



Министерство образования  
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

---

Кафедра «Электрические системы»

В.Т. Федин  
Г.А. Фадеева  
А.А. Волков

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ  
И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ.  
ЗАДАЧИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ**

*Учебно-методическое пособие  
для практических занятий*

Минск  
БНТУ  
2012

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Электрические системы»

В.Т. Федин  
Г.А. Фадеева  
А.А. Волков

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ  
И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ.  
ЗАДАЧИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ

Учебно-методическое пособие  
для практических занятий

*Под редакцией профессора В.Т. Федина*

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
высших учебных заведений Республики Беларусь  
по образованию в области энергетики  
и энергетического строительства*

Минск  
БНТУ  
2012

УДК 621.311(075.8)

ББК 31.279я7

Ф 32

Рецензенты:

доц. кафедры «Электрические станции» БНТУ, канд. техн. наук,

доц. *В.А. Булат*;

ст. препод. кафедры «Электроснабжение» БНТУ

*И.В. Колосова*

Ф 32 **Федин, В.Т.**

Электрические сети и электроэнергетические системы. Задачи для решения: учебно-методическое пособие для практических занятий / В.Т. Федин, Г.А. Фадеева, А.А. Волков; под ред. В.Т. Федина. – Минск: БНТУ, 2012. – 168 с.

ISBN 978-985-525-608-4.

В учебно-методическом пособии приведены основные расчетные выражения для решения задач, составлены задачи для индивидуального решения по различным разделам дисциплин, даны необходимые справочные материалы.

Пособие предназначено для студентов очного и заочного обучения специальностей 1-43 01 01 «Электрические станции», 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети», 1-43 01 03 «Электроснабжение» 1-53 01 04 «Автоматизация и управление энергетическими процессами», 1-08 01 01 «Профессиональное обучение» (специализация «Энергетика»). Может быть использовано студентами специальности 1-27 01 01 «Экономика и организация производства», а также инженерами, чья деятельность связана с электроэнергетическими системами и сетями.

УДК 621.311(075.8)

ББК 31.279я7

ISBN 978-985-525-608-4

© Федин В.Т., Фадеева Г.А.,  
Волков А.А., 2012

© БНТУ, 2012

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
1. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ВЫРАЖЕНИЯ.....	6
2. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ В ФОРМУЛАХ.....	21
3. ЗАДАЧИ ПО ТЕМАМ.....	24
3.1. ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ.....	24
3.2. ПОТЕРИ МОЩНОСТИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ.....	41
3.3. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РАЗОМКНУТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ.....	49
3.4. РАСЧЕТ И АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ПРОТЯЖЕННЫХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ.....	76
3.5. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА РЕЖИМОВ ЗАМКНУТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ.....	79
3.6. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ.....	89
3.7. РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ И АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ.....	112
3.8. РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ.....	114
3.9. ОСНОВЫ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	126
4. ОБОБЩЕННЫЕ И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОМПЕТЕНТНОСТИ.....	134
ЛИТЕРАТУРА.....	153
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	154

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В пособии приведены основные расчетные выражения, предназначенные для решения задач, включенных в данное издание. В эмпирических формулах указаны единицы измерения, в которых следует подставлять ту или иную величину. В аналитических выражениях такие единицы измерения не даны, поэтому нужно обращать внимание на необходимость правильного определения единиц измерения, в которых соответствующие величины следует подставлять в формулы, в противном случае могут получаться искаженные ответы, не соответствующие физическому смыслу выражений.

В пособие включены задачи по темам программ дисциплин «Электрические сети», «Электроэнергетические системы», «Конструкции и режимы электрических сетей», «Передача и распределение электрической энергии».

По сравнению с предыдущими изданиями (Сыч Н.М., Фадеева Г.А., Федин В.Т. Практические занятия по электрическим сетям. Минск: БГПА, 1996 и Федин В.Т., Фадеева Г.А., Волков А.А. Электрические системы и сети. Терминология и задачи для решения. Минск: БНТУ, 2004) задачи существенно переработаны и дополнены с учетом изменений в рабочих программах по дисциплинам, опыта проведения занятий и требований образовательного стандарта по специальности. Приведенные задачи могут быть использованы для аудиторных и домашних занятий студентами очного обучения, а также в качестве контрольных работ и аудиторных занятий для студентов-заочников.

Предполагается самостоятельное решение студентом задач по индивидуальному варианту. В задаче исходные данные формируются из двух таблиц, каждая из которых содержит несколько вариантов. Студент формирует исходные данные к любой задаче, получив у преподавателя однажды свой индивидуальный номер варианта из первой по счету таблицы и индивидуальный номер варианта из второй таблицы.

Обращаем внимание на то, что в пособии принята форма обозначения комплекса полной мощности  $\underline{S} = \sqrt{3}\underline{UI}^* = P + jQ$ .

Положительный знак перед реактивной мощностью означает, что направления активной и реактивной мощности совпадают.

Задачи 47–51, 61, 100, 102 связаны с вычислением ряда экономических показателей. При этом в качестве исходных данных приняты значения из [2, 8], соответствующие уровню 2005–2010 г.г. В условиях возможной нестабильности цен в последующие годы значения исходных экономических показателей в этих задачах могут быть соответственно скорректированы преподавателем.

В приложениях приведены необходимые при решении задач справочные материалы о параметрах линий и трансформаторов.

Обширный набор задач, позволяет преподавателю выбирать задания в соответствии с рабочей программой дисциплины и методикой преподавания, создает большие возможности для организации самостоятельной работы студентов, в том числе по траекториям различной трудоемкости.

В пособие включен раздел, содержащий обобщенные и междисциплинарные задачи, решение которых позволяет оценивать уровень компетентности студентов. Эти задачи могут быть использованы как при текущей работе студентов в семестре, так и в качестве контрольных заданий при рубежной и итоговой (на экзаменах по соответствующим дисциплинам) оценке знаний и умений.

## 1. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ВЫРАЖЕНИЯ

1. Удельное активное сопротивление проводника фазы линии в зависимости от температуры окружающей среды  $\Theta$

$$r_{\Theta} = r_0(1 + 0,004(\Theta - 20)),$$

где  $r_0$  – в Ом/км,  $\Theta$  – в град.

2. Удельное активное сопротивление фазы линии соответственно при нерасщепленной и расщепленной фазе воздушной линии

$$r_0 = \frac{\rho}{F} = \frac{1}{\gamma \cdot F} ; \quad r_0' = \frac{r_0}{N}, \text{ Ом/км.}$$

3. Удельное реактивное сопротивление фазы линии

$$\begin{aligned} x_0 = x_0 + x_0 &= \left( 2\pi f \cdot 4,61g \frac{D_{cp}}{r_{np}} + 2\pi f \cdot 0,5\mu \right) 10^{-4} = \\ &= 0,144 \lg \frac{D_{cp}}{r_{np}} + 0,0157, \text{ Ом/км,} \end{aligned}$$

где  $r_{np}$  и  $D_{cp}$  – в см.

4. Удельное индуктивное сопротивление при расщепленной фазе воздушной линии

$$x_0 = 0,144 \lg \frac{D_{cp}}{R_{\text{ЭК}}} + \frac{0,0157}{N}, \text{ Ом/км.}$$

5. Среднегеометрическое расстояние между фазами

$$D_{cp} = \sqrt[3]{D_{AB}D_{BC}D_{CA}}.$$

6. Потери мощности на корону

$$\Delta P_k = \Delta P_{k0} L.$$

7. Критическое напряжение возникновения короны

$$U_k = 84,6 m_0 m_{\text{п}} \delta r_{\text{пр}} \lg \frac{D_{\text{ср}}}{r_{\text{пр}}}, \text{ кВ},$$

где  $r_{\text{пр}}$  и  $D_{\text{ср}}$  – в см.

8. Удельная активная проводимость линии

$$g_0 = \frac{\Delta P_{k0}}{U^2}, \text{ См/км.}$$

9. Рабочая емкость трехфазной воздушной линии

$$c_0 = \frac{0,024 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{D_{\text{ср}}}{r_{\text{пр}}}}, \text{ Ф/км},$$

где  $r_{\text{пр}}$  и  $D_{\text{ср}}$  – в см.

10. Рабочая емкость трехфазной воздушной линии при расщепленной фазе

$$c_0 = \frac{0,024 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{D_{\text{ср}}}{R_{\text{ЭК}}}}, \text{ Ф/км},$$

11. Удельная реактивная проводимость линии

$$b_0 = \omega \cdot c_0 = 2\pi f \cdot c_0 = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg \frac{D_{\text{ср}}}{r_{\text{пр}}}}, \text{ См/км.}$$



12. Зарядная мощность линии

$$Q_b = U^2 b_0 L.$$

13. Эквивалентный радиус расщепленной фазы

$$R_{\text{эк}} = \sqrt[N]{r_{\text{пр}} a_{\text{ср}}^{N-1}}.$$

14. Радиус многопроволочных проводов

$$r_{\text{пр}} = (1,15 - 1,2) \sqrt{\frac{F + F_{\text{ст}}}{\pi}}.$$

15. Эквивалентный радиус расщепленной фазы при расположении проводов по окружности

$$R_{\text{эк}} = r_p \cdot N \sqrt{\frac{N \cdot r_{\text{пр}}}{r_p}}.$$

16. Активное сопротивление двухобмоточного трансформатора

$$R_T = \frac{\Delta P_K U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}^2}.$$

17. Реактивное сопротивление двухобмоточного трансформатора

$$X_T = \frac{U_K \%}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ}}}.$$

18. Потери короткого замыкания лучей схемы замещения трехобмоточного трансформатора

$$\Delta P_{\text{KB}} = 0,5(\Delta P_{\text{KBH}} + \Delta P_{\text{KBC}} - \Delta P_{\text{KCH}});$$

$$\Delta P_{\text{KC}} = 0,5(\Delta P_{\text{KBC}} + \Delta P_{\text{KCH}} - \Delta P_{\text{KBH}});$$

$$\Delta P_{\text{KH}} = 0,5(\Delta P_{\text{KBH}} + \Delta P_{\text{KCH}} - \Delta P_{\text{KBC}}).$$

19. Напряжение короткого замыкания лучей схемы замещения трехобмоточного трансформатора

$$U_{кВ} \% = 0,5(U_{кВН} + U_{кВС} - U_{кСН});$$

$$U_{кС} \% = 0,5(U_{кВС} + U_{кСН} - U_{кВН});$$

$$U_{кН} \% = 0,5(U_{кВН} + U_{кСН} - U_{кВС}).$$

20. Активная проводимость трансформатора

$$G_T = \frac{\Delta P_X}{U_{НОМ}^2}.$$

21. Потери реактивной мощности холостого хода в трансформаторе

$$\Delta Q_X = \frac{I_X \% \cdot S_{НОМ}}{100}.$$

22. Реактивная проводимость трансформатора

$$B_T = \frac{\Delta Q_X}{U_{НОМ}^2}.$$

23. Коэффициент выгоды автотрансформатора

$$\alpha = \frac{S_{ТИП}}{S_{НОМ}} = 1 - \frac{U_{СНОМ}}{U_{ВНОМ}}.$$

24. Нагрузочные потери активной мощности

$$\Delta P_n = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = 3I^2 R.$$

25. Нагрузочные потери реактивной мощности

$$\Delta Q_{\text{н}} = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} X = 3I^2 X.$$

26. Падение напряжения

$$\Delta \underline{U} = \Delta U + j\delta U = \frac{PR + QX}{U} + j \frac{PX - QR}{U}.$$

27. Нагрузочные потери активной мощности в трансформаторе

$$\Delta P_{\text{нт}} = \Delta P_{\text{к}} \left( \frac{S}{S_{\text{ном}}} \right)^2.$$

28. Нагрузочные потери реактивной мощности в трансформаторе

$$\Delta Q_{\text{нт}} = \frac{U_{\text{к}} \%}{100} \frac{S^2}{S_{\text{ном}}}.$$

29. Время использования наибольшей полной мощности

$$T_{\text{нб}} = \frac{\sum S_j \Delta t_j}{S_{\text{нб}}}.$$

30. Время использования наибольшей активной мощности

$$T_{\text{нб}а} = \frac{\sum P_j \Delta t_j}{P_{\text{нб}}}.$$

31. Средневзвешенное время использования наибольшей нагрузки

$$T_{\text{ср.взв}} = \frac{\sum P_{\text{нб}} T_{\text{нб}}}{k_0 \sum P_{\text{нб}}}.$$

