2

На рис. 6 представлен план расположения объектов электроснабжения. На плане приняты следующие сокращения:

1 – номера объектов электроснабжения;

L1 – расстояния между объектами;

ИП1 – источники питания.

В пункте ИП1 находится однострансформаторная подстанция с высоким напряжением 110 кВ. Питание всех объектов осуществляется на номинальном напряжении 10 кВ. Трансформатор, установленный в пункте ИП1, имеет устройство регулирования напряжения под нагрузкой как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения с числом ступеней в каждую сторону равным девяти. Шаг регулирования каждой ступени – 1,78 % от номинального напряжения. В случае отключения трансформатора ИП1 все объекты, указанные на плане питаются от ИП2. На каждом объекте электроснабжения (1–7) установлены трансформаторы 10/0,4 кВ. Эти трансформаторы имеют устройства переключения отпаяк обмотки высокого напряжения без нагрузки как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения с числом ступеней в каждую сторону равным двум. Шаг регулирования каждой ступени – 2,5 % от номинального напряжения.

Условие задания: необходимо обеспечить на сборных шинах 0,4 кВ каждого объекта величину напряжения не ниже +5 % от номинального. Для выполнения этого условия можно использовать устройства регулирования напряжения всех трансформаторов, кроме источника ИП2, в котором напряжение не регулируется и имеет величину – 11 кВ. Так же допускается устанавливать устройства компенсации реактивной мощности, параметры которых тоже необходимо рассчитать.

Исходные данные по вариантам приведены в табл. 2.

Для выполнения условия задания нужно выбрать сечения проводов воздушных линий электропередач между объектами и номинальные мощности трансформаторов на объектах электроснабжения. Так же требуется рассчитать падения напряжения на этих элементах системы электроснабжения от протекания тока нагрузки.

В табл. 2 приведены данные по вариантам, задаваемым преподавателем. Вариант задается набором цифр. Порядковый номер цифры в наборе соответствует номеру строки (колонка «№ п/п») в табл. 2, значение цифры соответствует номеру варианта. Недостающие данные принимаются по справочникам и ГОСТ.

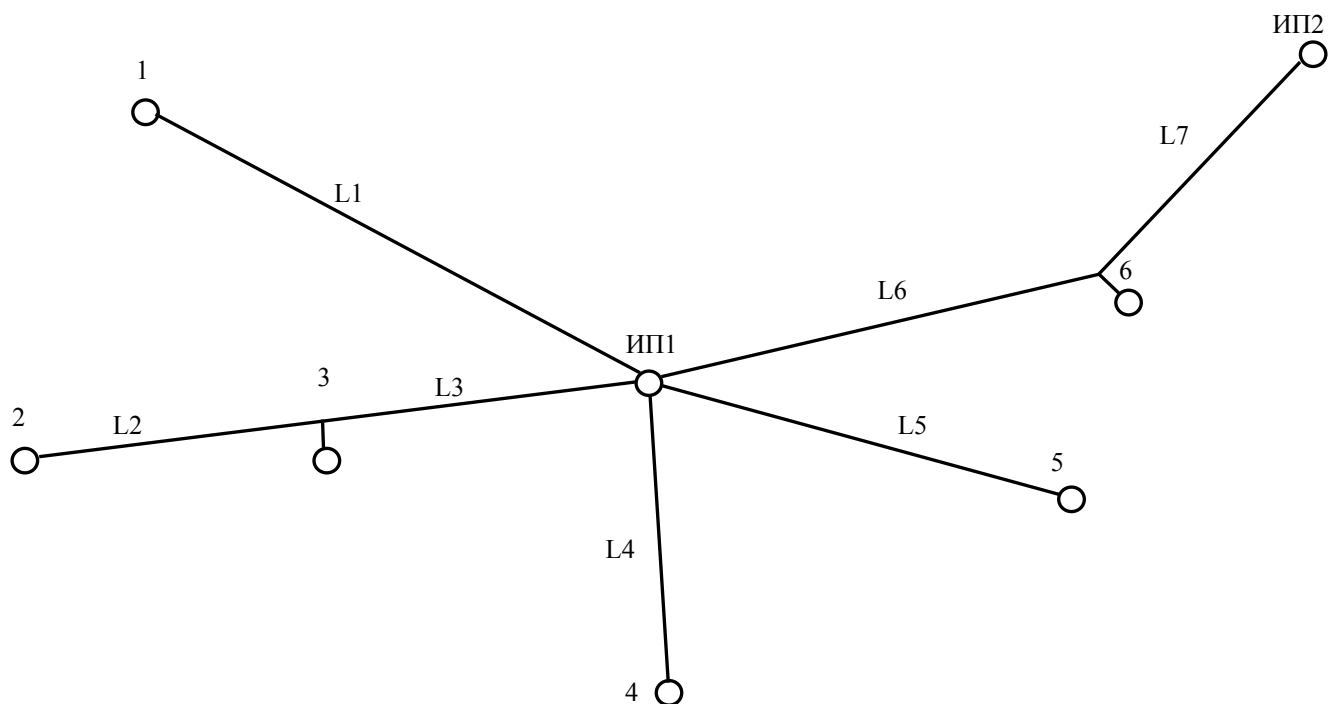


Рис. 6. План района

Таблица 2

№ п/п	Параметр схемы	Номер варианта									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	P1, кВт	360	400	440	480	500	520	420	460	380	540
2	Q1, квар	140	180	220	240	260	280	300	320	160	340
3	L1, км	9,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
4	P2, кВт	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380
5	Q2, квар	280	100	120	140	160	180	200	220	240	260
6	L2, км	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	1,0	1,5	5,5
7	P3, кВт	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
8	Q3, квар	25	30	40	50	60	70	80	90	100	110
9	L3, км	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	1,5	5,5	3,8
10	P4, кВт	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380
11	Q4, квар	120	140	160	180	200	220	240	280	300	320
12	L4, км	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5
13	P5, кВт	380	400	440	460	500	540	560	600	580	520
14	Q5, квар	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280
15	L5, км	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5
16	P6, кВт	310	330	350	370	390	410	430	450	470	490
17	Q6, квар	100	110	120	130	140	160	180	200	220	240
18	L6, км	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	1,5	2,0	6,0
19	L7, км	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	3,2	1,8