

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

621.311(07)
П991

ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Программа, контрольные задания и методические указания

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2011

УДК 621.311.1(075.68) + 621.316.9(075.8)
П991

Одобрено
учебно-методической комиссией энергетического факультета

Рецензент Ю.В. Коровин

Перенапряжения в системах электроснабжения: программа, контрольные задания и методические указания / составитель: В.В. Пястолов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – 26 с.

Методические указания предназначены для студентов специальности «Электроснабжение» и студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника» при изучении ими курса «Перенапряжения в системах электроснабжения». Приводится программа курса, контрольные задания и методические указания, позволяющие закрепить полученные знания.

УДК 621.311.1(075.68) + 621.316.9(075.8)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2011

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Введение

Предмет и задачи курса. Роль высоких напряжений в электроэнергетике. Нормальные рабочие напряжения в электрических сетях, наибольшие рабочие напряжения, перенапряжения. Причины появления перенапряжений на изоляции. Внешняя и внутренняя изоляции, их характерные особенности. Уровни и координация изоляции электрооборудования – общие положения.

Электрические разряды в газах и характеристики внешней изоляции

Общая характеристика внешней изоляции. Роль газовых диэлектриков в изоляции электрического оборудования. Элементарные процессы при электрическом разряде в газе. Ионизация газов, ее виды.

Развитие разряда в газе, лавинная и стримерная теории. Условия самостоятельности разряда. Основные виды электрического разряда в газах. Разряд и минимальное разрядное напряжение в однородном электрическом поле. Закон Пашена. Газы с повышенной электрической прочностью.

Развитие разряда и разрядное напряжение при постоянном напряжении в неоднородном электрическом поле (промежутки стержень – плоскость, стержень – стержень). Влияние полярности электродов. Искажение поля объемными зарядами. Влияние на разрядное напряжение непроводящего барьера. Особенности разряда при переменном напряжении.

Импульсная прочность изоляции. Импульсы грозового перенапряжения, стандартные испытательные импульсы и их параметры. Время разряда и время запаздывания разряда. Генераторы импульсных напряжений. Вольт – секундные характеристики и их значение при координации изоляции. Пятидесятипроцентные разрядные напряжения. Измерение импульсных напряжений.

Разряд в воздухе вдоль поверхности твердого диэлектрика в однородном, слабо неоднородном (по поверхности опорного изолятора) и в резко неоднородном (по поверхности проходного изолятора) электрических полях. Понятие скользящего разряда и удельной поверхностной емкости. Разряд вдоль загрязненной и увлажненной поверхности. Причины снижения разрядного напряжения. Распределение напряжения вдоль гирлянды изоляторов.

Коронный разряд на постоянном и переменном напряжениях. Роль объемных зарядов. Потери на корону при переменном напряжении и пути их снижения.

Испытательные напряжения внешней изоляции.

Разряды в твердых, жидких и газообразных диэлектриках и электрические характеристики внутренней изоляции электротехнических установок

Общая характеристика внутренней изоляции. Твердая, жидкая, газовая изоляции: примеры, основные характеристики, механизмы электропроводности,

виды и механизмы электрических пробоев. Комбинированная изоляция. Частичные пробои твердой изоляции. Зависимость электрической прочности изоляции от времени приложения напряжения. Применение газов под давлением. Высокопрочные газы. Вакуумная изоляция. Способы увеличения электрической прочности внутренней изоляции. Уровни длительных и кратковременных испытательных напряжений внутренней изоляции.

Изоляция установок высокого напряжения

Классификация изоляторов. Линейные, опорные и проходные изоляторы. Изоляторы с воздушной полостью, маслонаполненные изоляторы. Комбинированная изоляция. Изоляция воздушных линий. Изоляция кабелей.

Изоляция трансформаторов. Диэлектрики, применяемые для изоляции: твердые, жидкие, газообразные. Внешняя и внутренняя изоляция трансформаторов. Координация изоляции и испытательные напряжения.

Изоляция конденсаторов.

Изоляция вращающихся машин. Основные изоляционные материалы, применяемые в электромашиностроении.

Задачи профилактических испытаний изоляции. Типовые дефекты в изоляции и их связь с характеристиками общего состояния изоляции.

Внешние (атмосферные) перенапряжения и защита от них

Волновой метод анализа перенапряжений в простейших схемах. Волновые процессы в линиях без потерь. Прямая и обратная волны. Отражение и преломление волн. Прохождение волны через узел с емкостью. Прохождение волны через индуктивность. Многократные отражения волн. Распространение волн в многопроводной системе. Деформация волны за счет импульсной короны.

Переходный процесс и перенапряжения в обмотках трансформатора при воздействии импульсных волн схемы замещения для начального момента и в установившемся режиме, распределение напряжения по обмотки в начальный момент переходного процесса и в установившемся режиме.

Грозовой разряд как источник атмосферных перенапряжений. Электризация в грозовом облаке. Развитие грозового разряда. Параметры разряда молнии и ее схема замещения. Интенсивность грозовой деятельности.

Механизмы развития процессов, возникающих при разряде молнии и приводящих к отключению линии. Грозовые отключения воздушных линий электропередач. Определение числа грозовых отключений линий различных классов напряжений, с изолированной и заземленной нейтралью, защищенных тросами и без тросов. Пути снижения числа грозовых отключений линий. Защитные промежутки, трубчатые разрядники.

Защита подстанций от прямых ударов молний. Зоны защиты стержневых молниеотводов. Допустимые расстояния от молниеотводов до электрооборудования. Заземления в установках высокого напряжения. Особенности работы

заземлителей молниеотводов. Импульсный коэффициент заземления. Сосредоточенные и протяженные заземлители.

Защита подстанций от набегающих с линий волн атмосферных перенапряжений. Грозозащита подхода линии к подстанции, ее роль в ограничении амплитуды и крутизны фронта набегающей волны. Вентильные разрядники и ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН), их конструкции и характеристики. Пробивное и остаточное напряжения разрядника, напряжение гашения дуги. Графическое построение напряжения на разряднике и ОПН. Зона защиты вентильного разрядника и ОПН. Взаимосвязь зоны защиты с длиной усиленной грозозащиты линии на подходе к подстанции.

Внутренние (коммутационные) перенапряжения и защита от них

Основные виды внутренних перенапряжений, их общая характеристика, особенности, условия возникновения.

