

5527

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. В. Ф. УТКИНА**

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

Методические указания к курсовому проекту

Рязань 2020

УДК 536.12

Электроэнергетические системы и сети: методические указания к лабораторным работам / Рязан. гос. радиотехн. ун-т; сост.: М.Н. Махмудов, А.А. Дягилев. Рязань, 2020. 24 с.

Рассмотрены вопросы проектирования районных электрических сетей, приведены общие положения, содержание курсового проекта и порядок его выполнения.

Предназначены для студентов направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», изучающих дисциплину «Электроэнергетические системы и сети».

Табл. 7. Ил. 4. Библиогр.: 6 назв.

ВЛЭП, номинальное напряжение, трансформатор, сечение проводников, электрическая подстанция

Печатается по решению редакционно-издательского совета Рязанского государственного радиотехнического университета.

Рецензент: кафедра ПЭЛ РГРТУ (зав. кафедрой канд. техн. наук, доц. С.А. Круглов)

Электроэнергетические системы и сети

Составители: М а х м у д о в Марат Наильевич
Д я г и л е в Александр Александрович

Редактор Н.А. Орлова
Корректор С.В. Макушина

Подписано в печать 18.03.20. Формат бумаги 60×84 1/16.

Бумага писчая. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,75.

Тираж 20 экз. Заказ

Рязанский государственный радиотехнический университет.
390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

Редакционно-издательский центр РГРТУ.

Оглавление

I. Введение.....	2
II. Общие положения	3
Цель курсового проекта и порядок его проектирования	3
Содержание и оформление курсового проекта	4
III. Методика выполнения работы.....	5
Составление схем электрической сети	5
Расчет параметров нагрузки подстанций	7
Расчет протяженности ВЛЭП.....	8
Выбор номинальных напряжений сети	9
Экономическая целесообразность	11
Выбор сечений проводов ВЛ.....	12
Определение типа и количества трансформаторов на подстанциях	15
Экономический расчет и сравнение финансовых затрат на реализацию схем ЭС.....	17
Расчет минимальных нагрузок выбранной схемы ЭС	18
Заключение.....	18
Библиографический список.....	19
Приложение 1	20
Приложение 2	21
Приложение 3	22

I. Введение

Курсовое проектирование является одной из важнейших форм учебной работы. Оно имеет целью привить навыки самостоятельной работы, выявить знания студентов по данной дисциплине и умение применять эти знания в дальнейшей профессиональной деятельности.

В процессе выполнения курсового проекта студент должен самостоятельно работать с учебной и научно-технической литературой, уметь обобщать полученные знания, делать обоснованные выводы, формулировать рекомендации по выбору технических и программных средств для решения поставленных задач.

Изучение дисциплины «Электроэнергетические системы и сети» предусматривает выполнение курсового проекта, задачами которого являются:

- овладение методами и алгоритмами проектирования электрических сетей, основами расчета установившихся режимов, регулирования напряжения;
- формирование профессиональных навыков по проектированию электрических сетей.

В результате выполнения курсового проекта студент должен знать:

- цели, задачи, принципы и общий алгоритм проектирования электрических сетей;
- технико-экономические основы проектирования электрических сетей; критерии выбора оптимального варианта электрической сети; методы и алгоритмы проектирования электрических сетей; порядок выбора схем построения электрической сети; методы расчета режимов электрических сетей;
- методы и способы регулирования напряжения в электрической сети;

уметь:

- составлять и анализировать конкурентоспособные варианты конфигурации электрической сети с учетом фактора надежности; выбирать номинальное напряжение сети; проводить компенсацию реактивной мощности;
- выбирать сечения проводов и кабелей, силовые трансформаторы в сетях различных назначений и номинальных напряжений;
- рассчитывать технико-экономические показатели вариантов электрической сети и выбирать оптимальный вариант;
- рассчитывать установившиеся режимы электрических сетей;
- регулировать напряжение в электрической сети;

владеть навыками:

- проектирования на вариантной основе районных электрических сетей и пользования справочной литературой;
- выбора оптимальных для рассматриваемой схемы электрической сети параметров;
- расчетов режимов сложных систем и анализа результатов расчетов; регулирования напряжения в электрических сетях.

При проектировании районной электрической сети исключительно важны навыки, которые в значительной степени формируются на практических занятиях и на этапе самостоятельной работы.

При курсовом проектировании применяются компьютерные технологии практически при выполнении каждого раздела, оформлении пояснительной записки и графической части проекта.

II. Общие положения

Цель курсового проекта и порядок его проектирования

Целью курсового проекта является закрепление и углубление знаний в области теории и практики проектирования районных электрических сетей в объеме образовательной программы при изучении курса "Электрические сети и системы".

Целью настоящих методических указаний является оказание помощи студентам при выполнении расчетов и принятии целесообразных решений по каждому из вопросов, разрабатываемых в курсовом проекте.