32. Потери электроэнергии холостого хода

$$\Delta W_x = \Delta P_x \cdot 8760.$$

33. Нагрузочные потери электроэнергии по методу графического интегрирования

$$\Delta W = \sum \Delta P_j \cdot \Delta t_j.$$

34. Нагрузочные потери электроэнергии по методу среднеквадратичной мощности

$$\Delta W^{cp.kb} = \frac{S_{cp.kb}^2}{U_{ном}^2} R \cdot 8760.$$

35. Среднеквадратичная мощность:

$$1) S_{cp.kb} = \sqrt{\frac{\int S^2(t) dt}{8760}} \approx \sqrt{\frac{\sum S_j^2 \Delta t_j}{8760}};$$

$$2) S_{cp.kb} = S_{нб}(0,12 + T_{нб} 10^{-4}).$$

36. Потери электроэнергии по методу времени наибольших потерь

$$\Delta W = \frac{S_{нб}^2}{U^2} R \tau.$$

37. Время наибольших потерь:

$$1) \tau = \frac{\int_0^T S^2(t) dt}{S_{нб}^2} \approx \frac{\sum S_j^2 \Delta t_j}{S_{нб}^2};$$

$$2) \tau = (0,124 + T_{нб} 10^{-4})^2 8760.$$

38. Нагрузочные потери электроэнергии по методу средних нагрузок

$$\Delta W = \Delta P_{\text{cp}} T \cdot k_{\phi}^2;$$

для периода, равного году

$$k_{\phi} = \frac{1090}{T_{\text{нб}}} + 0,876.$$

39. Энергия

$$W = P_{\text{нб}} T_{\text{нб а}}.$$

40. Волновое сопротивление линии

$$\underline{Z}_B = \sqrt{\frac{r_0 + jx_0}{g_0 + jb_0}} = Z_B e^{-j\xi_B}.$$

41. Постоянная распространения электромагнитной волны

$$\underline{\gamma} = \sqrt{(r_0 + jx_0)(g_0 + jb_0)} = \beta_0 + j\alpha_0.$$

42. Волновая длина линии

$$\lambda_B = \alpha \cdot L.$$

43. Скорость распространения электромагнитной волны

$$v = \frac{\omega}{\alpha}.$$

44. Натуральная мощность линии электропередачи

$$S_{\text{нат}} = \frac{U^2}{\underline{Z}_B^*}.$$

45. Естественная мощность линии электропередачи без потерь

$$P_{\text{НАТ}} = \frac{U^2}{Z_B}$$

46. Поправочные коэффициенты для расчета параметров схем замещения длинных линий

$$1) k_R = 1 - \frac{1}{3} x_0 b_0 L^2;$$

$$2) k_X = 1 - \frac{1}{6} x_0 b_0 \left(1 - \frac{r_0^2}{x_0^2}\right) L^2;$$

$$3) k_b = 1 - \frac{1}{12} x_0 b_0 L^2.$$

47. Основные уравнения линии без потерь

$$1) \underline{U}_x = \underline{U}_2 \cos(\alpha l_x) + j\sqrt{3} \underline{I}_2 Z_B \sin(\alpha l_x);$$

$$2) \underline{I}_x = \underline{I}_2 \cos(\alpha l_x) + j \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3} Z_B} \sin(\alpha l_x).$$

48. Уравнения линии при ее представлении симметричным пассивным четырехполюсником

$$1) \underline{U}_1 = \underline{A} \underline{U}_2 + \sqrt{3} \underline{B} \underline{I}_2;$$

$$2) \underline{I}_1 = \underline{C} \frac{\underline{U}_2}{\sqrt{3}} + \underline{D} \underline{I}_2,$$

где для линии без потерь

$$\underline{A} = \underline{D} = \cos(\alpha L), \quad \underline{B} = j Z_B \sin(\alpha L), \quad \underline{C} = j \frac{\sin(\alpha L)}{Z_B}.$$

49. Уравнения линии, содержащие собственные и взаимные проводимости

$$1) \underline{U}_1 = -\underline{U}_2 \frac{\underline{Y}_{22}}{\underline{Y}_{21}} - \sqrt{3} I_2 \frac{1}{\underline{Y}_{21}};$$

$$2) I_1 = \frac{U_2}{\sqrt{3}} \left( \underline{Y}_{12} - \frac{\underline{Y}_{11} \underline{Y}_{22}}{\underline{Y}_{21}} \right) - I_2 \frac{\underline{Y}_{11}}{\underline{Y}_{21}},$$

где для линии без потерь

$$\underline{Y}_{12} = \underline{Y}_{21} = j \frac{1}{Z_B \sin(\alpha L)}, \quad \underline{Y}_{11} = \underline{Y}_{22} = -j \frac{1}{Z_B \operatorname{tg}(\alpha L)}.$$

50. Реактивные мощности по концам линии электропередачи без потерь в зависимости от передаваемой мощности

$$1) q_1 = \operatorname{ctg}(\alpha L) - \frac{U_2}{U_1} \sqrt{\frac{1}{\sin^2(\alpha L)} - p_2^2};$$

$$2) q_2 = -\operatorname{ctg}(\alpha L) + \frac{U_1}{U_2} \sqrt{\frac{1}{\sin^2(\alpha L)} - p_2^2}.$$

51. Напряжение в середине линии без потерь, работающей без перепада напряжений

$$\underline{U}_{\text{ср}^*} = \cos \frac{\alpha L}{2} + q_2 \sin \frac{\alpha L}{2} + j p_2 \sin \frac{\alpha L}{2}.$$

52. Мощность на головных участках в линии с двухсторонним питанием

$$\underline{S}_A = \frac{U_A - U_B}{Z_\Sigma} U_{\text{НОМ}} + \frac{\sum_{i=1}^n S_i Z_{iB}^*}{Z_\Sigma};$$

$$\underline{S}_B = \frac{U_B - U_A}{Z_\Sigma} U_{\text{НОМ}} + \frac{\sum_{i=1}^n S_i Z_{iA}^*}{Z_\Sigma}.$$

53. Мощность на головном участке в однородной линии с двух-сторонним питанием

$$\underline{S}_A = \frac{\sum_{i=1}^n \underline{S}_i L_{iB}}{L_\Sigma}; \quad \underline{S}_B = \frac{\sum_{i=1}^n \underline{S}_i L_{iA}}{L_\Sigma}.$$

54. Контурные уравнения

$$1) \sum_{ij=1}^n \sqrt{3} \underline{I}_{ij} \underline{Z}_{ij} = 0;$$

$$2) \sum_{ij=1}^n \underline{S}_{ij} \underline{Z}_{ij}^* = 0;$$

$$3) \sum_{ij=1}^n \underline{S}_{ij} \underline{Z}_{ij}^* = U_0^2 (1 - \prod_{i=1}^m \underline{n}_i); \quad \underline{S}_{yp} = \frac{U_0^2 (1 - \prod_{i=1}^m \underline{n}_i)}{Z_K^*};$$

$$4) \sum_{i=1}^n \underline{S}_i L_i = 0.$$

55. Уравнения узловых напряжений

$$\left. \begin{aligned} \underline{Y}_{1A} \underline{U}_A - \underline{Y}_{11} \underline{U}_1 + \underline{Y}_{12} \underline{U}_2 + \underline{Y}_{13} \underline{U}_3 &= \frac{\underline{S}_1^*}{\underline{U}_1}; \\ 0 + \underline{Y}_{21} \underline{U}_1 - \underline{Y}_{22} \underline{U}_2 + \underline{Y}_{23} \underline{U}_3 &= \frac{\underline{S}_2^*}{\underline{U}_2}; \\ \underline{Y}_{3A} \underline{U}_A + \underline{Y}_{31} \underline{U}_1 + \underline{Y}_{32} \underline{U}_2 - \underline{Y}_{33} \underline{U}_3 &= \frac{\underline{S}_3^*}{\underline{U}_3}. \end{aligned} \right\}; \underline{U}_i = \frac{\sum \underline{Y}_{ij} \underline{U}_j - \underline{S}_i^*}{\underline{Y}_{ii}}.$$

56. Капитальные затраты на подстанцию

$$K_n = K_T + K_{py} + K_{пост}.$$



57. Издержки (годовые эксплуатационные расходы)

$$И = p_{\text{лэп}} K_{\text{лэп}} + p_{\text{пс}} K_{\text{пс}} + \Delta W_x \beta_x + \Delta W \beta_n.$$

58. Себестоимость передачи электроэнергии

$$\beta_{\text{п}} = \frac{И}{W}.$$

59. Приведенные затраты

$$З = E_n K + И.$$

60. Приведенные затраты с учетом фактора времени

$$1) З_i = \sum_{t=1}^T \frac{И_{it} + K_{it}}{(1+E)^t};$$

$$2) З_i = \sum_{t=1}^T \frac{И_{it} + K_{it}}{(1+E)^t} - \frac{K_n}{(1+E)^t};$$

$$3) З_i = \sum_{t=1}^T (EK_{it} + \Delta I_{it})(1+E)^{T-t};$$

$$4) З_i = K_i + \sum_{t=2}^T \frac{И_{it}}{(1+E)^{t-1}}.$$

61. Стоимость передачи электроэнергии

$$C_{\text{п}} = \frac{З}{W}.$$

62. Срок окупаемости

$$1) T_{\text{ок}} = \frac{K}{I_1 - I_2}; \quad 3) T_{\text{ок}} = \frac{\sum_{t=1}^T (K_t + I_t)(1+E)^{-t}}{\sum_{t=1}^T R_t(1+E)^{-t}};$$
$$2) T_{\text{ок}} = \frac{K_1 - K_2}{I_2 - I_1}.$$

63. Экономичное номинальное напряжение линии

$$U_{\text{номЭ}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P}}}, \text{ кВ,}$$

где  $P$  – в МВт,  $L$  – в км.

64. Экономическая площадь сечения проводников фазы линии

$$F_3 = \frac{I_{\text{нб}}}{J_3}.$$

65. Ток

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}.$$

66. Расчетная площадь сечения линий, соответствующая допустимой потере напряжения:

1) при постоянном сечении вдоль линий

$$а) F_{расч} = \frac{\rho \sum_{i=1}^n P_i L_i}{\Delta U_{а.доп} U_{ном}} ; \quad б) F_{расч} = \frac{\sqrt{3} \cdot \sum_{i=1}^n I_i \cdot \cos \varphi_i \cdot L_i}{\gamma \cdot \Delta U_{а.доп}} .$$

2) при одинаковой плотности тока на всех участках линии

$$F_{ил} = \frac{I_{ил}}{J_{\Delta U}},$$

где  $J_{\Delta U} = \frac{\Delta U_{а.доп}}{\sqrt{3} \rho \sum_{i=1}^{n-1} L_{ил} \cos \varphi_{ил}} ;$

3) при минимальном расходе проводникового материала

$$а) F_{ил} = k_p \sqrt{P_{ил}}, \quad б) F_{ил} = k_I \sqrt{I_{ил} \cdot \cos \varphi_i},$$

где  $k_p = \frac{\rho \sum_{i=1}^n L_{ил} \sqrt{P_{ил}}}{\Delta U_{а.доп} U_{ном}}, \quad где \quad k_I = \frac{\sqrt{3} \cdot \sum_{i=1}^n L_{ил} \sqrt{I_{ил} \cdot \cos \varphi_i}}{\gamma \cdot \Delta U_{а.доп}} .$

67. Ущербы от вынужденных отключений и плановых простоев элементов сети

$$1) Y_B = k_B P_{нб} \varepsilon_B \alpha \cdot 8760 ;$$

$$2) Y_{\Pi} = k_{\Pi} P_{нб} \varepsilon_{\Pi} \beta \cdot 8760 .$$

68. Коэффициенты вынужденного и планового простоя элементов сети

$$1) k_B = \omega_B T_B ;$$

$$2) k_{\Pi} = \omega_{\Pi} T_{\Pi} .$$

69. Крутизна частотной характеристики регулирования  $n$  генераторов системы

$$k_{г.с} = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{i\text{ном}} k_{гi})}{P_{\text{сист}}}.$$

70. Крутизна совмещенной частотной характеристики системы

$$k_c = k_{г.с} + \frac{k_n}{k_p}.$$

71. Отклонение частоты в системе, возникающее в процессе первичного регулирования при появлении дефицита мощности  $\Delta P$

$$\Delta f = f_{\text{ном}} \frac{\Delta P}{(k_{г.с} k_p + k_n) P_n}.$$

72. Дефицит мощности в системе, вызвавший отклонение частоты  $\Delta f$  в процессе первичного регулирования

$$\Delta P = (k_{г.с} k_p + k_n) P_n \frac{\Delta f}{f_{\text{ном}}}.$$

73. Мощность компенсирующего устройства поперечной компенсации с учетом статических характеристик нагрузки, необходимая для изменения напряжения с  $U_2$  до  $U_{2ж}$ :

$$Q_k = \frac{(U_{2ж} - U_2) U_{2ж}}{X} + (P_{2ж} - P_2 \frac{U_{2ж}}{U_2}) \frac{R}{X} + (Q_{2ж} - Q_2 \frac{U_{2ж}}{U_2}).$$