Перенапряжения при включении конденсаторных батарей и ненагруженных линий, меры по их ограничению. Перенапряжения при АПВ.

Перенапряжения при отключении конденсаторных батарей и ненагруженных линий. Процесс повторного зажигания дуги в выключателе и нарастания напряжений. Причины, ограничивающие величину перенапряжений. Кратность перенапряжений.

Перенапряжения при отключении ненагруженных трансформаторов и реакторов. Обрыв дуги тока холостого хода. Перераспределение запасов электромагнитной энергии между элементами схемы замещения. Максимально возможные величины напряжений. Причины, ограничивающие перенапряжения. Кратность перенапряжений по опытным данным.

Перенапряжения при отключении коротких замыканий. Максимальные величины напряжений. Распределение перенапряжений вдоль питающей сети. Влияние установок продольной компенсации реактивной мощности на величины перенапряжений.

Перенапряжения при коммутации высоковольтных двигателей. Особенности развития перенапряжений при коммутации цепей вакуумными выключателями.

Перенапряжения при однофазном замыкании на землю в сети с изолированной нейтралью. Потенциал нейтрали относительно земли в симметричной сети и при замыкании одной фазы на землю. Перемежающаяся дуга. Развитие перенапряжений при неустойчивом горении дуги. Максимальные величины напряжений. Причины, ограничивающие перенапряжения. Практические данные о величинах перенапряжений при повторных зажиганиях дуги. Заземление нейтрали электрической сети через дугогасящий реактор. Влияние дугогасящего реактора на величины перенапряжений.

Феррорезонансные перенапряжения в электрических сетях. Графический метод построения напряжений на элементах электрических цепей с нелинейными индуктивностями, режимы сетей, приводящие к появлению феррорезонансных перенапряжений.

Координация изоляции систем электроснабжения

Уровни изоляции электрооборудования. Импульсное испытательное напряжение. Испытательное напряжение промышленной частоты. Роль вентильных разрядников и ОПН в координации изоляции электрооборудования подстанций.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Что такое «Перенапряжение»?
2. Характерные особенности внешней изоляции.
3. Характерные особенности внутренней изоляции.
4. Виды ионизации газов.
5. Как влияет неоднородность электрического поля на величину разрядного напряжения?
6. В чем недостатки лавинной теории развития разряда в газах?
7. Основные достоинства стримерной теории развития разряда в газах.
8. От чего зависит минимальное разрядное напряжение в однородном электрическом поле?
9. В чем суть закона Пашена?
10. Роль объемного заряда при развитии разряда в промежутке стержень – плоскость.
11. Характер зависимостей величины минимального разрядного напряжения от расстояния между электродами для промежутков с однородным и неоднородным электрическими полями.
12. Влияние непроводящего барьера на разрядное напряжение в промежутке с неоднородным электрическим полем.
13. Причины появления внешних перенапряжений.
14. Вид и параметры импульса атмосферного перенапряжения.
15. От чего зависит время разряда при воздействии импульса атмосферного перенапряжения?
16. Что такое Вольт-секундная характеристика (ВСХ)?
17. Почему ВСХ область, а не линия?
18. Методики построения ВСХ.
19. Объяснить понятие «Пятидесятипроцентное разрядное напряжение» ($U_{0,5}$).
20. Характер ВСХ для промежутков с однородным и неоднородным электрическим полем.
21. ВСХ промежутка описывается выражением $U_p = 200 \sqrt{1 + \frac{0,2}{t}}$ [кВ]. Чему равно $U_{0,5}$.
22. В чем особенность разряда вдоль поверхности твердого диэлектрика в однородном электрическом поле?

23. В чем особенность разряда вдоль поверхности твердого диэлектрика в слабо неоднородном электрическом поле?
24. В чем особенность разряда вдоль поверхности твердого диэлектрика в резко неоднородном электрическом поле?
25. В чем особенность разряда вдоль увлажненной и загрязненной поверхности твердого диэлектрика?
26. Пояснить понятие «Скользкий разряд».
27. Пояснить понятие «Удельная поверхностная емкость».
28. Как выглядит зависимость электрической прочности внутренней изоляции от длительности воздействия напряжения? Объяснить ее характерные участки.
29. Что такое комбинированная изоляция?
30. Что такое бумажно-масляная изоляция?
31. Что такое маслобарьерная изоляция?
32. Пояснить понятие «Скрытый газовый пробой».
33. Пояснить понятие «Тепловой пробой».
34. Пояснить понятие «Мостиковый пробой».
35. Пояснить понятие «Электрический пробой».
36. Какие виды электропроводности характерны для жидких диэлектриков?
37. Какие виды электропроводности характерны для твердых диэлектриков?
38. Привести примеры комбинированной изоляции.
39. Что такое частичные разряды в изоляции?
40. Что такое коронный разряд?
41. Какая изоляция используется в качестве главной в современных силовых трансформаторах?
42. Что такое продольная изоляция трансформаторов?
43. Привести зависимость напряженности электрического поля от приложенного напряжения при коронном разряде на постоянном напряжении.
44. Привести зависимость напряженности электрического поля от времени при коронном разряде на переменном напряжении.
45. Пояснить, почему при коронном разряде есть потери активной мощности?
46. Каковы пути снижения потерь на «корону».
47. Причины появления прямых, отраженных и преломленных волн.
48. Как определить величину отраженной и преломленной волны?
49. В каком случае можно считать, что линия имеет бесконечную длину?
50. В каких случаях возможны многократные отражения волн?
51. Как влияет индуктивность линии на крутизну фронта волны перенапряжений?
52. Как влияет емкость линии на крутизну фронта волны перенапряжений?
53. Схема замещения обмотки трансформатора для начального момента времени при падении на нее волны перенапряжений.
54. Схема замещения обмотки трансформатора для установившегося режима при падении на нее волны перенапряжений.
55. Какова величина максимальных перенапряжений в обмотке трансформатора при падении на нее волны перенапряжений?
56. Процесс разделения зарядов в грозовом облаке.