Задачи при курсовом проектировании районных электрических сетей заключаются в следующем:

- составлении двух различных схем электрической сети;
- расчете параметров нагрузки подстанций;
- расчете протяженности ВЛЭП;
- выборе номинальных напряжений в ветвях систем;
- выборе сечений проводников ВЛЭП и проверке их на соответствие неблагоприятным факторам;
- определении типа и количества трансформаторов на подстанциях;
- экономическом расчете стоимости реализации каждой из разработанных схем и выборе наиболее выгодного варианта;
- расчете минимальных нагрузок наиболее выгодной системы ЭС.

Задание по проектированию районной электрической сети выдается на отдельном бланке и содержит:

- координаты X и Y каждого объекта проектируемой сети;
- параметры активной нагрузки потребителей, подключенных к подстанциям (все потребители получают питание по сети 10 кВ);

- коэффициенты мощности ($\cos\varphi$) для каждой ПС;
- процент активной мощности в режиме минимальной нагрузки (%);
- время максимума нагрузки (T_{\max}) для каждой ПС;
- коэффициент резервирования (K_p , %), согласно которому потребители разделяются на группы по надежности электроснабжения (1-50 % - вторая категория, 51-100 % - первая категория, 0 % - третья категория);
- минимально допустимое напряжение сети U_{\min} %.

Кроме того, в задании приводится географическое положение проектируемой сети для выбора коэффициентов зон при экономическом расчете.

Курсовой проект включает в себя следующие разделы по пунктам в пояснительной записке:

1. Титульный лист (по форме приложения 1).
2. Задание на курсовой проект (по форме приложений 2 и 3).
3. Введение и основные задачи проекта.
4. Составление двух схем электрической сети.
5. Расчет параметров нагрузки подстанций.
6. Расчет протяженности ВЛЭП.
7. Выбор номинальных напряжений в ветвях систем.
8. Выбор сечений проводников ВЛЭП и проверка их на соответствие неблагоприятным факторам.
9. Определение типа и количества трансформаторов на подстанциях.
10. Экономический расчет стоимости реализации каждой из разработанных схем и выбор наиболее выгодного варианта.
11. Расчет минимальных нагрузок наиболее выгодной системы ЭС.
12. Выводы по итогам расчетов электрической сети.
13. Библиографический список.
14. Приложения к проекту (если необходимо).

Содержание и оформление курсового проекта

Курсовой проект должен содержать: задание, расчетно-пояснительную записку и чертежи принципиальных схем электрических сетей. Объем пояснительной записки не более 20...25 страниц, включая рисунки, таблицы, графики с соответствующими обоснованиями и ссылками. Пояснительная записка выполняется на листах формата А4, которые должны быть пронумерованы и сброшюрованы. В конце пояснительной записки обязательно

приводится список использованной литературы, включающий в себя документы и справочники, из которых брались те или иные параметры устройств.

При рассмотрении каждого пункта проекта в пояснительной записке необходимо показать ход расчетов и их результаты.

При применении повторяющихся расчетов в первый раз должна приводиться расчетная формула в общем виде с обозначением всех входящих в нее величин символами, числовыми значениями, подставленными в нее, и результат с указанием единицы измерения величины в системе СИ. При повторных аналогичных расчетах приводятся лишь результаты в табличной форме.

На принципиальной схеме сети указываются длины линий (в км), марки проводов, типы трансформаторов (автотрансформаторов) с указанием номинальных напряжений всех обмоток и пределов регулирования напряжений; напряжений шин подстанций во всех расчетных режимах в алгебраической и показательной формах записи комплексных величин. На расчетных схемах указываются потоки мощности по ветвям ВЛ и мощности в узловых пунктах потребления (МВт + МВАр).

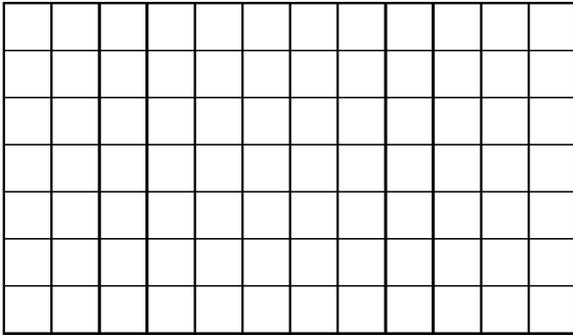
В пояснительную записку включаются:

- титульный лист;
- задание на проектирование;
- оглавление;
- введение;
- пункты пояснительной записки в соответствии с оглавлением;
- выводы;
- перечень использованной литературы;
- приложения.