74. Мощность компенсирующего устройства поперечной компенсации без учета статических характеристик нагрузки, необходимая для изменения напряжения с  $U_2$  до  $U_{2ж}$ :

$$Q_k = \frac{(U_{2ж} - U_2)U_{2ж}}{X} + \left(1 - \frac{U_{2ж}}{U_2}\right)\left(P_2 \frac{R}{X} + Q_2\right).$$

75. Среднее отклонение напряжения

$$\delta U_{cp} = \sum_{i=1}^n p_i \delta U_i .$$

76. Среднеквадратичное отклонение напряжения

$$\delta U_{cp} = \sqrt{\sum_{i=1}^n p_i \delta U_i^2 - \delta U_{cp}^2} .$$

## 2. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ В ФОРМУЛАХ

$P, Q, S$  – соответственно активная, реактивная и полная мощности;  
 $R, X$  – активное и реактивное сопротивление;  
 $I$  – ток;  
 $U$  – напряжение;  
 $U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение обмотки трансформатора, линии;  
 $r_0$  – удельное активное сопротивление линии при температуре окружающей среды  $+20\text{ }^\circ\text{C}$ ;  
 $L, \ell$  – длина линии;  
 $r_{\text{пр}}$  – радиус провода;  
 $x_0', x_0''$  – соответственно внешнее и внутреннее удельное реактивное сопротивление линии;  
 $x_0$  – удельное реактивное сопротивление линии;  
 $\mu$  – магнитная проницаемость материала провода;  
 $f$  – частота переменного тока, Гц;  
 $\omega$  – циклическая частота;  
 $D_{\text{AB}}, D_{\text{BC}}, D_{\text{CA}}$  – расстояние между проводами соответственно фаз  $A, B, C$ ;  
 $\epsilon_0$  – рабочая емкость;  
 $b_0$  – удельная реактивная проводимость линии;  
 $Q_b$  – зарядная мощность линии;  
 $\Delta P_{\text{к0}}$  – удельные среднегодовые потери мощности на корону;  
 $\Delta P_{\text{к}}$  – среднегодовые потери мощности на корону;  
потери короткого замыкания трансформатора;  
 $U_{\text{к}}$  – критическое напряжение короны;  
 $m_0$  – коэффициент гладкости (шероховатости) провода;  
 $m_{\text{п}}$  – коэффициент погоды;  
 $\delta$  – коэффициент состояния атмосферы;  
 $R_{\text{эк}}$  – эквивалентный радиус расщепленной фазы;  
 $N$  – количество проводов в расщепленной фазе;  
 $a_{\text{ср}}$  – среднегеометрическое расстояние между проводами одной фазы (шаг расщепления фазы);  
 $F$  – площадь сечения провода;  
 $F_{\text{ст}}$  – площадь сечения стальной части провода;  
 $r_{\text{р}}$  – радиус расщепления;

$S_{\text{ном}}$  – номинальная мощность трансформатора;  
 $\Delta P_{\text{кВ}}, \Delta P_{\text{кС}}, \Delta P_{\text{кН}}$  – потери короткого замыкания для обмоток высшего, среднего и низшего напряжений трансформатора;  
 $\Delta P_{\text{кВН}}, \Delta P_{\text{кВС}}, \Delta P_{\text{кСН}}$  – потери короткого замыкания для пар обмоток трехобмоточного трансформатора;  
 $U_{\text{к}}, \%$  – напряжение короткого замыкания трансформатора;  
 $U_{\text{кВ}}, \%, U_{\text{кС}}, \%, U_{\text{кН}}, \%$  – напряжения короткого замыкания для обмоток высшего, среднего и низшего напряжения трансформатора;  
 $U_{\text{кВН}}, U_{\text{кВС}}, U_{\text{кСН}}$  – напряжения короткого замыкания для пар обмоток трехобмоточного трансформатора;  
 $\Delta P_{\text{x}}$  – потери активной мощности холостого хода;  
 $\Delta Q_{\text{x}}$  – потери реактивной мощности холостого хода;  
 $I_{\text{x}}, \%$  – ток холостого хода трансформатора;  
 $S_{\text{тип}}$  – типовая мощность автотрансформатора;  
 $\beta$  – коэффициент затухания волны;  
 $\alpha$  – коэффициент изменения фазы волны;  
 $\underline{Z}_{\text{в}}$  – волновое сопротивление линии;  
 $\xi_{\text{в}}$  – аргумент волнового сопротивления;  
 $\underline{A}, \underline{B}, \underline{C}, \underline{D}$  – постоянные четырехполюсника;  
 $\underline{\Delta U}$  – падение напряжения в элементе сети;  
 $\Delta U$  – потеря напряжения, продольная составляющая падения напряжения;  
 $\delta U$  – поперечная составляющая падения напряжения;  
 $\Delta P_{\text{j}}$  – потери активной мощности в элементе сети в j-м режиме;  
 $\Delta P_{\text{ср}}$  – средние потери активной мощности;  
 $\Delta Q_{\text{j}}$  – потери реактивной мощности в элементе сети в j-м режиме;  
 $T$  – период времени;  
 $k_{\text{ф}}$  – коэффициент формы графика нагрузки;  
 $\underline{S}_{\text{i}}$  – мощность в узле сети;  
 $\underline{S}_{\text{ij}}, \underline{Z}_{\text{ij}}$  – мощность и полное сопротивление участка ij;  
 $\underline{n}_{\text{ij}}$  – коэффициент трансформации на участке ij;  
 $T_{\text{нб}}$  – время использования наибольшей полной нагрузки;  
 $T_{\text{нб а}}$  – время использования наибольшей активной нагрузки;  
 $T_{\text{ср. взв}}$  – средневзвешенное время использования наибольшей нагрузки;  
 $\tau$  – время наибольших потерь;  
 $n$  – количество участков контура;

$U_0$  – напряжение опорного узла;  
 $K$  – капитальные затраты;  
 $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных затрат (банковский процент по ссуде);  
 $E$  – норма дисконтирования;  
 $K_{\text{лп}}, K_{\text{т}}$  – соответственно стоимость линии, трансформатора;  
 $K_{\text{ру}}$  – стоимость распределительного устройства;  
 $K_{\text{пост}}$  – постоянная часть капитальных затрат в подстанцию;  
 $r$  – отчисления от капитальных затрат на амортизацию, текущий ремонт и обслуживание;  
 $K_{\text{л}}$  – ликвидная стоимость;  
 $W$  – количество электроэнергии;  
 $\Delta W, \Delta W_x$  – потери электроэнергии нагрузочные и холостого хода;  
 $\beta_x$  и  $\beta_n$  – удельная стоимость 1 кВт·ч потерь энергии соответственно холостого хода и нагрузочных потерь;  
 $I_{\text{нб}}$  – наибольшее значение тока;  
 $J_э$  – нормативная экономическая плотность тока;  
 $\Delta U_{\text{а доп}}$  – допустимая потеря напряжения в активном сопротивлении линии;  
 $\rho$  – удельное сопротивление материала проводника;  
 $\gamma$  – удельная проводимость материала проводника;  
 $I_{\text{ил}}, P_{\text{ил}}$  – ток и активная мощность в  $i$ -й линии.  
 $\varepsilon_{\text{в}}, \varepsilon_{\text{п}}$  – коэффициенты ограничений мощности потребителя при аварии и плановом ремонте;  
 $\alpha, \beta$  – удельные ущербы от аварийных и плановых ограничений электроснабжения;  
 $\omega_{\text{в}}$  – параметр потока отказов;  
 $\omega_{\text{п}}$  – параметр потока плановых отключений;  
 $T_{\text{в}}, T_{\text{п}}$  – среднее время восстановления при аварийном и плановом ремонте;  
 $k_{\text{г.1}}$  – крутизна частотной статической характеристики генератора;  
 $k_{\text{н}}$  – крутизна частотной статической характеристики нагрузки;  
 $k_{\text{р}}$  – коэффициент резерва активной мощности в системе.  
 $R_t$  – результат, достигнутый в год  $t$ .



### 3. ЗАДАЧИ ПО ТЕМАМ

#### 3.1. ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

##### Задача 1

Начертить схему замещения воздушной линии, как показано на рис. 1.

Для заданного варианта (табл. 1 и 2) записать в табл. 3 следующие справочные данные сталеалюминиевого провода:

- удельное активное сопротивление  $r_0$ , Ом/км;
- удельное реактивное сопротивление  $x_0$ , Ом/км;
- удельную емкостную проводимость  $b_0$ , См/км;
- удельные среднегодовые потери на корону  $\Delta P_{к0}$ , кВт/км.

Рассчитать следующие параметры схемы замещения линии:

- удельное активное сопротивление  $r_0$  с учетом фактической площади сечения алюминиевой части провода, приняв удельное

сопротивление алюминия  $\rho = 31,5 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{км}}$ ;

- активное сопротивление  $R_{л}$ , Ом: а) – по справочным данным; б) по рассчитанному значению  $r_0$ ;
  - удельное реактивное сопротивление  $x_0$ , Ом/км;
  - реактивное сопротивление  $X_{л}$ , Ом: а) – по справочным данным; б) по рассчитанному значению  $x_0$ ;
  - удельную емкость  $c_0$ , Ф/км;
  - удельную емкостную проводимость  $b_0$ , См/км:
- а) по справочным данным; б) по рассчитанному значению  $c_0$ ;
- емкостную проводимость  $B_{л}$ , См: а) по справочным данным; б) по рассчитанному значению  $b_0$ ;
  - зарядную мощность  $Q_b$ , Мвар: а) по справочным данным; б) по рассчитанному значению  $b_0$ ;
  - удельную активную проводимость  $g_0$ , См/км;
  - активную проводимость  $G_{л}$ , См.

Записать рассчитанные значения  $r_0$ ,  $x_0$  и  $b_0$  в табл. 3 и сравнить их со справочными данными.

Нанести полученные расчетные значения  $R_{л}$ ,  $X_{л}$ ,  $B_{л}$ ,  $G_{л}$  на схему замещения линии, как показано на рис. 1.

Определить  $R_{л}$ ,  $X_{л}$ ,  $B_{л}$ ,  $Q_b$ ,  $G_{л}$  для двухцепной линии.

Результаты расчета записать в табл. 4 и сделать выводы о влиянии количества цепей на параметры схемы замещения линии.

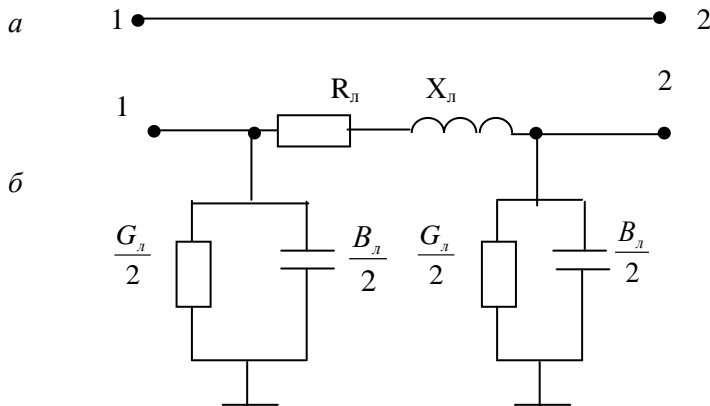


Рис. 1. Схемы линии электропередачи:  
а – принципиальная; б – схема замещения

Таблица 1

### Варианты исходных данных

Номер варианта	Номинальное напряжение линии, кВ	Площадь сечения проводов марки АС	Среднегеометрическое расстояние между фазами, м
1	110	70/11	5,0
2		95/16	5,0
3		120/19	5,0
4		150/24	5,0
5		185/29	5,0
6		240/32	5,0

Окончание табл. 1

Номер варианта	Номинальное напряжение линии, кВ	Площади сечения проводов марки АС	Среднегеометрическое расстояние между фазами, м
7	220	240/32	8,0
8		300/39	8,0
9		400/51	8,0
10		500/64	8,0
11	110	70/11	4,0
12		95/16	4,0
13		120/19	4,0
14		150/24	4,0
15		185/29	4,0
16		240/32	4,0
17	220	240/32	7,0
18		300/39	7,0
19		400/51	7,0
20		500/64	7,0
21	110	70/11	4,5
22		95/16	4,5
23		120/19	4,5
24		150/24	4,5
25		185/29	4,5
26		240/32	4,5
27	220	240/32	7,5
28		300/39	7,5
29		400/51	7,5
30		500/64	7,5

Таблица 2

Варианты исходных данных

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина линии, км	50	60	70	80	55	65	75	85	30	40

Таблица 3

### Параметры сталеалюминиевого провода

$r_0$ , Ом/км		$x_0$ , Ом/км		$b_0$ , См/км		$g_0$ , См/км
по справоч- ным дан- ным	по расчетным данным	по справоч- ным дан- ным	по расчетным данным	по справоч- ным дан- ным	по расчетным данным	по расчет- ным данным

Таблица 4

### Параметры схемы замещения линии

Коли- чество цепей	$R_{л}$ , Ом		$X_{л}$ , Ом		$B_{л}$ , См		$Q_b$ , Мвар		$G_{л}$ , См
	по спра- вочным данным	по расчет- ным данным	по спра- вочным данным	по расчет- ным данным	по спра- вочным данным	по расчет- ным данным	по спра- вочным данным	по расчет- ным данным	по расчет- ным данным
1									
2									

## Задача 2

Начертить схему замещения воздушной линии, как показано на рис. 1.