57. Развитие разряда молнии.
58. Параметры интенсивности грозовой деятельности.
59. Нарисовать кривую повторяемости тока молнии.
60. Нарисовать кривую повторяемости крутизны тока молнии.
61. С какой целью выполняется грозозащита воздушных линий?
62. Технические мероприятия, выполняемые с целью грозозащиты линии.
63. Какую роль в грозозащите линий играет заземление опор и его величина?
64. Каковы составные части молниеотвода?
65. Зоны защиты одиночных стержневого и тросового молниеотводов, двойных одиночных и тросовых молниеотводов, системы молниеотводов.
66. Чем определяется минимальное расстояние от молниеотвода до токоведущих частей?
67. Пояснить понятие «Импульсное сопротивление заземления».
68. Конструкция и принцип работы защитного промежутка.
69. Конструкция и принцип работы трубчатого разрядника.
70. Роль грозозащитного троса в грозозащите линий электропередач.
71. Для чего выполняется грозозащитный подход к подстанции?
72. Конструктивное выполнение грозозащитного подхода.
73. Какие функции выполняет грозозащитный подход?
74. Назначение вентильного разрядника.
75. Конструкция вентильного разрядника.
76. Что такое остаточное напряжение на разряднике.
77. За счет чего достигается необходимая степень нелинейности ВАХ вентильного разрядника.
78. Объяснить принцип работы искрового промежутка с неподвижной дугой, в каких разрядниках он применяется?
79. Объяснить принцип работы искрового промежутка с магнитным гашением дуги, в каких разрядниках он применяется?
80. Назначение и конструкция ограничителя перенапряжений нелинейного (ОПН)?
81. За счет чего достигается необходимая степень нелинейности ВАХ ОПН.
82. Графический метод построения напряжения на разряднике.
83. Зона защиты вентильного разрядника.
84. Графический метод построения напряжения на ОПН.
85. Зона защиты ОПН.
86. Причины появления внутренних перенапряжений.
87. Какой параметр схемы замещения сети оказывает наибольшее влияние на величины внутренних перенапряжений и почему?
88. Схема замещения сети при анализе перенапряжений при включении батарей конденсаторов или ненагруженных линий.
89. Как влияет на величину перенапряжений при включении батарей конденсаторов или ненагруженных линий величина остаточного напряжения на емкости?

90. Как влияет на величину перенапряжений при включении батарей конденсаторов или ненагруженных линий фаза напряжения в момент коммутации?
91. Как влияет на величину перенапряжений при включении батарей конденсаторов или ненагруженных линий наличие однофазного замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью?
92. Схема замещения сети при анализе перенапряжений при отключении батарей конденсаторов или ненагруженных линий.
93. Каковы максимально возможные перенапряжения при отключении ненагруженной линии при анализе простейшей схемы замещения?
94. Какие факторы приводят к снижению перенапряжений при отключении батарей конденсаторов?
95. Схема замещения сети при анализе перенапряжений при отключении ненагруженных трансформаторов.
96. От соотношения каких параметров зависит величина перенапряжений при отключении ненагруженных трансформаторов?
97. Что такое ток среза?
98. За счет чего происходит срез тока при отключении ненагруженных трансформаторов?
99. При каком условии наблюдается максимум перенапряжений при отключении ненагруженных трансформаторов?
100. Что приводит к снижению перенапряжений при отключении ненагруженных трансформаторов?
101. Схема замещения сети при анализе перенапряжений при отключении коротких замыканий.
102. Исходные уравнения переходного процесса при отключении коротких замыканий.
103. От чего зависит величина перенапряжений при отключении коротких замыканий?
104. Какова максимально возможная величина перенапряжений при отключении коротких замыканий?
105. Как влияет установка продольной компенсации реактивной мощности на величину перенапряжений при отключении коротких замыканий?
106. Объяснить, почему величины перенапряжений при отключении коротких замыканий в различных точках питающей сети различны?
107. Схема замещения сети при анализе перенапряжений при неустойчивом горении дуги однофазного замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью.
108. Что такое «Перемежающаяся дуга»?
109. Чем определяется ток однофазного замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью, от чего зависит его величина?
110. Какие факторы, влияющие на величину перенапряжения, приводят к ее снижению при неустойчивом горении дуги однофазного замыкания на землю в сети с изолированной нейтралью?

111. Практические данные о величинах перенапряжений при повторных зажиганиях дуги однофазного замыкания на землю.
112. В чем суть феррорезонансных перенапряжений?

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ИХ ВЫПОЛНЕНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Контрольное задание выполняется в сроки, установленные учебным планом. Количество, номера и варианты задач задаются преподавателем во время установочной сессии.

Все задачи должны быть выполнены с необходимыми пояснениями, ссылками на литературу и выводами по промежуточным и конечным результатам. Приведенные без ссылок формулы должны быть выведены при решении. Выполненное задание отправляется для проверки по почте или доставляется лично студентом в деканат не позднее пяти дней до начала сессии.

ЗАДАЧА № 1

Определить коэффициент вторичной ионизации электронов с поверхности катода в однородном электрическом поле для промежутка, заполненного атмосферным воздухом. Исходные данные взять из справочной литературы.

ЗАДАЧА № 2

Получить аналитическое выражение, описывающее стандартный испытательный импульс, если известна его амплитуда U_{\max} . Исходные данные для решения приведены в табл.1.

Таблица 1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
U_{\max} , кВ	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220

Окончание табл. 1

Вариант	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
U_{\max} , кВ	230	240	250	260	270	280	290	300	60	70	80	90	100

Указания к решению

При решении задачи следует четко представлять, какими параметрами характеризуется импульс атмосферного перенапряжения. Также, необходимо

знать какие параметры стандартного испытательного импульса нормируются. При подборе аналитической функции следует ориентироваться на форму импульса.

ЗАДАЧА № 3

Построить вольт-секундную характеристику промежутка стержень – плоскость, если известно, что его пятидесятипроцентное напряжение равно $U_{0,5}$, а стандартный испытательный импульс U_0 пробивает промежуток на амплитуде. Исходные данные для решения приведены в табл. 2.