III. Методика выполнения работы

Составление схем электрической сети

Составление вариантов схем соединений линий сети является практически достаточно сложной задачей вариационного характера. Число возможных вариантов резко возрастает по мере увеличения числа пунктов приема электроэнергии. В задании на курсовой проект дается координатная сетка в произвольном масштабе (10...20 км в одном сантиметре) (рис. 1). На этой сетке преподавателем намечается расположение источника электроэнергии (РЭС) и пунктов потребления (всего 3...4, не более) (рис. 2).



Масштаб в 1 см _____ км

Рис.1. Пример координатной плоскости, на которой должна размещаться схема сети

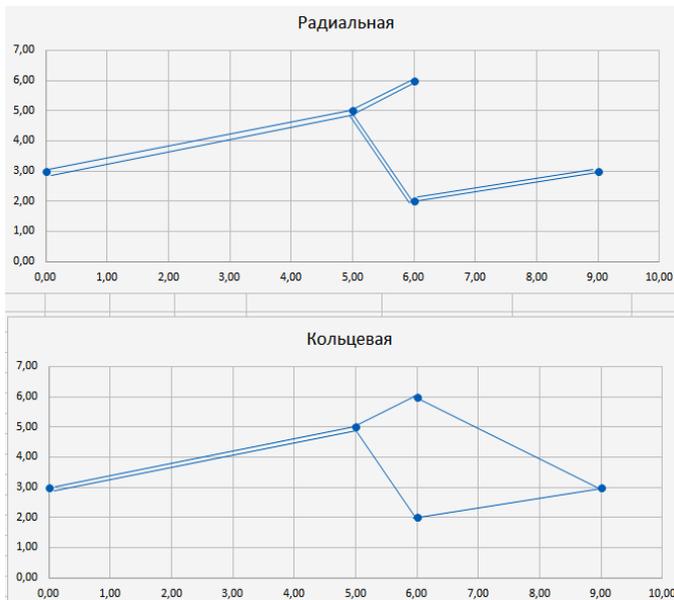


Рис. 2. Пример расположения источника электроэнергии (РЭС) и пунктов потребления на координатной плоскости

Рассмотрим в качестве примера возможные и целесообразные варианты схем электрической сети при питании потребителей 1, 2 и 3-й категорий от шин подстанций в трех пунктах потребления и питании этих пунктов от одного источника энергии – районной распределительной электростанции (РЭС).

Выбор тех или иных схем электрической сети зависит от протяженности линий и передаваемой по ним мощности, а также требований ПУЭ [1] в отношении надежности электроснабжения. Согласно этим требованиям электроприемники первой категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаиморезервируемых источников питания и перерыв их электроснабжения может быть допущен лишь на время автоматического ввода резервного питания. Вторая категория электроприемников это такие, у которых перерыв электроснабжения связан с массовым недоотпуском продукции, простоем рабочих, механизмов и т.п. Эти электроприемники рекомендуется обеспечивать электроэнергией от двух независимых источников питания, при этом допустимый перерыв электроснабжения определяется временем, необходимым для включения резервного питания дежурным персоналом или выездной бригадой.

Электроснабжение электроприемников третьей категории может выполняться от одного источника питания при условии, что перерывы электроснабжения, необходимые для ремонта или замены поврежденного элемента сети, не превышают одних суток. При разработке схемы электроснабжения необходимо иметь в виду, что потребители электроэнергии, как правило, состоят из электроприемников, относящихся к различным категориям по требуемой степени надежности электроснабжения; соединения оборудования подстанций должны быть согласованы со схемами соединения сети и удовлетворять требованиям сети в целом [2].

Расчет параметров нагрузки подстанций

В этом пункте проекта необходимо вычислить величины активных, реактивных и полных мощностей для каждой подстанции.

Полная мощность находится по формуле:

$$S = \frac{P}{\cos\varphi}, \quad (1)$$

где S – модуль полной мощности объекта (ВА), P – активная мощность объекта (Вт), $\cos\varphi$ – коэффициент мощности (безразмерная величина).

Далее необходимо вычислить модуль реактивной мощности Q (ВАр). Его можно посчитать двумя способами):

$$Q = P_{\max} \cdot \operatorname{tg}(\arccos(\varphi)), \quad (2)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P_{\max}^2}. \quad (3)$$

После того как рассчитаем вышеописанные значения, их необходимо свести в табл. 1. Также необходимо записать полную мощность каждого потребителя в векторной форме:

$$\underline{S} = P + jQ. \quad (4)$$

Таблица 1. Рассчитанные мощности подстанций

ПС1	
S _{max} , МВА	
Q _{max} , МВАр	
<u>S</u> ₁ , МВА	
ПС2	
S _{max} , МВА	
Q _{max} , МВАр	
<u>S</u> ₂ , МВА	
ПС3	
S _{max} , МВА	
Q _{max} , МВАр	
<u>S</u> ₃ , МВА	
ПС4	
S _{max} , МВА	
Q _{max} , МВАр	
<u>S</u> ₄ , МВА	

Расчет протяженности ВЛЭП

В данном пункте необходимо рассчитать протяженность каждой из ветвей электрических схем для обоих вариантов исполнения ЭС. Данная задача сводится к применению теоремы Пифагора для нахождения гипотенузы прямоугольного треугольника по известным катетам. Однако в формуле присутствует коэффициент масштаба и поправочный коэффициент провиса проводов ВЛ (около 5 % от длины ВЛ).