В соответствии с заданным вариантом (табл. 5 и 6) выполнить задания, указанные в задаче 1, для линии электропередачи с расщепленными фазами.

Записать рассчитанные значения  $r_0$ ,  $x_0$  и  $b_0$  в табл. 7 и сравнить их со справочными данными.

Нанести полученные расчетные значения  $R_{л}$ ,  $X_{л}$ ,  $B_{л}$ ,  $G_{л}$  на схему замещения линии, как показано на рис. 1.

Определить  $R_{л}$ ,  $X_{л}$ ,  $B_{л}$ ,  $Q_b$ ,  $G_{л}$  для двухцепной линии.

Результаты расчета записать в табл. 8 и сделать выводы о влиянии количества цепей на параметры схемы замещения линии.

Таблица 5

## Варианты исходных данных

Номер варианта	Номинальное напряжение линии, кВ	Площадь сечения проводов марки АС	Количество проводов в фазе	Шаг расщепления фазы, см
1	330	240/32	2	40
2	330	300/39	2	40
3	330	400/51	2	40
4	500	300/66	3	40
5	500	400/51	3	40
6	500	500/64	3	40
7	750	240/56	5	40
8	750	300/66	5	40
9	750	400/51	5	40
10	750	400/93	4	40
11	750	500/64	4	40
12	330	240/32	2	60
13	330	300/39	2	60
14	330	400/51	2	60
15	500	300/66	3	60
16	500	400/51	3	60
17	500	500/64	3	60
18	750	240/56	5	60
19	750	300/66	5	60
20	750	400/51	5	60
21	750	400/93	4	60
22	750	500/64	4	60
23	330	240/32	2	50
24	330	300/39	2	50
25	330	400/51	2	50
26	500	300/66	3	50
27	500	400/51	3	50
28	500	500/64	3	50
29	750	240/56	5	50
30	750	300/66	5	50

Таблица 6

## Варианты исходных данных

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина линии, км	300	400	450	500	550	600	650	700	750	800

Таблица 7

## Параметры сталеалюминиевого провода

$r_0$ , Ом/км		$x_0$ , Ом/км		$b_0$ , См/км		$g_0$ , См/км
по справочным данным	по расчетным данным	по справочным данным	по расчетным данным	по справочным данным	по расчетным данным	по расчетным данным

Таблица 8

## Параметры схемы замещения линии

Количество цепей	$R_{л}$ , Ом		$X_{л}$ , Ом		$B_{л}$ , См		$Q_b$ , Мвар		$G_{л}$ , См
	по справочным данным	по расчетным данным	по справочным данным	по расчетным данным	по справочным данным	по расчетным данным	по справочным данным	по расчетным данным	по расчетным данным
1									
2									

## Задача 3

Начертить схемы замещения воздушной линии, выполненной алюминиевым проводом, и кабельной линии, выполненной кабелем с алюминиевыми жилами с изоляцией из сшитого полиэтилена. Номинальное напряжение линий 10 кВ.

В соответствии с заданным вариантом (табл. 9 и 10) записать в табл. 11 справочные данные:

- удельное активное сопротивление  $r_0$ , Ом/км алюминиевого провода и кабеля;
- удельное реактивное сопротивление  $x_0$ , Ом/км алюминиевого провода и кабеля.

Определить следующие параметры схемы замещения воздушной и кабельной линий:

- активное сопротивление  $R_{л}$ , Ом;
- реактивное сопротивление  $X_{л}$ , Ом.

Записать в табл. 11 полученные значения и сравнить  $R_{л}$ ,  $X_{л}$  для воздушной и кабельной линий.

Нанести полученные расчетные значения параметров на схемы замещения линий.

Таблица 9

Варианты исходных данных

Номер варианта	Площадь сечения проводников, мм <sup>2</sup>	Номер варианта	Площадь сечения проводников, мм <sup>2</sup>	Номер варианта	Площадь сечения проводников, мм <sup>2</sup>
1	25	11	120	21	95
2	35	12	95	22	120
3	50	13	50	23	50
4	70	14	70	24	70
5	95	15	95	25	95
6	120	16	120	26	120
7	25	17	25	27	25
8	35	18	35	28	35
9	50	19	50	29	50
10	70	20	70	30	70

Таблица 10

Варианты исходных данных

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина линий, км	2,5	1,5	2,0	1,0	3,5	3,0	4,5	5,5	4,0	5,0

## Справочные данные и результаты расчетов

Воздушная линия				Кабельная линия			
$r_0$ , Ом/км	$x_0$ , Ом/км	$R_{л}$ , Ом	$X_{л}$ , Ом	$r_0$ , Ом/км	$x_0$ , Ом/км	$R_{л}$ , Ом	$X_{л}$ , Ом

**Задача 4**

Начертить схему замещения двухобмоточного трансформатора, как показано на рис. 2.

Для заданного варианта (табл. 12) записать в табл. 13 справочные данные трансформатора.

Рассчитать и записать в табл. 14 следующие параметры трансформатора:

- активное сопротивление обмоток,  $R_T$ , Ом;
- реактивное сопротивление обмоток,  $X_T$ , Ом;
- активную проводимость,  $G_T$ , См;
- реактивную проводимость,  $B_T$ , См;
- реактивную мощность намагничивания,  $\Delta Q_X$ , Мвар.

Сравнить полученные значения  $R_T$ ,  $X_T$  и  $\Delta Q_X$  со справочными данными.

Нанести полученные расчетные значения параметров на схему замещения трансформатора, как показано на рис. 2, б.

Определить параметры схемы замещения для двух параллельно включенных трансформаторов.

Результаты расчета записать в табл. 14 и сделать выводы о влиянии количества параллельно включенных трансформаторов на параметры схемы замещения.



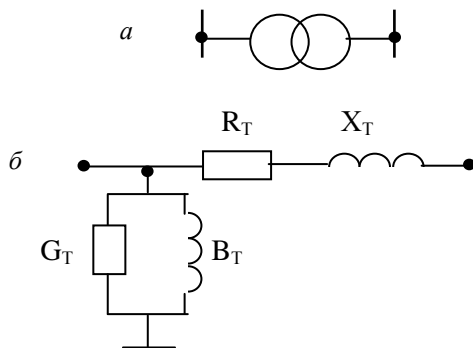


Рис. 2. Схемы двухобмоточного трансформатора:  
*a* – принципиальная; *б* – схема замещения

Таблица 12

Варианты исходных данных

Номер варианта	Тип трансформатора	Номер варианта	Тип трансформатора	Номер варианта	Тип трансформатора
1	ТМ-100/35	11	ТД-10000/35	21	ТМ-100/35
2	ТМ-160/35	12	ТМН-4000/35	22	ТМН-630/35
3	ТМ-250/35	13	ТМН-6300/35	23	ТМН-1600/35
4	ТМН-400/35	14	ТМН-10000/35	24	ТМН-2500/110
5	ТМН-2500/35	15	ТД-40000/110	25	ТРДЦН-63000/110
6	ТДН-16000/110	16	ТРДН-40000/110	26	ТДЦ-400000/110
7	ТРДН-25000/110	17	ТДЦ-200000/110	27	ТДН-16000/110
8	ТДЦ-125000/110	18	ТДЦ-250000/110	28	ТРДЦН -160000/220
9	ТРДЦН-125000/110	19	ТДЦ-125000/220	29	ТДЦ-200000/220
10	ТДЦ-80000/220	20	ТДЦ-250000/220	30	ТЦ-1000000/220

Таблица 13

Справочные данные трансформатора

$S_{НОМ},$ МВ·А	$U_{НОМ},$ кВ	$U_K,$ %	$\Delta P_K,$ кВт	$\Delta P_X,$ кВт	$I_X,$ %	$R_T,$ Ом	$X_T,$ Ом	$\Delta Q_X,$ квар

## Результаты расчетов

Количество включенных трансформаторов	$R_T$ , Ом	$X_T$ , Ом	$G_T$ , См	$B_T$ , См	$\Delta P_X$ , МВт	$\Delta Q_X$ , Мвар
1						
2						

## Задача 5

Начертить схему замещения трехобмоточного трансформатора (автотрансформатора), как показано на рис. 3.

Для заданного варианта (табл. 15) записать в табл. 16 справочные данные. Для автотрансформаторов полагать, что потери короткого замыкания даны для пары обмоток высшего и среднего напряжения  $\Delta P_{кзс}$ , а номинальная мощность обмотки низшего напряжения равна 50 % номинальной мощности автотрансформатора.

Рассчитать и записать в табл. 17 следующие параметры трансформатора (автотрансформатора):

- активные сопротивления обмоток  $R_{вн}$ ,  $R_{сн}$ ,  $R_{нн}$ , Ом;
- реактивные сопротивления обмоток  $X_{вн}$ ,  $X_{сн}$ ,  $X_{нн}$ , Ом;
- активную проводимость  $G_T$ , См;
- реактивную проводимость  $B_T$ , См;
- реактивную мощность намагничивания  $\Delta Q_X$ , Мвар.

Сравнить рассчитанные значения  $R_{вн}$ ,  $R_{сн}$ ,  $R_{нн}$ ,  $X_{вн}$ ,  $X_{сн}$ ,  $X_{нн}$  и  $\Delta Q_X$  со справочными данными.

Нанести полученные расчетные значения параметров на схему замещения трансформатора, как показано на рис. 3, б.

Определить параметры схемы замещения для двух параллельно включенных трансформаторов (автотрансформаторов).

Результаты расчета записать в табл. 17 и сделать выводы о влиянии количества параллельно включенных трансформаторов на параметры схемы замещения.

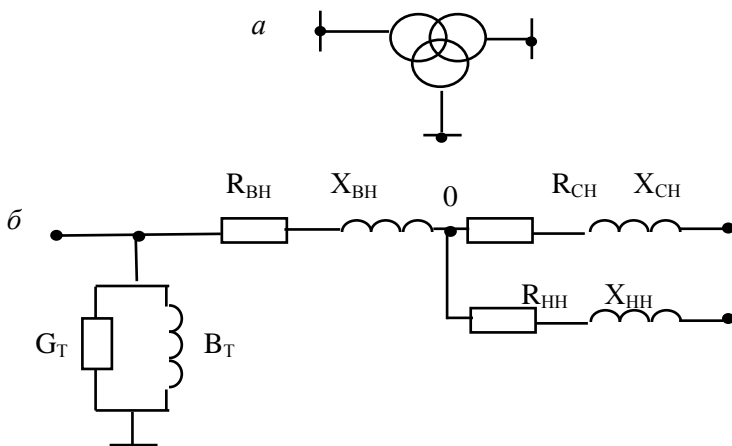


Рис. 3. Схемы трехобмоточного трансформатора:  
*a* – принципиальная; *б* – схема замещения

Таблица 15

Варианты исходных данных

Номер варианта	Тип трансформатора (автотрансформатора)	Номер варианта	Тип трансформатора (автотрансформатора)	Номер варианта	Тип трансформатора (автотрансформатора)
1	ТМТН-6300/110	11	ТДТНЖ-25000/220	21	АТДЦТН-240000/330/220
2	ТДТН-10000/110	12	ТДТН-40000/220	22	АТДЦТН-250000/500/110
3	ТДТН-16000/110	13	ТДТНЖ-40000/220	23	ТДТНЖ-40000/110
4	ТДТН-25000/110	14	АТДЦТН-63000/220/110	24	ТМТН-6300/110
5	ТДТНЖ-25000/110	15	АТДЦТН-125000/220/110	25	ТДТН-10000/110
6	ТДТН-40000/110	16	АТДЦТН-200000/220/110	26	ТДТН-16000/110
7	ТДТНЖ-40000/110	17	АТДЦТН-250000/220/110	27	ТДТН-25000/110
8	ТДТН-63000/110	18	АТДЦТН-125000/330/110	28	ТДТНЖ-25000/110
9	ТДТН-80000/110	19	АТДЦТН-200000/330/110	29	ТДТН-40000/110
10	ТДТН-25000/220	20	АТДЦТН-250000/330/150	30	АТДЦТН-250000/500/110

Таблица 16

## Справочные данные трансформатора (автотрансформатора)

$S_{\text{ном}},$ МВ·А	$U_K, \%$			$\Delta P_K,$ кВт	$\Delta P_X,$ кВт	$I_X,$ %	$R_T, \text{Ом}$			$X_T, \text{Ом}$			$\Delta Q_X,$ квар
	В-С	В-Н	С-Н				ВН	СН	НН	ВН	СН	НН	

Таблица 17

## Результаты расчетов

Количество включенных трансформаторов	$R_T, \text{Ом}$			$X_T, \text{Ом}$			$G_T, \text{См}$	$B_T, \text{См}$	$\Delta P_X,$ МВт	$\Delta Q_X,$ квар
	ВН	СН	НН	ВН	СН	НН				
1										
2										

## Задача 6

Определить параметры расчетной схемы электрической сети, показанной на рис. 4.