Таблица 2

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$U_{0,5}$, кВ	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220
U_0 , кВ	120	130	140	150	170	180	190	200	210	230	240	250	260

Окончание табл. 2

Вариант	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$U_{0,5}$, кВ	230	240	250	260	270	280	290	300	60	70	80	90	100
U_0 , кВ	270	280	300	310	320	330	340	350	80	90	100	110	130

Указания к решению

При решении задачи имейте в виду то, что вольт-секундная характеристика может быть описана выражением $U = A\sqrt{1 + \frac{T}{t}}$, где A и T постоянные определяемые опытным или расчетным путем. Кроме того, следует помнить, чему равна длительность фронта стандартного испытательного импульса, а так же тот факт, что импульс $U_{0,5}$ пробивает промежуток через 6–8 мкс. Вольт-секундную характеристику промежутка стройте на интервале 0,2–5 мкс не менее чем по 10 точкам.

ЗАДАЧА № 4

Определить относительное (в пределах периода) время протекания коронного разряда на линии напряжением $U_{ном}$, если известно, что начальное напряжение коронирования на фазе линии при неблагоприятных погодных условиях U_0 . Исходные данные приведены в табл. 3. Решение пояснить рисунком.

Таблица 3

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$U_{ном}$, кВ	35	35	35	35	35	110	110	110	110	110	220	220	220
U_0 , кВ	20	25	15	22	18	80	75	70	65	60	150	140	130

Вариант	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$U_{\text{ном}}$, кВ	220	220	220	330	330	330	330	330	500	500	500	500	500
U_0 , кВ	170	145	120	250	240	230	220	210	380	360	350	340	330

ЗАДАЧА № 5

Определить кратность перенапряжения (по отношению к амплитуде падающей волны U_0) в заданной точке схемы в заданный момент времени. Набегающая волна имеет прямоугольный фронт, постоянную амплитуду и бесконечную длительность. Схема сети проведена на рис. 1, исходные данные в табл. 4.



Рис. 1

Пояснения к рис. 1 и табл. 2

- Элемент: 1 – индуктивность, включенная между точками 2' и 2'';
 2 – емкость, включенная между точкой 2 (2' и 2'' объединены) и землей;
 3 – активное сопротивление R , включенное между точками 2' и 2''.
- Момент времени: 1 – приход первой волны в точку 1;
 2 – приход первой волны в точку 2' или 2 (если Элемент – емкость);
 3 – приход первой волны в точку 3;
 4 – приход в точку 1 первой отраженной волны.

Таблица 4

Вариант	Z_1 , Ом	Z_2 , Ом	Z_3 , Ом	Z_4 , Ом	Элемент	l_{1-2} , км	l_{2-3} , км	R , Ом	Точка	Момент времени
1	100	200	300	150	1	2	3	–	1	2
2	100	200	300	150	2	2	3	–	1	2
3	100	200	300	150	3	2	3	300	1	3
4	200	100	300	350	1	3	2	–	1	3
5	200	100	300	350	2	3	2	–	1	3
6	200	100	300	350	3	3	2	200	1	3
7	150	200	250	300	1	4	5	–	3	4
8	150	200	250	300	2	4	5	–	3	4

Вариант	Z_1 , Ом	Z_2 , Ом	Z_3 , Ом	Z_4 , Ом	Элемент	l_{1-2} , км	l_{2-3} , км	R , Ом	Точка	Момент времени
9	150	200	250	300	3	4	5	150	3	4
10	200	150	250	200	1	2	6	–	3	4
11	200	150	250	200	2	2	6	–	3	4
12	200	150	250	200	3	2	6	200	3	4
13	100	220	350	300	1	2	2	–	2'	2
14	100	220	350	300	2	2	2	–	2	2
15	100	220	350	300	3	2	2	250	2'	4
16	250	80	300	400	1	4	2	–	1	4
17	250	80	300	400	2	4	2	–	1	4
18	250	80	300	400	3	4	2	200	2'	3
19	100	180	250	150	1	4	2	–	1	4
20	100	180	250	150	2	4	2	–	1	4
21	100	180	250	150	3	4	2	400	1	4
22	150	200	250	100	1	2	4	–	3	3
23	150	200	250	100	2	2	4	–	3	3
24	150	200	250	100	3	2	4	100	1	4
25	300	180	120	250	1	6	7	–	3	4

Указания к решению

При решении данной задачи допускается не учитывать искажение фронта волны при ее движении по линии. Напряжение в указанной точке получите волновым методом. Ответ обязательно должен быть обоснован.

ЗАДАЧА № 6

Определить кратность перенапряжений на шинах подстанции с номинальным напряжением $U_{ном}$ к которым подключено N линий электропередач по одной из которых на подстанцию приходи волна амплитудой U_0 . Исходные данные приведены в табл.5.

Таблица 5

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$U_{ном}$, кВ	35	35	35	35	35	110	110	110	110	110	220	220	220
U_0 , кВ	350	300	250	200	150	650	600	550	500	450	1150	1000	800
N	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	2	3	4

Вариант	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
$U_{\text{ном,кВ}}$	220	220	220	35	35	35	110	110	110	110	220	220	229
$U_0, \text{кВ}$	700	650	900	230	240	180	400	350	380	330	950	850	500
N	5	6	7	7	8	9	7	8	9	1	8	9	1

ЗАДАЧА № 7

На вводе трансформатора появился импульс атмосферного перенапряжения с прямоугольным фронтом и постоянной амплитудой U_0 . Рассчитайте и постройте кривую начальных напряжения, а также огибающую максимальных напряжений вдоль обмотки трансформатора (в координатах напряжение – номер звена). Для заданной точки обмотки качественно постройте кривую изменения напряжения во время переходного процесса. Исходные данные приведены в табл. 6.

Таблица 6

Вариант	N	$N1$	$C_0, \text{пФ}$	$K_0, \text{пФ}$	РН
1	12	10	100	250	3
2	14	8	100	400	И
3	16	14	100	600	3
4	18	15	100	700	И
5	20	6	100	800	3
6	12	12	200	800	И
7	14	5	200	1000	3
8	16	14	200	1200	И
9	18	16	200	1400	3
10	20	4	200	1600	И
11	12	10	300	1200	3
12	14	6	300	1400	И
13	16	10	300	1600	3
14	18	17	300	1800	И
15	20	16	300	2000	3
16	12	7	400	1400	И
17	14	7	400	1800	3
18	16	16	400	2200	И
19	18	4	400	2600	3
20	20	10	400	3000	И
21	12	5	500	2400	3
22	14	4	500	2600	И
23	16	8	500	2800	3
24	18	10	500	3000	И
25	20	15	500	3200	3

В табл.6: N – число звеньев обмотки; $N1$ – номер звена, для которого

необходимо построить временную зависимость; K_0 – емкость между звеньями обмотки; C_0 – емкость одного звена обмотки относительно земли; РН – режим нейтрали трансформатора (З – заземлена, И – изолирована).