Таким образом, получаем формулу:

$$l_{ij} = a_{ij} \cdot m, \quad (5)$$

где $a_{ji} = 1,05 \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$ расстояние между соответствующими подстанциями, см; x и y – соответственно координаты объектов, между которыми выполняется соединение; m – коэффициент масштаба схемы (*приложение 3*).

По итогу расчета полученные протяженности ВЛ необходимо свести в табл. 2.

Таблица 2. Полученные протяженности ВЛ

№ линии	l, км	№ цепей	
		Радиальная	Кольцевая
102			
121			
123			
114			
134			

Выбор номинальных напряжений сети

В данном пункте работы необходимо определиться с напряжениями ветвей воздушных линий, по которым осуществлена связь между подстанциями.

Для этого необходимо посчитать и изобразить потокораспределение мощностей в каждой из схем ЭС.

Расчет потокораспределения мощностей (токов) следует проводить по одному из возможных методов: контурных мощностей или токов, методом узловых напряжений (потенциалов), преобразованию сетей, матричным методом, методом Гаусса на ЭВМ, разрезанием контуров и др. Возможно и совместное использование этих методов. Так, например, метод узловых напряжений в основном применяется при расчете сложных сетей с большим числом контуров при использовании ЭВМ.

Приведем пример расчета потоков мощности для радиально – магистральной и кольцевой схем электрических сетей (рис. 3 и 4):

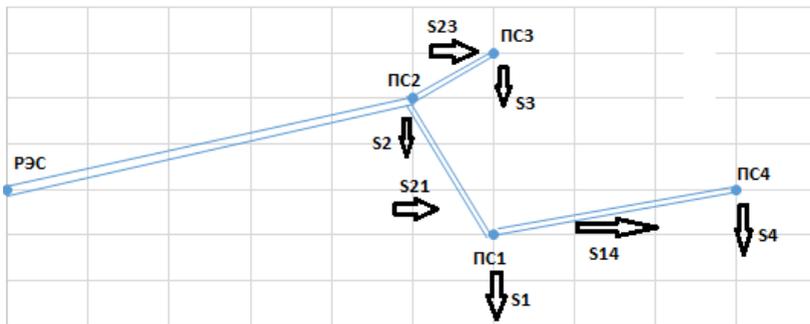


Рис. 3. Распределение потоков мощности радиально–магистральной схемы ЭС

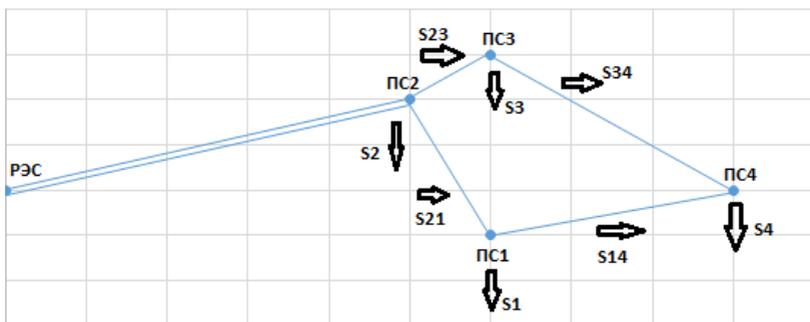


Рис. 4. Распределение потоков мощности кольцевой схемы ЭС

Радиально–магистральная схема сети (рис. 3)

Потоки мощности для радиальной схемы равны:

$$\underline{S}_{02} = \underline{S}_1 + \underline{S}_2 + \underline{S}_3 + \underline{S}_4 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{23} = \underline{S}_3 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{14} = \underline{S}_4 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{21} = \underline{S}_1 + \underline{S}_4 \text{ МВА}.$$

Кольцевая схема сети (рис. 4)