Варианты исходных данных по линиям указаны в табл. 1 и 2.

Тип трансформатора выбрать из табл. 18 для соответствующего варианта из табл. 1.

Справочные данные и результаты расчетов записать в табл. 19.

Расчитанные параметры нанести на схему, как показано на рис. 4, б.

Таблица 18

## Варианты исходных данных

Номер варианта	1–6	7–10	11–16	17–20	21–26	27–30
Тип трансформатора	ТРДН- 2500/110	ТРДН- 40000/220	ТДН- 16000/110	ТРДЦН- 63000/220	ТДН- 10000/110	ТРДЦН- 100000/220

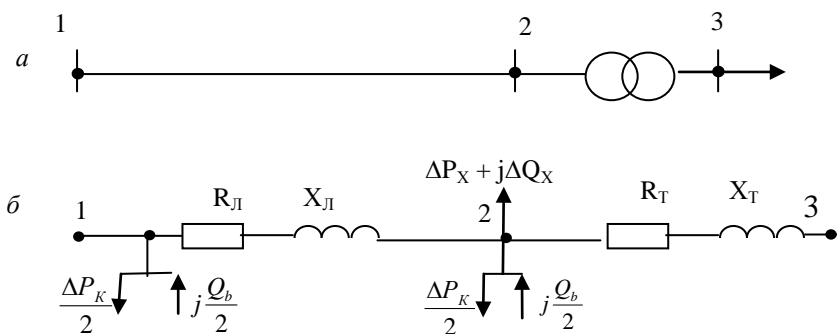


Рис. 4. Схемы электрической сети:  
*a* – принципиальная; *б* – расчетная

Таблица 19

Параметры электрической сети

Параметры линии	Справочные данные				Результаты расчетов				
	$r_0$ , Ом/км	$x_0$ , Ом/км	$b_0$ , См/км	$\Delta P_{K0}$ , кВт/км	$R_L$ , Ом	$X_L$ , Ом	$B_L$ , См	$\Delta P_K$ , МВт	$Q_b$ , квар.
Параметры трансформатора	Справочные данные				Результаты расчетов				
	$U_K$ , %	$\Delta P_K$ , кВт	$\Delta P_X$ , кВт	$I_X$ , %	$R_T$ , Ом	$X_T$ , Ом	$\Delta P_X$ , МВт	$\Delta Q_X$ , квар	

**Задача 7**

Определить эквивалентные параметры расчетной схемы электрической сети, содержащей две параллельные линии и два параллельно подключенных двухобмоточных трансформатора, как показано на рис. 5.

Для выполнения расчетов использовать результаты, полученные в задаче 6.

Рассчитанные эквивалентные параметры электрической сети записать в табл. 20.

Сравнить параметры электрической сети, рассчитанные в задачах 6 и 7, и сделать выводы о влиянии параллельно включенных линий и трансформаторов на параметры расчетной схемы.



Рис. 5. Схема электрической сети

Таблица 20

Рассчитанные эквивалентные параметры электрической сети

Линии					Трансформаторы			
$R_{л},$ Ом	$X_{л},$ Ом	$B_{л},$ См	$\Delta P_{к},$ МВт	$Q_{б},$ Мвар	$R_{т},$ Ом	$X_{т},$ Ом	$\Delta P_{х},$ МВт	$\Delta Q_{х},$ квар

### Задача 8

Определить параметры расчетной схемы электрической сети, показанной на рис. 6.

Варианты исходных данных по линиям указаны в табл. 1 и 2.

Тип трансформатора выбрать из табл. 21 для соответствующего варианта из табл. 1.

Справочные данные и результаты расчетов записать в табл. 22–24.

Рассчитанные параметры линии и трансформатора нанести на схему сети, как показано на рис. 6, б.

Таблица 21

Варианты исходных данных

Номер варианта	1–6	7–10	11–16	17–20	21–26	27–30
Тип трансформатора	ТМТН-6300/110	ТДТН-25000/220	ТДТН-25000/110	ТДТН-40000/220	ТДТН-16000/110	ТДТНЖ-25000/220

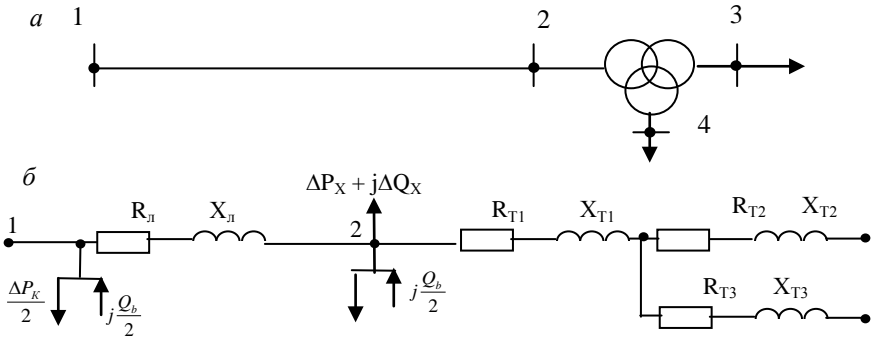


Рис. 6. Схемы электрической сети: а – принципиальная; б – расчетная

Таблица 22

Параметры линии

Справочные данные				Результаты расчетов			
$r_0$ , Ом/км	$x_0$ , Ом/км	$b_0$ , См/км	$\Delta P_{к0}$ , кВт/км	$R_{л}$ , Ом	$X_{л}$ , Ом	$\Delta P_{к}$ , МВт	$Q_b$ , Мвар

Таблица 23

Справочные данные трансформатора

$S_{НОМ}$ , МВ·А	$U_K$ , %			$\Delta P_K$ , кВт	$\Delta P_X$ , кВт	$I_X$ , %	$R_T$ , Ом			$X_T$ , Ом			$\Delta Q_X$ , квар
	В-С	В-Н	С-Н				ВН	СН	НН	ВН	СН	НН	

Таблица 24

## Рассчитанные параметры трансформатора

R <sub>T</sub> , Ом			X <sub>T</sub> , Ом			ΔP <sub>X</sub> , МВт	ΔQ <sub>X</sub> , Мвар
ВН	СН	НН	ВН	СН	НН		

### Задача 9

Определить эквивалентные параметры расчетной схемы электрической сети, содержащей две параллельные линии и два параллельно подключенных трехобмоточных трансформатора, как показано на рис. 7.

Для выполнения расчетов использовать результаты, полученные в задаче 8.

Рассчитанные эквивалентные параметры электрической сети записать в табл. 25.

Сравнить параметры электрической сети, рассчитанные в задачах 8 и 9, и сделать выводы о влиянии параллельно включенных линий и трансформаторов на параметры расчетной схемы.

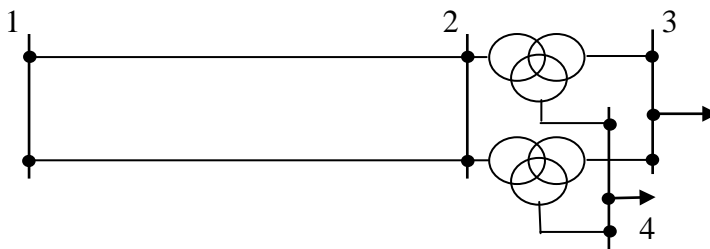


Рис. 7. Схема электрической сети

Таблица 25



## Рассчитанные эквивалентные параметры электрической сети

Линии				Трансформаторы								
				R <sub>T</sub> , Ом			X <sub>T</sub> , Ом			ΔP <sub>X</sub> , МВт	ΔQ <sub>X</sub> , Мвар	
R <sub>Л</sub> , Ом	X <sub>Л</sub> , Ом	ΔP <sub>К</sub> , МВт	Q <sub>б</sub> , Мвар	ВН	СН	НН	ВН	СН	НН			

Дополнительные задачи для решения по данному разделу приведены в [3], с. 11, 24–25, контрольные вопросы – с. 25–26; примеры решения задач – с. 15–20. В [2] приведены примеры решения задач (с. 79–99; 128–144) и контрольные вопросы (с. 77–79, 126–128).

### **3.2. ПОТЕРИ МОЩНОСТИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ**

## Задача 10

Задан вариант линии электропередачи (табл. 26, 27) и годовой график активной нагрузки по продолжительности, а также коэффициент мощности на каждой ступени графика нагрузки (табл. 28).

Вычертить годовые графики активной и полной нагрузки по продолжительности и определить нагрузочные потери электрической энергии следующими методами:

- 1) графического интегрирования (по заданному графику нагрузки);
- 2) среднеквадратичной мощности (тока);
- 3) времени наибольших потерь;
- 4) средних нагрузок.

Среднеквадратичную мощность и время наибольших потерь вычислить двумя способами:

- 1) на основе годового графика нагрузки по продолжительности;
- 2) приближенным способом по эмпирическим зависимостям через понятие времени использования наибольшей нагрузки.

Вычислить различия в потерях энергии (в процентах) по различным методам, приняв за эталонный метод графического интегрирования.

Результаты расчетов свести в табл. 29.

Таблица 26

Параметры линии электропередачи

Номер варианта	Номинальное напряжение, кВ	Площадь сечения проводов марки АС	Длина линии, км	Наибольшая передаваемая мощность, МВт
1	35	70/11	10	3
2	35	95/16	10	4
3	35	95/16	15	5
4	35	120/19	20	7
5	35	120/19	30	6
6	35	150/24	25	9

Окончание табл. 26

Номер варианта	Номинальное напряжение, кВ	Площадь сечения проводов марки АС	Длина линии, км	Наибольшая передаваемая мощность, МВт
7	110	70/11	30	15
8	110	95/16	40	12
9	110	95/16	35	20
10	110	120/19	40	25
11	110	120/19	20	40
12	110	150/24	45	30
13	110	185/29	50	35
14	110	240/32	55	40
15	220	240/32	150	100
16	220	240/32	190	80
17	220	300/39	170	120
18	220	400/51	190	140
19	220	500/64	200	160
20	220	500/64	180	190
21	35	120/19	27	7
22	110	150/24	37	28
23	110	185/29	36	27
24	110	240/32	28	32
25	110	240/32	34	26
26	220	300/39	120	96
27	220	400/51	160	130
28	35	70/11	13	5
29	35	150/24	16	8
30	110	70/11	26	24

Таблица 27

### Количество цепей линии электропередачи

Номер варианта	Количество цепей
1–3	1
4–6	2
7–10	3

Таблица 28

### Годовой график нагрузки по продолжительности

Номер ступеней графика нагрузки	1	2	3	4
Значение нагрузки в долях от наибольшей передаваемой активной мощности	1,0	0,8	0,6	0,4
Длительность ступеней, ч	1000	2000	3000	2760
Коэффициент мощности	0,9	0,85	0,82	0,79

Таблица 29

### Результаты расчетов потерь электроэнергии в линии

Метод		Потери энергии, МВт·ч	Потери энергии в процентах от передаваемой энергии	Погрешность расчета, %
Графического интегрирования				
Среднеквадратичной мощности	Способ 1			
	Способ 2			
Времени наибольших потерь	Способ 1			
	Способ 2			
Средних нагрузок	Способ 1			
	Способ 2			

### Задача 11

1. Для заданного варианта трансформатора (трансформаторов) (табл. 30, 31) и годового графика нагрузки по продолжительности (см. табл. 28) определить годовые потери электроэнергии холостого хода и нагрузочные потери. Расчеты нагрузочных потерь энергии выполнить:

- 1) методом графического интегрирования (на основе заданного графика нагрузки по продолжительности);
- 2) методом времени наибольших потерь;
- 3) методом средних нагрузок.