Указания к решению

Первоначально составьте полную схему замещения обмотки трансформатора. Затем приведите схему, рассчитайте и постройте кривую распределения напряжений вдоль обмотки для начального момента времени. Составьте схему замещения для установившегося режима и постройте кривую распределения напряжения в этом режиме. Зависимость максимальных напряжений получите расчетным путем. Все три зависимости постройте в одной системе координат.

При построении кривой изменения напряжения от времени допускается период свободных колебаний и постоянную времени затухания свободной составляющей принять произвольными.

ЗАДАЧА № 8

В результате удара молнии в воздушную линию электропередач в начале грозозащитного подхода к подстанции возник импульс перенапряжения с прямоугольным фронтом и постоянной амплитудой U_0 . Постройте зависимость напряжения во времени в начале подхода (точка 1), на шинах подстанции (точка 2) и на ОПН (точка 3). Определите наибольшее напряжение на ОПН и на шинах подстанции. Укажите, как зависят эти величины от длины грозозащитного подхода. Исходные данные для решения приведены в табл. 7.

Указания к решению

Крутизну импульса фронта молнии на шинах подстанции определите с учетом деформации фронта волны за счет действия импульсной короны.

Допускается не учитывать искажение фронта волны при ее прохождении по ошиновке от точки 2 до точки 3 и обратно.

При построении напряжения на ОПН используйте графический метод.

Напряжение на шинах подстанции получите путем суммирования прямой и обратной волн.

Наибольшие значения напряжений в точках 2 и 3 можно определить графически.

Волновые сопротивления линии и ошиновки примите равными 400 Ом.

В табл. 7: h – высота подвеса провода.

Таблица 7

Вариант	U_0 , кВ	h , м	ℓ_{1-2} , км	ℓ_{2-3} , м	ОПН
1	350	5	1,0	4,0	У-35/38,5
2	350	6	1,1	4,5	У-35/40,5
3	350	7	1,2	5,0	У-35/42
4	350	5	1,3	5,5	У-35/38,5
5	350	6	1,4	6,0	У-35/40,5
6	350	7	1,5	6,5	У-35/42
7	350	5	1,8	7,0	У-35/38,5
8	350	6	1,7	7,5	У-35/40,5
9	350	7	1,8	8,0	У-35/42
10	650	6	1,3	10,0	У-110/73
11	650	7	1,4	10,5	У-110/77
12	650	8	1,5	11,0	У-110/84
13	650	9	1,6	11,5	У-110/73
14	650	6	1,7	12,0	У-110/77
15	650	7	1,8	12,5	У-110/73
16	650	8	1,9	13,0	У-110/73
17	650	9	2,0	13,5	У-110/77
18	1150	12	1,5	16,0	У-220/146
19	1150	13	1,6	17,0	У-220/154
20	1150	14	1,7	18,0	У-220/168
21	1150	15	1,8	19,0	У-220/146
22	1150	12	1,9	20,0	У-220/154
23	1150	13	2,0	22,0	У-220/168
24	1150	14	2,1	24,0	У-220/146
25	1150	15	2,2	25,0	У-220/154

ЗАДАЧА № 9

Получите и постройте зависимость напряжения от времени на контактах выключателя при отключении им КЗ на выводах. Постройте эпюру распределения максимальных значений напряжений вдоль линии электропередач. Объясните, как влияет установка продольной компенсации (УПК) реактивной мощности на величину максимальных напряжений при ее включении в конце линии. Схема сети приведена на рис. 2, исходные данные для решения в табл. 8.

Указания к решению

Закон изменения напряжения на выключателе необходимо получить аналитически, составив и решив систему уравнений, при этом кабельную линию учтите в схеме замещения индуктивным и активным сопротивлениями, а также емкостью, включенной в конце линии. При ответе на вопрос о влиянии УПК на величину перенапряжения приведите поясняющий рисунок.

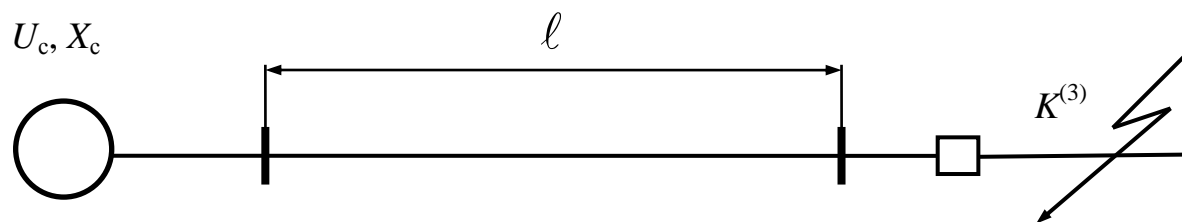


Рис. 2

Таблица 8

Вариант	U_c , кВ	X_c , Ом	l , км	Кабель	
				Марка	Сечение, мм ²
1	6	1	1	ААШВ	25
2	10	2	1,5	ААШВ	16
3	35	3	2	ААБ	120
4	6	4	1	ААБ	70
5	10	5	2	ААБ	50
6	35	1	3	СБ	120
7	6	2	2	СБ	50
8	10	3	2	СБ	35
9	35	4	3	ААШВ	150
10	6	5	2	АСГ	120
11	10	1	2	АСГ	95
12	35	2	3	АСБ	150
13	6	3	2	ААШВ	35
14	10	4	3	ААШВ	25
15	35	5	3	ААБ	120
16	6	1	3	ААБ	95
17	10	2	2,5	ААБ	70
18	35	3	3,5	СБ	120
19	6	4	3,5	СБ	35
20	10	5	3	СБ	25
21	35	1	3,5	АСБ	150
22	6	2	2,5	ААБ	185
23	10	3	3,5	АСБ	120
24	35	4	4	СБ	150
25	6	5	3,5	ААШВ	50

ЗАДАЧА № 10

Определите наибольшее напряжение, возникающее на трансформаторе при отключении его на холостом ходу выключателем, имеющем ток среза I_0 .