Потоки мощности для кольцевой схемы равны:

$$\underline{S}_{02} = \underline{S}_1 + \underline{S}_2 + \underline{S}_3 + \underline{S}_4 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{23} = \frac{\underline{S}_3 * (l_{21} + l_{14} + l_{34}) + \underline{S}_4 * (l_{14} + l_{21}) + \underline{S}_1 * l_{21}}{(l_{21} + l_{14} + l_{34})} \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{21} = \frac{\underline{S}_1 * (l_{23} + l_{14} + l_{34}) + \underline{S}_4 * (l_{23} + l_{34}) + \underline{S}_3 * l_{23}}{(l_{23} + l_{14} + l_{34})} \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{34} = \underline{S}_{23} - \underline{S}_3 \text{ МВА}$$

$$\underline{S}_{14} = \underline{S}_{21} - \underline{S}_1 \text{ МВА} .$$

Номинальное напряжение сети влияет как на её технико-экономические показатели, так и на технические характеристики. Так, при повышении номинального напряжения уменьшаются потери мощности и электроэнергии, т. е. снижаются эксплуатационные расходы, уменьшаются сечения проводов, растут предельные мощности, передаваемые по линиям, облегчается перспективное развитие сети, но увеличиваются капиталовложения на сооружение сети. Сеть меньшего напряжения, наоборот, требует меньших капиталовложений, но увеличиваются эксплуатационные расходы за счет потери мощности и электроэнергии, обладает меньшей пропускной способностью.

Номинальное напряжение электрической сети следует выбирать согласно следующим соображениям.

Технические требования:

- обеспечение всех потребителей требуемыми уровнями напряжений;
- в послеаварийных режимах обеспечение функционирования оставшихся в работе элементов без превышения их перегрузочной способности.

Экономическая целесообразность

Номинальные напряжения электрических сетей в России установлены действующим стандартом (ГОСТ 721-77). Для выбора номинальных напряжений на каждом из участков сети воспользуемся формулой, предложенной Илларионовым Г. А.:

$$U_{\text{эк}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{l_{ij}} + \frac{2500}{P_{ij}}}}, \quad (6)$$

где l_{ij} - длина линии, км;

P_{ij} - активная мощность, протекающая по линии, МВт.

По окончании расчета полученные напряжения необходимо округлить до ближайших из ряда стандартных напряжений воздушных линий согласно ГОСТ 721-77. Затем все полученные результаты сводятся в табл. 3.

Таблица 3 Результаты расчетов номинального напряжения воздушных линий

Схема	№ линии	$n_{ц}$	$l, \text{км}$	$P, \text{МВт}$	$Q, \text{МВАр}$	$U_p, \text{кВ}$	$U_{ном}, \text{кВ}$
Радиальная							
Кольцевая							

Выбор сечений проводов ВЛ

В данном пункте работы необходимо определить марку проводов воздушных линий, а также их сечения и основные параметры. Затем, необходимо проверить выбранные провода на устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды, перегрузок по току, условий короны и т.д.

Расчет сечений проводов ВЛ будем производить из условия экономической плотности тока [1, п.1.3] по следующей формуле:

$$F_{расч} = \frac{I_{расч}}{J_{эк}} \quad (7),$$

где $F_{расч}$ – расчетное значение сечения провода ВЛ, мм^2 ; $J_{эк}$ – экономическая плотность тока, зависящая от времени максимума нагрузки T_{max} , а/мм^2 . [1, п.1.3].

Величину времени максимальной нагрузки T_{max} для воздушной линии можно найти из формулы:

$$T_{maxВЛ} = \frac{\sum T_{maxi} * P_{maxi}}{\sum P_{maxi}}, \quad (8)$$

где T_{maxi} и P_{maxi} – соответствующие величины времени максимума нагрузки (ч) и мощности (МВт) объектов, подключенных к ВЛ.

$I_{расч}$ – расчетный максимальный ток в воздушной линии, А. Он находится по формуле:

$$I_{расч} = I_{max} \cdot \alpha_i \cdot \alpha_T, \quad (9)$$

$$I_{max} = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} * U_{ном} * n_{ц}}, \quad (10)$$

где α_i - коэффициент, учитывающий изменения нагрузки по годам эксплуатации. Для линий 110...330 кВ $\alpha_i = 1,04$ [2], α_T - коэффициент, учитывающий число часов использования максимальной нагрузки

линии I_{max} и коэффициент ее попадания в максимум энергосистемы (K_M). Коэффициент α_T принимают по [4]; S_{max} – модуль полной мощности ветви при максимальной нагрузке (МВА); $n_{ц}$ – количество цепей в ветви воздушной линии.

Получив расчетные значения сечений проводников, их нужно округлить до ближайших больших значений согласно ряду стандартных сечений проводников [1, табл. 1.3.29] и определиться с маркой проводов ВЛ. Для напряжений 110-330 кВ рекомендуется использовать неизолированный провод марки АС, имеющий однофазную жилу. Его характеристики приведены в [2,3].

Затем, выбранные сечения проводов обязательно нужно проверить на соответствие следующим условиям:

- механической прочности;
- потерь на корону;
- потерь напряжения в линии;
- проверке по длительно допустимому току нагрева проводов: отключение одной из цепей ВЛ (для радиальной сети) или участка ВЛ (для кольцевой сети).