При количестве трансформаторов больше одного полагать, что они работают параллельно. В трехобмоточных трансформаторах нагрузка, указанная в табл. 30, распределена поровну между обмотками среднего и низшего напряжения.

2. Вычислить потери энергии холостого хода и нагрузочные в процентах от суммарных потерь. Результаты расчетов свести в табл. 32.

3. Определить потери реактивной мощности холостого хода  $\Delta Q_X$  в процентах относительно потерь активной мощности холостого хода  $\Delta P_X$ . Результаты записать в табл. 33.

4. Определить нагрузочные потери активной и реактивной мощности ( $\Delta P_H$ ,  $\Delta Q_H$ ), а также суммарные потери активной и реактивной мощности ( $\Delta P_\Sigma$ ,  $\Delta Q_\Sigma$ ). Вычислить потери реактивной мощности  $\Delta Q_H$  и  $\Delta Q_\Sigma$  в процентах относительно соответствующих потерь активной мощности. Результаты записать в табл. 33.

Таблица 30

### Данные по трансформаторам

Номер варианта	Тип трансформатора	Номинальная мощность, МВ·А	Наибольшая передаваемая мощность, МВт
1	ТМН – 1600/35	1,6	1,2
2	ТМН – 1000/35	1,0	0,8
3	ТМН – 2500/35	2,5	2,0
4	ТМН – 4000/35	4,0	3,8

Окончание табл. 30

Номер варианта	Тип трансформатора	Номинальная мощность, МВ·А	Наибольшая передаваемая мощность, МВт
5	ТМН – 10000/35	10,0	9,0
6	ТМН – 6300/110	6,3	5,7
7	ТДН – 10000/110	10,0	9,2
8	ТДН – 16000/110	16,0	15,0
9	ТРДН – 25000/110	25,0	23,0
10	ТРДН – 40000/110	40,0	36,0
11	ТМТН – 6300/110	6,3	5,2
12	ТДТН – 10000/110	10,0	8,5
13	ТДТН – 16000/110	16,0	13,4
14	ТДТН – 25000/110	25,0	21,2
15	ТДТН – 40000/110	40,0	37,0
16	ТРДН – 40000/220	40,0	35,0
17	ТРДЦН – 63000/220	63,0	60,0
18	ТДТН – 25000/220	25,0	22,0
19	ТДТН – 40000/220	40,0	38,0
20	ТДТН – 40000/220	40,0	34,0
21	ТМН – 6300/110	6,3	4,8
22	ТМТН – 6300/110	6,3	4,5
23	ТДН – 10000/110	10,0	8,6
24	ТДТН – 10000/110	10,0	9,1
25	ТДТН – 16000/110	16,0	14,3
26	ТДТН – 25000/110	25,0	22,6
27	ТДТН – 40000/110	40,0	39,2
28	ТДТН – 25000/220	25,0	23,4
29	ТДТН – 40000/220	40,0	36,3
30	ТДТН – 40000/220	40,0	34,2

Таблица 31

### Количество трансформаторов на подстанции

Номер варианта	Количество трансформаторов
1–3	1
4–6	2
7–10	3

Таблица 32

### Результаты расчетов потерь электроэнергии в трансформаторах

Метод	Потери электроэнергии, МВт·ч			Потери электроэнергии в процентах от суммарных потерь	
	Холостого хода	Нагру- зочные	Суммар- ные	Холостого хода	Нагру- зочные
Графического интегрирования					
Времени наибольших потерь					
Средних нагрузок					

Таблица 33

### Результаты расчетов потерь мощности в трансформаторах

Потери мощности		Режим	
		Наибольших нагрузок	Наименьших нагрузок
Холостого хода	$\Delta P_x$ , МВт		
	$\Delta Q_x$ , Мвар		

Окончание табл. 33

Потери мощности		Режим	
		Наибольших нагрузок	Наименьших нагрузок
Нагрузочные	$\Delta P_H$ , МВт		
	$\Delta Q_H$ , Мвар		
Суммарные	$\Delta P_{\Sigma}$ , МВт		
	$\Delta Q_{\Sigma}$ , Мвар		
Холостого хода	$\Delta Q_X/\Delta P_X$ , %		
Нагрузочные	$\Delta Q_H/\Delta P_H$ , %		
Суммарные	$\Delta Q_{\Sigma}/\Delta P_{\Sigma}$ , %		

### Задача 12

Определить годовые потери электроэнергии в электрической сети, показанной на рис. 4. Варианты исходных данных по линии указаны в табл. 1 и 2. Тип трансформатора выбрать из табл. 18.

Расчеты нагрузочных потерь энергии выполнить:

- 1) методом графического интегрирования (годовой график нагрузки по продолжительности указан в табл. 28);
- 2) методом времени наибольших потерь, которое вычислить по эмпирическим зависимостям.

### Задача 13

Определить годовые потери электроэнергии в электрической сети, показанной на рис. 5. Варианты исходных данных по линиям указаны в табл. 1 и 2. Тип трансформатора выбрать из табл. 18.

Расчеты нагрузочных потерь энергии выполнить:

- 1) методом графического интегрирования (годовой график нагрузки по продолжительности указан в табл. 28);
- 2) методом времени наибольших потерь, которое вычислить по эмпирическим зависимостям.

### Задача 14



Определить годовые потери электроэнергии в электрической сети, показанной на рис. 6. Варианты исходных данных по линии указаны в табл. 1 и 2. Тип трансформатора выбрать из табл. 21.

Расчеты нагрузочных потерь энергии выполнить:

1) методом графического интегрирования (годовой график нагрузки по продолжительности указан в табл. 28);

2) методом времени наибольших потерь, которое вычислить по эмпирическим зависимостям.

### **Задача 15**

Определить годовые потери электроэнергии в электрической сети, показанной на рис. 7. Варианты исходных данных по линиям указаны в табл. 1 и 2. Тип трансформатора выбрать из табл. 21.

Расчеты нагрузочных потерь энергии выполнить:

1) методом графического интегрирования (годовой график нагрузки по продолжительности указан в табл. 28);

2) методом времени наибольших потерь, которое вычислить по эмпирическим зависимостям.

Дополнительные задачи для решения по данному разделу приведены в [3], с. 51–52, контрольные вопросы – с. 52; примеры решения задач – с. 47–51. В [2] приведены примеры решения задач (с. 401–414) и контрольные вопросы (с. 399–401).

### **3.3. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ РАЗОМКНУТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

## Задача 16

Воздушная линия электропередачи напряжением 110 кВ (рис. 8) выполнена сталеалюминиевым проводом. Площадь сечения сталеалюминиевого провода, мощность нагрузки  $\underline{S}_2$  и напряжение  $U_2$  в конце линии указаны в табл. 34, длина линии – в табл. 35.

Пренебрегая активной проводимостью, начертить расчетную схему линии.

Определить зарядную мощность линии, потери активной и реактивной мощности, мощность источника питания  $\underline{S}_1$ , продольную и поперечную составляющие падения напряжения, модуль падения напряжения, напряжение  $U_1$  в начале линии.

Полученные результаты нанести на расчетную схему.

Построить векторную диаграмму напряжений.

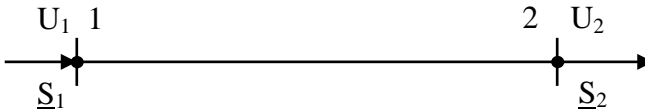


Рис. 8. Схема линии электропередачи

Таблица 34

### Варианты исходных данных

Номер варианта	Площадь сечения проводов марки АС	$\underline{S}_2$ , МВ·А	$U_2$ , кВ
1	70/11	$30 + j20$	115
2	95/16	$40 + j30$	109
3	120/19	$35 + j25$	107
4	150/24	$45 + j20$	112
5	185/29	$30 + j20$	110
6	240/32	$40 + j30$	111
7	70/11	$35 + j25$	109
8	95/16	$45 + j20$	107
9	120/19	$30 + j20$	112
10	150/24	$40 + j30$	107
11	185/29	$35 + j25$	105

Окончание табл. 34

Номер варианта	Площадь сечения проводов марки АС	$\underline{S}_2$ , МВ·А	$U_2$ , кВ
12	240/32	45 + j20	112
13	70/11	30 + j20	109
14	95/16	40 + j30	111
15	120/19	35 + j25	112
16	150/24	45 + j20	106
17	185/29	30 + j20	109
18	240/32	40 + j30	110
19	70/11	35 + j25	108
20	95/16	45 + j20	113
21	120/19	30 + j20	110
22	150/24	40 + j30	109
23	185/29	35 + j20	112
24	240/32	45 + j20	108
25	70/11	30 + j20	109
26	95/16	40 + j30	106
27	120/19	35 + j25	110
28	150/24	45 + j20	109
29	185/29	30 + j20	108
30	240/32	40 + j30	106

Таблица 35

### Варианты исходных данных

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина линии, км	30	20	25	22	18	15	28	16	24	32

### Задача 17

Для воздушной линии электропередачи напряжением 110 кВ (см. рис. 8) известны мощность источника питания  $\underline{S}_1$  и напряжение  $U_1$  в начале линии (табл. 36). Площадь сечения сталеалюминиевого провода указана в табл. 34, длина линии – в табл. 35.

Пренебрегая активной проводимостью, начертить расчетную схему линии.

Определить зарядную мощность линии, потери активной и реактивной мощности, мощность нагрузки  $\underline{S}_2$ , продольную и попереч-

ную составляющие падения напряжения, модуль падения напряжения, напряжение  $U_2$  в конце линии.

Полученные результаты нанести на расчетную схему.

Построить векторную диаграмму напряжений.

Таблица 36

Мощность источника питания и напряжение в начале линии

Номер варианта	$\underline{S}_1$ , МВ·А	$U_1$ , кВ	Номер варианта	$\underline{S}_1$ , МВ·А	$U_1$ , кВ	Номер варианта	$\underline{S}_1$ , МВ·А	$U_1$ , кВ
1	$30 + j20$	117,8	11	$35 + j25$	111,7	21	$30 + j20$	115,0
2	$40 + j30$	113,2	12	$45 + j20$	117,7	22	$40 + j30$	113,7
3	$35 + j25$	114,5	13	$30 + j20$	115,1	23	$35 + j20$	115,7
4	$45 + j20$	115,7	14	$40 + j30$	113,3	24	$45 + j20$	111,9
5	$30 + j20$	113,2	15	$35 + j25$	114,6	25	$30 + j20$	113,7
6	$40 + j30$	115,5	16	$45 + j20$	110,2	26	$40 + j30$	112,6
7	$35 + j25$	116,8	17	$30 + j20$	112,6	27	$35 + j25$	115,9
8	$45 + j20$	114,5	18	$40 + j30$	118,2	28	$45 + j20$	112,2
9	$30 + j20$	117,5	19	$35 + j25$	116,4	29	$30 + j20$	112,3
10	$40 + j30$	111,0	20	$45 + j20$	117,3	30	$40 + j30$	111,1

### Задача 18

Для воздушной линии электропередачи напряжением 110 кВ (см. рис. 8) известны мощность источника питания  $\underline{S}_1$  и напряжение  $U_2$  в конце линии (табл. 37). Площадь сечения сталеалюминиевого провода указана в табл. 34, длина линии – в табл. 35.

Начертить расчетную схему линии.

Определить зарядную мощность линии, потери активной и реактивной мощности, мощность нагрузки  $\underline{S}_2$ , продольную и поперечную составляющие падения напряжения, модуль падения напряжения, напряжение  $U_1$  в начале линии.

Полученные результаты нанести на расчетную схему.

Таблица 37

## Мощность источника питания и напряжение в конце линии

Номер варианта	$\underline{S}_1$ , МВ·А	$U_2$ , кВ	Номер варианта	$\underline{S}_1$ , МВ·А	$U_2$ , кВ	Номер варианта	$\underline{S}_1$ , МВ·А	$U_2$ , кВ
1	$30 + j20$	115	11	$35 + j25$	105	21	$30 + j20$	110
2	$40 + j30$	109	12	$45 + j20$	112	22	$40 + j30$	109
3	$35 + j25$	107	13	$30 + j20$	109	23	$35 + j20$	112
4	$45 + j20$	112	14	$40 + j30$	111	24	$45 + j20$	108
5	$30 + j20$	110	15	$35 + j25$	112	25	$30 + j20$	109
6	$40 + j30$	111	16	$45 + j20$	106	26	$40 + j30$	106
7	$35 + j25$	109	17	$30 + j20$	109	27	$35 + j25$	110
8	$45 + j20$	107	18	$40 + j30$	110	28	$45 + j20$	109
9	$30 + j20$	112	19	$35 + j25$	108	29	$30 + j20$	108
10	$40 + j30$	109	20	$45 + j20$	113	30	$40 + j30$	110

### Задача 19

Для воздушной линии электропередачи напряжением 110 кВ (см. рис. 8) известно напряжение  $U_1$  в начале линии (табл. 38). Мощность нагрузки  $\underline{S}_2$  и площадь сечения сталеалюминиевого провода указаны в табл. 34, длина линии – в табл. 35.