Сравните полученное значение с максимально возможным. Постройте (можно качественно) зависимость изменения напряжения на трансформаторе от времени при отсутствии пробоев межконтактного промежутка выключателя. Укажите и объясните причины, приводящие к снижению перенапряжений. Качественно постройте кривые изменения напряжения и тока при повторных пробоях межконтактного промежутка выключателя. Исходные данные для решения приведены в табл. 9.

Таблица 9

Вариант	Параметры трансформатора				
	$S_{н}$, МВА	$U_{н}$, кВ	C , пФ	$I_{хх}$, %	$I_{о}$, А
1	80	220	8000	1	2
2	63	220	6000	1,2	2
3	40	220	4000	1,5	2
4	25	220	2000	2	1
5	16	110	1200	2	1,5
6	10	110	1000	3	1,5
7	80	110	4000	1	4
8	63	110	3000	1,2	3
9	40	110	2000	1,5	4
10	25	35	800	2	10
11	16	35	600	1	2
12	10	35	400	2,2	4
13	80	220	8000	1,1	1,5
14	63	220	6000	1,3	1,5
15	40	220	4000	1,4	1,5
16	25	220	2000	1,9	0,8
17	16	110	1200	2,5	3
18	10	110	1000	2,7	2
19	80	110	4000	0,8	4
20	63	110	3000	1	4
21	40	110	2000	1,2	3
22	25	35	800	1,5	8
23	16	35	600	1,3	6
24	10	35	400	1,1	2
25	80	220	8000	1,2	1,7

Указания к решению

При решении задачи примите, что при отключении ненагруженного трансформатора выключателем произошел обрыв дуги до естественного перехода

тока через ноль.

Под током среза следует понимать мгновенное значение тока намагничивания в момент обрыва дуги. Электромагнитная энергия, запасенная в значительной по величине индуктивности намагничивания трансформатора, переходит в незначительную по величине емкость обмотки относительно заземленных частей, что приводит к возникновению перенапряжений.

Максимальные значения перенапряжений возможны при токе среза равном амплитуде тока намагничивания.

Кривую изменения напряжения на трансформаторе постройте от моментов времени предшествующих отключению выключателя до завершения процесса отключения. При этом постоянную времени затухания колебаний напряжения и тока можно принять произвольной.

ЗАДАЧА № 11

Определите максимально возможные перенапряжения, возникающие при отключении конденсаторной батареи, при заданном числе N пробоев межконтактного промежутка в выключателе. Постройте кривую изменения напряжения на батарее. Определите частоту изменения свободной составляющей переходного процесса. При решении задачи учтите только индуктивность трансформатора и емкость батареи конденсаторов. Укажите и объясните причины, приводящие к снижению величин перенапряжений. Схема сети приведена на рис.3, исходные данные возьмите в табл. 10.

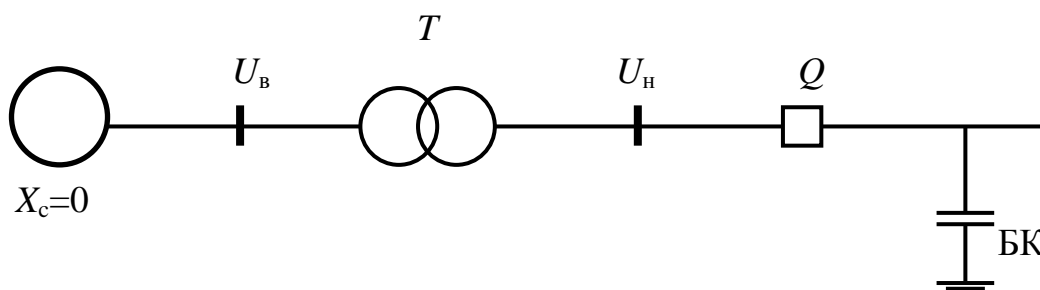


Рис. 3

Указания к решению

При решении задачи определите максимальные перенапряжения в схеме без потерь при возникновении пробоев межконтактного промежутка выключателя в моменты максимумов напряжения на его контактах и при погасании дуги при первом переходе тока через ноль.

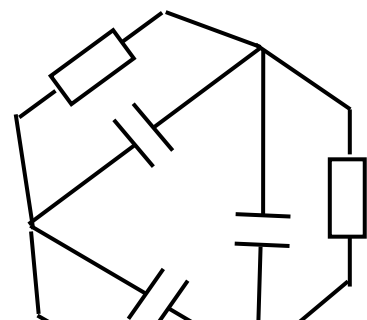
Таблица 10

Вариант	Трансформатор	Линия		БК	N	U_{0*}	Ψ градусов
		Сечение, мм ²	Длина, км	Q , КВАр			

1	ТМ – 6,3 – 35/10,5	35	2	300	2	1	30
2	ТДН – 10 – 115/11	70	15	500	3	1/2	40
3	ТМН – 6,3 – 35/6,3	50	7	400	2	1/3	50
4	ТДН – 6,3 – 115/11	120	18	1000	3	1/4	60
5	ТД – 16 – 35/10,5	70	12	200	2	1	70
6	ТДН – 16 – 115/11	95	14	250	3	1/2	80
7	ТД – 40 – 121/10,5	120	22	700	2	1/3	100
8	ТД – 32 – 121/6,3	70	16	150	3	1/4	110
9	ТД – 10 – 35/6,3	35	5	100	2	1	120
10	ТДН – 25 – 115/11	95	30	400	3	1/2	130
11	ТМ – 4 – 35/10,5	35	7	200	2	1/3	150
12	ТДН – 10 – 115/6,6	70	15	500	3	1/4	30
13	ТДН – 6,3 – 115/11	70	11	350	2	1	40
14	ТД – 16 – 35/6,3	50	4	300	3	1/2	50
15	ТДН – 16 – 110/11	95	19	600	2	1/3	60
16	ТД – 25 – 121/6,3	120	28	900	3	1/4	70
17	ТДЦ – 80 – 121/10,5	150	42	1200	2	1	80
18	ТД – 25 – 121/10,5	120	21	1000	3	1/2	100
19	ТДН – 10 – 115/6,6	95	16	800	2	1/3	110
20	ТД – 16 – 35/10,5	50	10	700	3	1/4	120
21	ТДЦ – 25 – 121/10,5	240	55	3000	2	1	130
22	ТДН – 10 – 115/6,6	95	13	450	3	1/2	150
23	ТДН – 10 – 115/11	70	10	300	2	1/3	30
24	ТДН – 16 – 115/6,6	120	18	600	3	1/4	40
25	ТМ – 1 – 35/11	70	2	100	2	1	50