Если выбранное сечение провода меньше минимально допустимого по какому-либо из условий, то его необходимо увеличить до этого значения.

По итогу расчета сечений и выбора проводов ВЛ полученные результаты сводим в табл. 4.

Далее обращаемся к справочникам с параметрами выбранных проводов для расчета сопротивления воздушных линий. При расчете используем следующие формулы:

Активное сопротивление ВЛ:

$$R = \frac{r_0 * l}{n_{ц}} \quad (11)$$

где l – длина линий, км;

r_0 – погонное активное сопротивление, Ом/км; определяется при температуре проводов +20 °С (является табличным значением);

$n_{ц}$ – число цепей в рассматриваемой ветви ВЛ.

Таблица 4. Марки и сечения проводов ВЛ

Тип схемы	Значение времени максимально й нагрузки для участка	aT	$j_{эж}$	$ S , MVA$	$U_{ном}, кВ$	$n_{ц}$	$i_{расч}, A$	$F_{расч}, мм^2$	$F_{мех}$ пр max-min	Марка провода	I_{max} доп, A
Радиальная	Tmax02										
	Tmax21										
	Tmax14										
	Tmax23										
Кольцевая	Tmax02										
	Tmax23										
	Tmax21										
	Tmax14										
	Tmax34										

Реактивное сопротивление ВЛ:

$$X = \frac{x_0 * l}{n_{ц}}, \quad (12)$$

где x_0 – погонное индуктивное сопротивление, Ом/км (является табличным значением).

Полученные результаты сводим в табл. 5.

Таблица 5. Сопротивления проводов ВЛ

Схема	ЛЭП	$U_{ном},$ В	l,км	$n_{ц}$	$F, мм^2$	$r_0,$ Ом/км	$x_0,$ Ом/км	$R_{л},$ Ом	$X_{л},$ Ом
Радиальная	0-2								
	2-1								
	1-4								
	2-3								
Кольцевая	0-2								
	2-3								
	2-1								
	1-4								
	3-4								

Определение типа и количества трансформаторов на подстанциях

Выбор количества трансформаторов (автотрансформаторов) зависит от требований к надежности электроснабжения потребителей, питающихся от подстанции.

На подстанциях с напряжением 220 кВ и выше, как правило, устанавливаются автотрансформаторы, обладающие рядом преимуществ по сравнению с трансформаторами (меньше масса, стоимость и потери электроэнергии при той же мощности).

На подстанциях электрической сети всех категорий надежности предусматривается, как правило, установка двух трансформаторов [2].

Применение одното трансформаторных подстанций допускается:

- в качестве первого этапа сооружения двухтрансформаторных ПС, при этом должно быть обеспечено резервирование электроснабжения потребителей по сетям вторичного напряжения;
- для питания неотчетственных потребителей, допускающих перерыв электроснабжения на время, достаточное для замены поврежденного трансформатора.

Установка на подстанциях более двух трансформаторов (автотрансформаторов) применяется в следующих случаях:

- на подстанциях промышленных предприятий, если необходимо выделить по режиму работы толчковые нагрузки (электропечи и т.п.);
- если для покрытия нагрузки недостаточно предельной мощности двух автотрансформаторов по существующей шкале (например, 330/110 кВ, 200 МВА).

Суммарная установленная мощность трансформаторов должна удовлетворять условиям

$$S_T \geq \frac{P_{max}}{n_T}, \quad (13)$$

где n_T , S_T - количество и единичная мощность трансформаторов;
 P_{max} - максимальная нагрузка подстанции в нормальном режиме.

При установке на ПС двух трансформаторов номинальная мощность каждого из них выбирается такой, чтобы при отключении одного из них оставшийся в работе трансформатор с аварийной допустимой перегрузкой мог обеспечить нормальное электроснабжение потребителей первой и второй категорий.

Для двухтрансформаторной ПС ($n_T=2$)

$$S_T \geq P_{max} * \frac{k_{1,2}}{k_{пн} * \cos \varphi}, \quad (14)$$

где P_{max} - активная суммарная нагрузка ПС на расчетный период пяти лет, МВт;

$k_{1,2}$ - коэффициент участия в нагрузке потребителей первой и второй категорий;

$k_{п.н.}$ - коэффициент аварийной допустимой перегрузки (допускается аварийная перегрузка трансформатора до 40 %) на время максимума общей суточной продолжительности не более 6 ч в течение 5 суток.