Начертить расчетную схему линии.

Определить зарядную мощность линии, потери активной и реактивной мощности, мощность источника питания  $\underline{S}_1$ , продольную и поперечную составляющие падения напряжения, модуль падения напряжения, напряжение  $U_2$  в конце линии.

Полученные результаты нанести на расчетную схему.

Таблица 38

### Напряжение в начале линии

Номер варианта	$U_1$ , кВ	Номер варианта	$U_1$ , кВ	Номер варианта	$U_1$ , кВ
1	117,8	5	113,2	9	117,5
2	113,2	6	115,5	10	112,9
3	114,5	7	116,8	11	111,7
4	115,7	8	114,5	12	117,7

Окончание табл. 38

Номер варианта	$U_1$ , кВ	Номер варианта	$U_1$ , кВ	Номер варианта	$U_1$ , кВ
13	115,1	19	116,4	25	113,7
14	113,3	20	117,3	26	112,6
15	114,6	21	115,0	27	115,9
16	110,2	22	113,7	28	112,2
17	112,6	23	115,7	29	112,3
18	118,2	24	111,9	30	115,8

### Задача 20

Воздушная линия электропередачи напряжением 330 кВ (рис. 9) выполнена сталеалюминиевым проводом. Площадь сечения провода, мощность нагрузки  $S_2$  и напряжение  $U_2$  в конце линии указаны в табл. 39, длина линии – в табл. 40.

Начертить расчетную схему линии.

Определить зарядную мощность линии, потери активной мощности на корону, нагрузочные потери активной и реактивной мощности, мощность источника питания  $S_1$ , продольную и поперечную составляющие падения напряжения, модуль падения напряжения, напряжение  $U_1$  в начале линии.

Полученные результаты нанести на расчетную схему.

Построить векторную диаграмму падения напряжения.

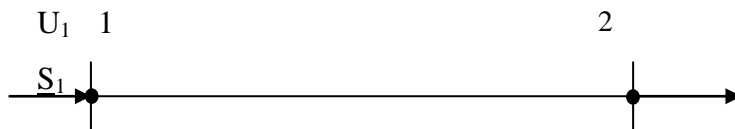


Рис. 9. Схема линии электропередачи

Таблица 39

### Варианты исходных данных

Номер варианта	Площади сечения проводов марки АС	$S_2$ , МВ·А	$U_2$ , кВ
1	АС 2×240/32	300 + j70	325
2	АС 2×240/32	260 + j60	320
3	АС 2×240/32	240 + j80	329
4	АС 2×240/32	320 + j60	320
5	АС 2×300/39	340 + j70	330
6	АС 2×300/39	300 + j60	335
7	АС 2×300/39	340 + j60	330
8	АС 2×240/32	300 + j70	325
9	АС 2×240/32	250 + j75	320
10	АС 2×240/32	340 + j80	315
11	АС 2×300/39	330 + j75	325
12	АС 2×300/39	300 + j70	320
13	АС 2×300/39	320 + j80	315
14	АС 2×400/51	300 + j90	320
15	АС 2×400/51	280 + j85	330
16	АС 2×400/51	300 + j70	335
17	АС 2×400/51	260 + j70	330
18	АС 2×400/51	240 + j75	325
19	АС 2×400/51	320 + j65	320
20	АС 2×400/51	440 + j80	315
21	АС 2×240/32	400 + j80	325
22	АС 2×240/32	370 + j75	320
23	АС 2×240/32	390 + j80	315
24	АС 2×240/32	350 + j75	320
25	АС 2×300/39	320 + j60	330
26	АС 2×300/39	340 + j90	335
27	АС 2×300/39	320 + j85	330
28	АС 2×400/51	380 + j70	315
29	АС 2×400/51	350 + j60	320
30	АС 2×400/51	370 + j80	325

Таблица 40

### Варианты исходных данных

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина линии, км	250	240	180	270	190	170	230	260	210	280

#### Задача 21

Для воздушной линии электропередачи напряжением 330 кВ (см. рис. 9) известны мощность источника питания  $\underline{S}_1$  и напряжение  $U_1$  в начале линии (табл. 41). Площадь сечения сталеалюминиевого провода указана в табл. 39, длина линии – в табл. 40.

Начертить расчетную схему линии.

Определить зарядную мощность линии, потери активной мощности на корону, нагрузочные потери активной и реактивной мощности, мощность нагрузки  $\underline{S}_2$ , продольную и поперечную составляющие падения напряжения, модуль падения напряжения, напряжение  $U_2$  в конце линии.

Полученные результаты нанести на расчетную схему.

Построить векторную диаграмму падения напряжения.

Таблица 41

### Варианты исходных данных

Номер варианта	$\underline{S}_1$ , МВ·А	$U_1$ , кВ	Номер варианта	$\underline{S}_1$ , МВ·А	$U_1$ , кВ	Номер варианта	$\underline{S}_1$ , МВ·А	$U_1$ , кВ
1	300 + j70	351,5	11	330 + j75	353,4	21	400 + j80	354,6
2	260 + j60	344,2	12	300 + j70	346,4	22	370 + j75	360,4
3	240 + j80	352,8	13	320 + j80	358,1	23	390 + j80	347,5
4	320 + j60	353,5	14	300 + j90	348,5	24	350 + j75	344,4
5	340 + j70	357,7	15	280 + j85	359,7	25	320 + j60	342,4
6	300 + j60	359,7	16	300 + j70	355,8	26	340 + j90	358,7
7	340 + j60	360,7	17	260 + j70	343,9	27	320 + j 85	356,6
8	300 + j70	351,5	18	240 + j75	338,7	28	380 + j70	332,2
9	250 + j75	341,1	19	320 + j65	346,3	29	350 + j60	345,5
10	340 + j80	362,1	20	440 + j80	349,2	30	370 + j80	355,5

#### Задача 22



Для воздушной линии электропередачи напряжением 330 кВ (см. рис. 9) известны мощность источника питания  $\underline{S}_1$  и напряжение  $U_2$  в конце линии (табл. 42). Площадь сечения сталеалюминиевого провода указана в табл. 39, длина линии – в табл. 40.

Начертить расчетную схему линии.

Определить зарядную мощность линии, потери активной мощности на корону, нагрузочные потери активной и реактивной мощности, мощность нагрузки  $\underline{S}_2$ , продольную и поперечную составляющие падения напряжения, модуль падения напряжения, напряжение  $U_1$  в начале линии. Полученные результаты нанести на расчетную схему.

Построить векторную диаграмму падения напряжения.

Таблица 42

### Варианты исходных данных

Номер варианта	$\underline{S}_1$ , МВ·А	$U_2$ , кВ	Номер варианта	$\underline{S}_1$ , МВ·А	$U_2$ , кВ	Номер варианта	$\underline{S}_1$ , МВ·А	$U_2$ , кВ
1	$300 + j70$	325	11	$330 + j75$	325	21	$400 + j80$	325
2	$260 + j60$	320	12	$300 + j70$	320	22	$370 + j75$	320
3	$240 + j80$	329	13	$320 + j80$	315	23	$390 + j80$	315
4	$320 + j60$	320	14	$300 + j90$	320	24	$350 + j75$	320
5	$340 + j70$	330	15	$280 + j85$	330	25	$320 + j60$	330
6	$300 + j60$	335	16	$300 + j70$	335	26	$340 + j90$	335
7	$340 + j60$	330	17	$260 + j70$	330	27	$320 + j85$	330
8	$300 + j70$	325	18	$240 + j75$	325	28	$380 + j70$	315
9	$250 + j75$	320	19	$320 + j65$	320	29	$350 + j60$	320
10	$340 + j80$	315	20	$440 + j80$	315	30	$370 + j80$	325

### Задача 23

Для воздушной линии электропередачи напряжением 330 кВ (см. рис. 9) известно напряжение  $U_1$  в начале линии (табл. 43). Мощность нагрузки  $\underline{S}_2$  и площадь сечения сталеалюминиевого провода указаны в табл. 39, длина линии – в табл. 40.

Начертить расчетную схему линии.

Определить зарядную мощность линии, потери активной мощности на корону, нагрузочные потери активной и реактивной мощности, мощность источника питания  $\underline{S}_1$ , продольную и поперечную

составляющие падения напряжения, модуль падения напряжения, напряжение  $U_2$  в конце линии.

Полученные результаты нанести на расчетную схему.

Таблица 43

Варианты исходных данных

Номер варианта	$U_1$ , кВ	Номер варианта	$U_1$ , кВ	Номер варианта	$U_1$ , кВ
1	351,5	11	353,4	21	354,6
2	344,2	12	346,4	22	360,4
3	352,8	13	358,1	23	347,5
4	353,5	14	348,5	24	344,4
5	357,7	15	359,7	25	342,4
6	359,7	16	355,8	26	358,7
7	360,7	17	343,9	27	356,6
8	351,5	18	338,7	28	332,2
9	341,1	19	346,3	29	345,5
10	362,1	20	349,2	30	355,5

### Задача 24

На подстанции установлен двухобмоточный трансформатор (рис. 10) с параметрами, указанными в табл. 44. Тип трансформатора, нагрузка  $\underline{S}_2$  и напряжение  $U_2$  на шинах низшего напряжения трансформатора указаны в табл. 44, количество параллельно включенных трансформаторов – в табл. 45.

Начертить расчетную схему трансформатора.

Для заданного варианта найти паспортные данные трансформатора.

Определить нагрузочные потери активной и реактивной мощности, мощность  $\underline{S}_1$ , продольную и поперечную составляющие падения напряжения в обмотках, модуль падения напряжения и напряжение  $U_1$  на стороне высшего напряжения трансформатора.

Полученные результаты нанести на расчетную схему.

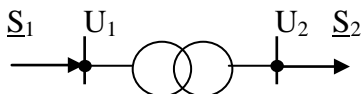


Рис. 10. Принципиальная схема двухобмоточного трансформатора

Таблица 44

## Варианты исходных данных

Номер варианта	Тип трансформатора	Коэффициент трансформации	$S_2$ , МВ·А	$U_2$ , кВ
1	ТМ-100/35	35/0,4	0,08 + j0,06	0,36
2	ТМ-160/35	35/0,4	0,1 + j0,08	0,38
3	ТМ-250/35	35/0,4	0,2 + j0,1	0,35
4	ТМН-400/35	35/0,4	0,3 + j0,2	0,39
5	ТМН-2500/35	35/6,3	2 + j1,8	6,1
6	ТДН-16000/110	115/11	10 + j6	10,8
7	ТРДН-25000/110	115/10,5/10,5	16 + j10	10,4
8	ТРДН-40000/110	115/6,3/6,3	35 + j13	6,2
9	ТМН-4000/35	35/11	3 + j1,5	10,5
10	ТМН-6300/35	35/6,3	5 + j2,5	6,1
11	ТМН-10000/35	36,75/10,5	8,5 + j5	10,2
12	ТРДН-40000/110	115/6,3/6,3	35 + j15	6,0
13	ТМН-400/35	35/0,69	0,3 + j0,15	0,66
14	ТМН-630/35	35/11	0,5 + j0,3	10,6
15	ТМН-1000/35	35/6,3	0,8 + j0,6	6,1
16	ТМН-2500/110	110/6,6	1,6 + j1,2	6,5
17	ТРДЦН-63000/110	115/10,5/10,5	45 + j25	10,3
18	ТРДЦН-63000/220	230/11/11	40 + j20	10,6
19	ТРДЦН-100000/220	230/11/11	80 + j40	10,5
20	ТМН-2500/110	110/6,6	1,8 + j1,6	6,4
21	ТМН-6300/110	115/11	5 + j3	10,7
22	ТДН-10000/110	115/6,6	9 + j4	6,5
23	ТМН-4000/35	35/11	3 + j2	10,7
24	ТМН-6300/35	35/6,3	5 + j3	6,0
25	ТМН-10000/35	36,75/6,3	8 + j4	6,1
26	ТРДН-40000/110	115/10,5/10,5	25 + j10	10,2
27	ТРДЦН-63000/220	230/6,6/6,6	45 + j20	6,5
28	ТДН-16000/110	115/11	12 + j8	10,6
29	ТРДН-25000/110	115/10,5/10,5	15 + j12	10,2
30	ТДН-10000/110	115/6,6	7 + j4	6,3

Таблица 45

## Количество параллельно включенных трансформаторов

Номер варианта	1–5	6–10
Количество трансформаторов	1	2

### Задача 25

Для двухобмоточного трансформатора (см. рис. 10), данные которого указаны в табл. 44 и 45, начертить расчетную схему.