ЗАДАЧА № 12

Определить максимальную величину перенапряжений, возникающих при отключении заданного выключателя при условии, что выключатель допускает два повторных пробоя межконтактного промежутка, причем такие пробои происходят при максимуме напряжения между контактами, а погасание дуги после пробоя происходит при первом переходе кривой тока в выключателе через ноль. Построить кривую изменения напряжения на батарее. При решении задачи учесть индуктивности и активные сопротивления линии и трансформатора, емкости батарей конденсаторов и наличие у конденсаторов разрядного сопротивления. Схема сети приведена на рис. 4. Исходные данные для трансформатора и линии возьмите из табл. 10, а остальные из табл. 11.



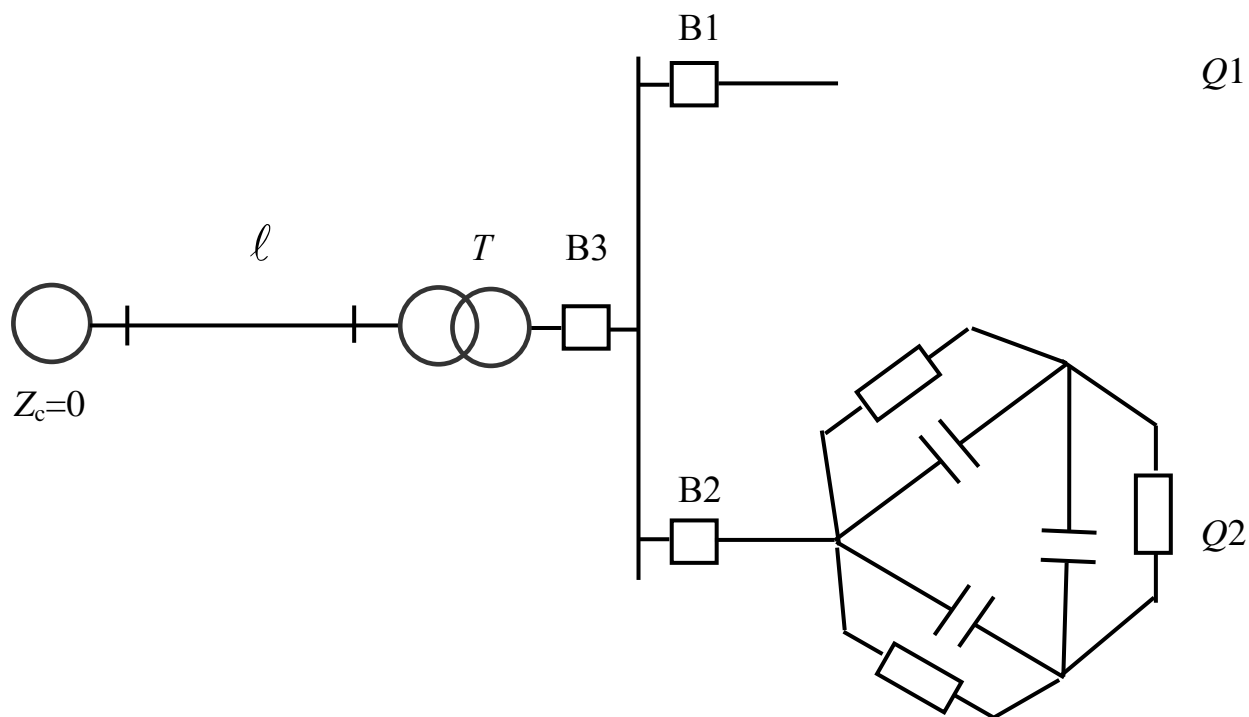


Рис. 4

Таблица 11

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Выключатель	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1
$Q1$, кВАр	200	500	400	300	600	700	900	800	500	900	100	400	300
$Q2$, кВАр	400	200	100	300	300	900	500	400	200	400	400	800	100
Время разряда батарей, с	3	4	5	6	5	4	3	6	3	4	5	6	5

Окончание табл. 11

Вариант	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Выключатель	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2	B1	B2
$Q1$, кВАр	600	800	1000	2000	900	700	900	800	500	500	400	300
$Q2$, кВАр	1000	1500	500	1000	400	600	600	700	800	600	200	100
Время разряда батарей, с	4	3	2	2	3	4	5	6	5	4	4	3

ЗАДАЧА № 13

Определите закон изменения напряжения на фазе ненагруженной линии l , выполненной сталеалюминиевым проводом, при включении ее выключателем Q при заданном угле включения Ψ и при условии, что на рассматриваемой фазе

линии до ее включения было напряжение U_0 (рис. 5, табл. 10). Постройте кривую изменения напряжения на этой фазе (до и после включения). Сравните полученную наибольшую величину перенапряжения с максимально возможной.

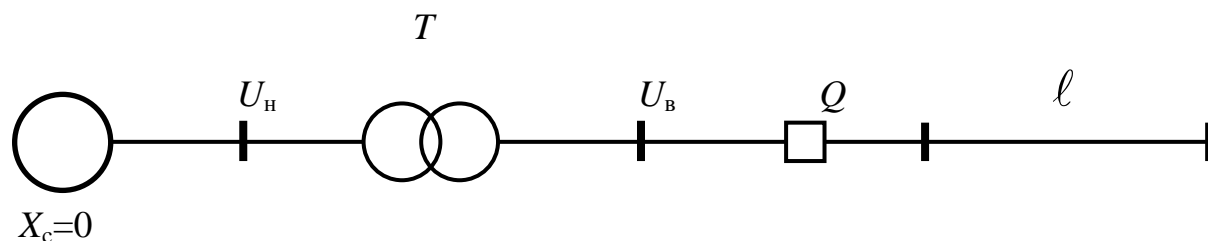


Рис. 5

Указания к решению

Для определения закона изменения напряжения нарисуйте схему замещения, составьте и решите систему уравнений. Линию в схему замещения введите индуктивным и активным сопротивлениями и сосредоточенной емкостью, в конце линии.