В настоящее время при выборе номинальной мощности трансформаторов двухтрансформаторной ПС принимают

$$K = \frac{k_{1,2}}{k_{пн}} = 0,7, \quad (15)$$

при этом

$$S_{номТ} = 0,7S_{макс}, \quad (16)$$

а суммарная установленная мощность такой ПС

$$S_{макс сум} = 2 \cdot 0,7S_{макс} = 1,4S_{макс}. \quad (17)$$

Номинальная мощность трансформатора на однотрансформаторной ПС выбирают из условия:

$$S_{ном Т} \geq 0,75 \dots 0,8S_{макс}, \quad (18)$$

Трансформаторы (автотрансформаторы) принимаются, как правило, со встроенным регулятором напряжения под нагрузкой (РПН). Следует учитывать, что двухобмоточные трансформаторы напряжением 110 кВ и выше обычно имеют РПН в нейтрали обмотки ВН, трехобмоточные трансформаторы также имеют РПН в нейтрали обмотки ВН и ответвления для переключения без возбуждения (ПВВ) на обмотке СН, а автотрансформаторы обычно имеют РПН на линейном выводе обмотки СН.

По итогу расчета мощностей трансформаторов на ПС полученные значения округляют до ближайших из ряда стандартных мощностей [4].

Выбрав тип трансформаторов, их основные параметры сводятся в табл. 6 и 7.

Таблица 6. Выбранные трансформаторы ПС

Конфигурация	№ПС	Ср.тр. МВА	Кол-во тр.	Тип тр.
Радиальная	ПС-1			
	ПС-2			
	ПС-3			
	ПС-4			
Кольцевая	ПС-1			
	ПС-2			
	ПС-3			
	ПС-4			

Таблица 7 Характеристики трансформаторов на ПС

Тип	S _{ном} , МВА	Пределы регулирования	Каталожные данные					Расчетные данные				
			U _{ном} обмоток, кВ		I _к , %	P _к , кВт	P _х , кВт	I _х , %	R _т , Ом	X _т , Ом	Q _х , кВАр	
			ВН	НН								

Экономический расчет и сравнение финансовых затрат на реализацию схем ЭС

В данном пункте работы необходимо вычислить упрощенно затраты на строительство каждого из типов схем ЭС, а затем сравнить их и сделать вывод о наиболее выгодной.

Затраты на строительство линий складываются из следующих составляющих:

- затраты на сооружение ВЛЭП;
- затраты на трансформаторы подстанций.

К затратам на сооружение ВЛЭП относятся стоимость проводов и опор ЛЭП.

При расчете стоит также учесть зональный коэффициент K_з, зависящий от местоположения ВЛ, и количество цепей ВЛ в каждой ветви схем. K_з для Европейской части России равен 1.0.

Затраты на сооружение ВЛЭП рассчитываются по следующей формуле:

$$K_{\text{ВЛЭП}} = \sum (K_{0i} * l_i * n_{\text{ци}}) * K_3, \quad (19)$$

где $K_{\text{ВЛЭП}}$ – затраты на сооружение ВЛЭП всей сети; K_{0i} – стоимость 1 км воздушной линии в соответствии с типом опор (обычно для напряжений 110 кВ и выше используются стальные опоры), это значение является табличным и приведено в таблицах [5]; l_i – протяженность ветви ВЛ, км; $n_{\text{ци}}$ – количество цепей в ветви ВЛ; K_z – зональный коэффициент.

Затраты на покупку трансформаторов являются суммой произведений стоимости трансформаторов на количество их на подстанции. Стоимости трансформаторов приведены в таблицах [5].

Суммарные затраты равны сумме затрат на сооружение ВЛЭП и трансформаторов на ПС системы.

По окончании расчетов затрат полученные результаты сводятся в таблицы. Затем производится сравнение величин и делается вывод о наиболее выгодной схеме ЭС, так как в настоящее время именно этот показатель оказывает наиболее весомое значение при выборе типа схемы электрических сетей.

Расчет минимальных нагрузок выбранной схемы ЭС

В расчете режима минимальных нагрузок значения мощности на подстанциях рассчитываются согласно заданному варианту.

Напряжение источника питания в минимальном режиме равно:

$$U_{\text{РЭС min}} = U_{\text{РЭС min\%}} \cdot U_{\text{ном}}, \quad (20)$$

где $U_{\text{ном}}$ – это напряжение ВЛ от РЭС до близлежащего пункта потребления.

Далее необходимо проверить, сколько трансформаторов можно оставить в работе в условиях минимальной нагрузки. Для этого воспользуемся формулой:

$$S_{\text{ЭК } i} = S_{\text{тноми}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_{\text{xi}}}{P_{\text{ki}}}}, \quad (21)$$

где $S_{\text{тноми}}$ – номинальная мощность трансформатора ПС (МВА);

P_{xi} – мощность холостого хода трансформатора (МВт);

P_{ki} – мощность холостого хода трансформатора (МВт).

Если $S_{\text{ЭК } i} \geq S_{\text{мини}}$, то на ПС остается один трансформатор, иначе – два.

По итогу расчета полученные результаты сводятся в таблицы и делаются соответствующие выводы.