Постройте кривые и определите величины перенапряжений для двух случаев: $+U_0$ и $-U_0$.

В табл. 10: U_{0*} – отношение величины U_0 к амплитудному значению величины фазного напряжения.

ЗАДАЧА № 14

В сети промышленного предприятия, выполненной кабелями ААШв (Рис. 6) произошло однофазное замыкание на землю. В месте замыкания горит перемежающаяся дуга. Определите частоту изменения свободной составляющей напряжения в переходном процессе. Постройте кривые изменения напряжения во всех фазах (пол периода до и один период после первого зажигания дуги) при условии зажигания дуги в моменты максимума напряжения на поврежденной фазе и ее погасания при первом переходе тока через ноль. Определите максимально возможное значение напряжения в установившемся режиме. Укажите и объясните причины, приводящие к снижению перенапряжений. Исходные данные для трансформатора возьмите из табл. 10, остальные из табл. 12.

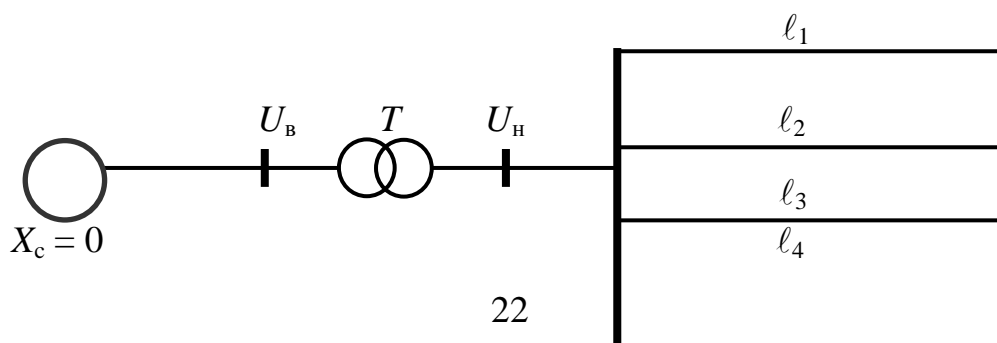


Рис. 6

Таблица 12

Вариант	ОЗЗ в Фазе	ℓ_1		ℓ_2		ℓ_3		ℓ_4	
		Сечение, мм ²	Длина, км	Сечение, мм ²	Длина, км	Сечение, мм ²	Длина, км	Сечение, мм ²	Длина, км
1	А	16	0,5	50	1,6	120	1	240	1,8
2	В	25	0,7	70	1,8	150	1,2	16	2
3	С	35	1	95	2	185	1,4	25	0,5
4	А	50	1,2	120	0,5	240	1,6	35	0,7
5	В	70	1,4	150	0,7	16	1,8	50	1
6	С	95	1,6	185	1	25	2	70	1,2
7	А	120	1,8	240	1,2	35	0,5	95	1,4
8	В	150	2	16	1,4	50	0,7	120	1,6
9	С	185	0,5	25	1,6	70	1	150	1,8
10	А	240	0,7	35	1,8	95	1,2	185	2
11	В	16	1	50	2	120	1,4	240	0,5
12	С	25	1,2	70	0,5	150	1,6	16	0,7
13	А	35	1,4	95	0,7	185	1,8	25	1
14	В	50	1,6	120	1	240	2	35	1,2
15	С	70	1,8	150	1,2	16	0,5	50	1,4
16	А	95	2	185	1,4	25	0,7	70	1,6
17	В	120	0,5	240	1,6	35	1	95	1,8
18	С	150	0,7	16	1,8	50	1,2	120	2
19	А	185	1	25	2	70	1,4	150	0,5
20	В	240	1,2	35	0,5	95	1,6	185	0,7
21	С	16	1,4	50	0,7	120	1,8	240	1
22	А	25	1,6	70	1	150	2	16	1,2
23	В	35	1,8	95	1,2	185	0,5	25	1,4
24	С	50	2	120	1,4	240	0,7	35	1,6
25	А	70	0,5	150	1,6	16	1	50	1,8

Указания к решению

С целью упрощения решения, при составлении схемы замещения допускается пренебречь потерями в схеме и учесть только индуктивность трансформатора и емкости кабельных линий относительно земли.

Возможно, что частота свободных колебаний значительно превысит синхронную, в этом случае при построении кривых можно изменить масштаб времени на тех интервалах, на которых рассматриваются такие колебания (увеличить период в целое число раз), о чем следует сообщить в задании.

При построении постоянные времени затухания свободных составляющих допускается принять произвольными.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Базуткин, В.В. Техника высоких напряжений / В.В. Базуткин, В.П. Ларионов, Ю.С. Пинталь – М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Техника высоких напряжений / под ред. Д.В. Разевига. – М.: Энергия, 1976.
3. Техника высоких напряжений / под ред. В.П. Ларионова. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
4. Техника высоких напряжений / под ред. М.В. Костенко. – М.: Высшая школа, 1973.

5. Степанчук, К.Ф. Техника высоких напряжений / К.Ф. Степанчук, Н.А. Тиняков – Минск: Высшая школа, 1982.
6. Зархи И.М. Внутренние перенапряжения в сетях 6 – 35 кВ / И.М. Зархи, В.Н. Мешков, Ф.Х. Халилов. – Л.: Наука, 1986.
7. Перенапряжения в сетях 6 – 35 кВ / Ф.А. Гиндуллин, В.Г. Гольдштейн, А.А. Дульзон, Ф.Х. Халилов. – М.: Энергоатомиздат, 1989.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ.....	3
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	6
КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ИХ ВЫПОЛНЕНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ.....	10
ЗАДАЧА №1.....	10
ЗАДАЧА №2.....	10
ЗАДАЧА №3.....	11
ЗАДАЧА №4.....	11

ЗАДАЧА №5.....	12
ЗАДАЧА №6.....	13
ЗАДАЧА №7.....	14
ЗАДАЧА №8.....	15
ЗАДАЧА №9.....	16
ЗАДАЧА №10.....	18
ЗАДАЧА №11.....	19
ЗАДАЧА №12.....	20
ЗАДАЧА №13.....	22
ЗАДАЧА №14.....	23
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	25