Заключение

В заключении приводятся выводы по итогам курсового проектирования с отображением основных достигнутых результатов и оформляются чертежи схем электрической сети, рассматриваемых в ходе проекта.

Библиографический список

1. ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок. Издание 7 (Источник: <https://www.elec.ru/library/direction/pue.html>).
2. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / под ред. С.С. Рокотяна и Н.М. Шапиро. – 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1985. –352 с.
3. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей вузов: учеб. пособие для студентов электроэнергетических специальностей вузов. – 2-е изд., перераб. и доп.; под ред. В.М. Блок. - М.: Высш.шк.,1990. –383с. с ил.
4. Технические данные трансформаторов. (Источник: <https://energia63.ru/node/173>).
5. Ананичева С.С., Мызин А.Л., Шелюг С.Н. – Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. Часть 1, ЕКБ 2006.
6. Справочник по проектированию электрических систем / под ред. Д.Л. Фабрисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. - М.: ЭНАС, 2012. –376 с.

Приложение 1

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
**«Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В.Ф. Уткина»**
Кафедра промышленной электроники

Курсовой проект по дисциплине
«Электроэнергетические сети и системы»

Выполнил: ст.гр.№ ___

Проверил:

Рязань 202__

Приложение 2

Рязанский государственный радиотехнический университет
имени В.Ф. Уткина
Кафедра промышленной электроники

З А Д А Н И Е
на курсовой проект
по дисциплине «Электроэнергетические сети и системы»

Студент – (заполнить)
Группа - (заполнить)

1. Тема – (заполнить)
2. Срок представления к защите - (заполнить)
3. Исходные данные: (заполнить)

Заданы основные параметры будущей системы, согласно которым будут производиться проектирование и последующий расчет (см. таблицу 1)

Таблица 1 – Исходные данные будущей системы

Наименование	РЭС	Потребители			
		1	2	3	4
X, о.е					
Y, о.е.					
P в режиме max, МВт					
P в режиме min, МВт					
cos φ					
Tmax, ч					
Kp%					
Umax%					
Umin%					

Местоположение объектов – Рязанская область
Масштаб координатной сетки – __км/см (о.е.)

Руководитель _____

Задание принял к исполнению _____

Дата

Приложение 3

Задание по вариантам

Последние 5 цифр зачетной книжки		№.....12345з				1- РЭС	2- ПС1	3- ПС2	4- ПС3	5- ПС4
РЭС										
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
X,см	0	0	0	0	0	10	10	10	10	10
Y,см	3	3	4	4	5	4	4	3	3	5
Umin%	100	98	97	96	95	94	93	92	91	90
масштаб, км/см	10	10	10	10	10	15	15	15	15	15
ПС-1										
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
X,см	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1
Y,см	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1
Pmax, МВт	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
Pmin%	60	60	60	60	50	50	50	50	55	55
Tmax, ч	3800	4000	3800	4000	3800	4000	4200	4400	4600	4800
cosφ	0,78	0,79	0,8	0,81	0,82	0,81	0,8	0,79	0,78	0,8
Kk%	100	100	80	80	100	100	80	80	100	100
ПС-2										
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
X,см	9	8	7	6	7	4	3	2	1	9
Y,см	2	3	4	5	6	7	8	9	2	3
Pmax, МВт	2	2	2	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,3
Pmin%	60	60	60	60	50	50	50	50	55	55
Tmax, ч	5300	5000	4700	5300	5000	4700	5300	5000	4700	5300
cosφ	0,8	0,78	0,76	0,8	0,78	0,76	0,8	0,78	0,76	0,8
Kk%	10	20	30	40	50	50	40	30	20	10
ПС-3										
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
X,см	4	5	6	7	8	9	8	7	6	5
Y,см	7	6	5	4	3	4	5	6	7	7
Pmax, МВт	20	20	21	21	22	22	23	23	24	24
Pmin%	60	60	60	60	50	50	50	50	55	55

Последние 5 цифр зачетной книжки			№.....12345з			1- РЭС	2- ПС1	3- ПС2	4- ПС3	5- ПС4
Tmax, ч	6200	6300	8000	7900	7800	7700	7600	7400	7200	7000
cosφ	0,84	0,82	0,8	0,82	0,84	0,86	0,84	0,82	0,8	0,82
Kk%	60	60	70	70	80	80	90	90	100	100
ПС-4										
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
X,см	7	7	8	2	2	5	4	4	3	3
Y,см	4	5	7	8	4	4	7	3	8	5
Pmax, МВт	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11
Pmin%	60	60	60	60	50	50	50	50	55	55
Tmax, ч	2400	2600	2800	3000	3200	3200	3000	2800	2600	2400
cosφ	0,75	0,75	0,79	0,77	0,75	0,77	0,79	0,77	0,75	0,77
Kk%	30	30	40	40	50	50	40	40	30	30

Для заметок