Определить нагрузочные потери активной и реактивной мощности, мощность  $\underline{S}_2$ , продольную и поперечную составляющие падения напряжения в обмотках, модуль падения напряжения и напряжение  $U_2$  на стороне низшего напряжения трансформатора.

Мощность  $\underline{S}_1$  и напряжение  $U_1$  на шинах высшего напряжения трансформатора указаны в табл. 46.

Полученные результаты нанести на расчетную схему.

Таблица 46

#### Варианты исходных данных

Номер варианта	$\underline{S}_1$ , МВ·А	$U_1$ , кВ	Номер варианта	$\underline{S}_1$ , МВ·А	$U_1$ , кВ	Номер варианта	$\underline{S}_1$ , МВ·А	$U_1$ , кВ
1	$0,08 + j0,06$	36,9	11	$8,5 + j5$	38,3	21	$5 + j3$	121,4
2	$0,1 + j0,08$	36,5	12	$35 + j15$	120,0	22	$9 + j4$	120,5
3	$0,2 + j0,1$	36,3	13	$0,3 + j0,15$	35,7	23	$3 + j2$	36,5
4	$0,3 + j0,2$	35,9	14	$0,5 + j0,3$	35,9	24	$5 + j3$	36,5
5	$2 + j1,8$	36,9	15	$0,8 + j0,6$	36,0	25	$8 + j4$	36,4
6	$10 + j6$	119,9	16	$1,6 + j1,2$	116,2	26	$25 + j10$	118,3
7	$16 + j10$	120,2	17	$45 + j25$	120,1	27	$45 + j20$	239,5
8	$35 + j13$	119,3	18	$40 + j20$	239,4	28	$12 + j8$	121,0
9	$3 + j1,5$	36,2	19	$80 + j40$	241,7	29	$15 + j12$	120,9
10	$5 + j2,5$	36,1	20	$1,8 + j1,6$	118,1	30	$7 + j4$	120,3

### Задача 26

На подстанции установлен трехобмоточный трансформатор (рис. 11). Тип трансформатора, нагрузки  $\underline{S}_2$ ,  $\underline{S}_3$  на шинах соответственно среднего и низшего напряжения и напряжение  $U_1$  на шинах высшего напряжения трансформатора указаны в табл. 47, количество параллельно включенных трансформаторов – в табл. 48.

Для заданного варианта найти паспортные данные трансформатора.

Начертить расчетную схему трансформатора.

Определить нагрузочные потери активной и реактивной мощности, мощность  $\underline{S}_1$ , продольную и поперечную составляющие падения напряжения, модули падения напряжения в обмотках и напряжения на стороне среднего и низшего напряжения трансформатора.

Полученные результаты нанести на расчетную схему.

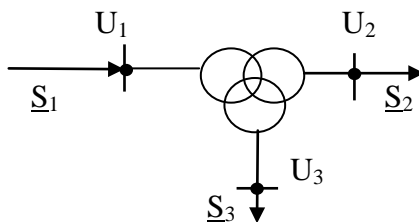


Рис. 11. Принципиальная схема трехобмоточного трансформатора

Таблица 47

### Варианты исходных данных

Номер варианта	Тип трансформатора (автотрансформатора)	Коэффициент трансформации	$U_1$ , кВ	Нагрузки, МВ·А	
				$\underline{S}_2$	$\underline{S}_3$
1	ТМТН-6300/110	115/38,5/6,6	114	$2 + j1$	$3 + j2$
2	ТДТН-10000/110	115/38,5/11	112	$5,5 + j4$	$4 + j1$
3	ТДТН-16000/110	115/38,5/6,6	111	$8 + j4$	$6 + j4,3$
4	ТДТН-25000/110	115/38,5/11	113	$11 + j9$	$10 + j6$
5	ТДТНЖ-25000/110	115/27,5/11	116	$12 + j6$	$10 + j5$
6	ТДТН-40000/110	115/38,5/6,6	118	$16 + j10$	$17 + j12$

Окончание табл. 47

Номер варианта	Тип трансформатора (автотрансформатора)	Коэффициент трансформации	U <sub>1</sub> , кВ	Нагрузка, МВ·А	
				S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
7	ТДТНЖ-40000/110	115/27,5/11	117	15 + j11	14 + j9
8	ТДТН-63000/110	115/38,5/6,6	119	22 + j16	25 + j18
9	ТДТН-80000/110	115/38,5/11	121	40 + j20	25 + j15
10	ТДТН-25000/220	230/38,5/11	225	12 + j8	10 + j5
11	ТДТНЖ-25000/220	230/27,5/6,6	233	10 + j5	11 + j7
12	ТДТН-40000/220	230/38,5/11	236	15 + j10	18 + j11
13	ТДТНЖ-40000/220	230/27,5/6,6	238	17 + j9	14 + j10
14	АТДЦТН-63000/220/110	230/121/11	237	45 + j22	13 + j11
15	АТДЦТН-125000/220/110	230/121/38,5	232	90 + j70	15 + j10
16	АТДЦТН-200000/220/110	230/121/38,5	240	95 + j75	22 + j15
17	АТДЦТН-250000/220/110	230/121/10,5	242	170 + j80	20 + j10
18	АТДЦТН-125000/330/110	330/115/38,5	350	80 + j60	20 + j12
19	АТДЦТН-200000/330/110	330/115/10,5	356	120 + j50	25 + j14
20	АТДЦТН-250000/330/150	330/158/10,5	358	155 + j75	20 + j15
21	АТДЦТН-240000/330/220	330/242/11	360	130 + j65	17 + j13
22	АТДЦТН-250000/500/110/10,5	500/121/10,5	515	180 + j70	19 + j12
23	АТДЦТН-250000/500/110/11	500/121/11	520	185 + j65	19 + j16
24	ТМТН-6300/110	115/38,5/6,6	118	3 + j2	2 + j1,5
25	ТДТН-10000/110	115/38,5/11	117	5 + j2,5	4,5 + j2
26	ТДТН-16000/110	115/38,5/6,6	115	9 + j5	4 + j2
27	ТДТН-25000/110	115/38,5/11	114	12 + j7	10 + j5
28	ТДТНЖ-25000/110	115/27,5/11	118	11 + j5	12 + j6
29	ТДТН-40000/110	115/38,5/6,6	120	14 + j10	16 + j12
30	ТДТНЖ-40000/110	230/27,5/6,6	119	17 + j9	13 + j10

Таблица 48

Количество параллельно включенных трансформаторов

Номер варианта	1–5	6–10
Количество трансформаторов	1	2

### Задача 27

От шин подстанции А питается электрическая сеть напряжением 35 кВ (рис. 12). Площадь сечения сталеалюминиевого провода, длина линии, тип трансформатора, нагрузка в конце сети  $S_2$ , указаны в табл. 49, напряжение на шинах подстанции  $U_A$  – в табл. 50.

Начертить расчетную схему сети.

Определить потоки мощности в начале и в конце каждого участка сети, потери мощности и потери напряжения в линии и трансформаторе, напряжения в узлах сети.

Результаты нанести на расчетную схему.

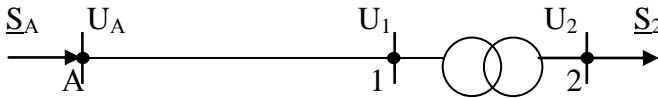


Рис. 12. Схема электрической сети

Таблица 49

### Варианты исходных данных

Номер варианта	Площадь сечения проводов марки АС	Длина линии, км	Тип трансформатора	Коэффициент трансформации	$S_2$ , МВ·А
1	70/11	15,5	ТМ-100/35	35/0,4	0,08 + j0,06
2	95/16	16,2	ТМ-160/35	35/0,4	0,1 + j0,08
3	70/11	17,3	ТМ-250/35	35/0,4	0,2 + j0,1
4	95/16	19,6	ТМН-400/35	35/0,4	0,3 + j0,2
5	120/19	20,4	ТМН-2500/35	35/6,3	2 + j1,8
6	150/24	21,1	ТМН-4000/35	35/11	3 + j1,5
7	150/24	21,8	ТМН-6300/35	35/6,3	5 + j2,5
8	70/11	15,5	ТМ-100/35	35/0,4	0,06 + j0,04
9	95/16	16,9	ТМ-160/35	35/0,4	0,14 + j0,06
10	70/11	16,2	ТМ-250/35	35/0,4	0,18 + j0,15
11	95/16	17,6	ТМН-400/35	35/0,4	0,25 + j0,15
12	120/19	18,3	ТМН-2500/35	35/6,3	2,2 + j0,8
13	150/24	19,0	ТМН-4000/35	35/11	3 + j1,2
14	150/24	19,7	ТМН-6300/35	35/6,3	4,5 + j2
15	70/11	15,3	ТМ-100/35	35/0,4	0,07 + j0,05
16	95/16	13,5	ТМ-160/35	35/0,4	0,12 + j0,06
17	70/11	15,7	ТМ-250/35	35/0,4	0,21 + j0,14
18	95/16	18,5	ТМН-400/35	35/0,4	0,35 + j0,2
19	120/19	19,3	ТМН-2500/35	35/6,3	2,1 + j1,5
20	150/24	20,1	ТМН-4000/35	35/11	3,2 + j1,3
21	150/24	20,9	ТМН-6300/35	35/6,3	5,1 + j2,2
22	70/11	16,8	ТМ-100/35	35/0,4	0,06 + j0,04
23	95/16	15,2	ТМ-160/35	35/0,4	0,12 + j0,06

Окончание табл. 49

Номер варианта	Площадь сечения проводов марки АС	Длина линии, км	Тип трансформатора	Коэффициент трансформации	$\underline{S}_2$ , МВ·А
24	70/11	14,7	ТМ-250/35	35/0,4	$0,22 + j0,12$
25	95/16	22,5	ТМН-400/35	35/0,4	$0,35 + j0,15$
26	120/19	23,3	ТМН-2500/35	35/6,3	$2,1 + j0,6$
27	150/24	24,1	ТМН-4000/35	35/11	$2,8 + j1,2$
28	150/24	24,9	ТМН-6300/35	35/6,3	$4,8 + j2,3$
29	70/11	16,1	ТМ-100/35	35/0,4	$0,05 + j0,03$
30	95/16	16,9	ТМ-160/35	35/0,4	$0,14 + j0,06$

Таблица 50

### Варианты исходных данных

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_A$ , кВ	35,9	35,3	35,5	35,2	35,7	35,4	35,1	35,6	35,8	35,0

### Задача 28

От шин подстанции А питается электрическая сеть напряжением 110 кВ (рис. 13).

Линия выполнена проводом АС240/32. Длина линии, тип трансформатора, коэффициенты трансформации, нагрузки  $\underline{S}_1$ ,  $\underline{S}_2$ ,  $\underline{S}_3$  соответственно на стороне высшего, среднего и низшего напряжения указаны в табл. 51, напряжение на шинах питающей подстанции  $U_A$  – в табл. 52.

Начертить расчетную схему сети.

Определить потоки мощности в начале и в конце каждого участка сети, потери мощности и потери напряжения в линии и обмотках трансформатора, напряжения в узлах сети.

Результаты нанести на расчетную схему.

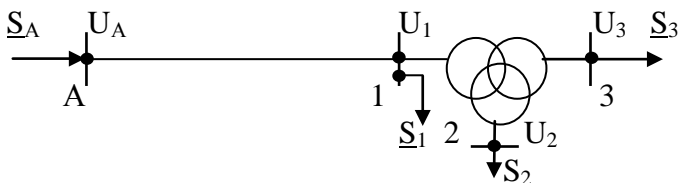


Рис. 13. Схема электрической сети

Таблица 51



## Варианты исходных данных

Номер варианта	Длина линии, км	Тип трансформатора	Коэффициент трансформации	Нагрузка, МВ·А		
				$S_1$	$S_2$	$S_3$
1	15	ТМТН-6300/110	115/38,5/6,6	11 + j6	2 + j1	3 + j2
2	18	ТДТН-10000/110	115/38,5/11	12 + j8	5,5 + j4	4 + j1
3	42	ТДТН-16000/110	115/38,5/6,6	8 + j6	8 + j4	6 + j3
4	24	ТДТН-25000/110	115/38,5/11	10 + j7	11 + j9	10 + j6
5	27	ТДТНЖ-25000/110	115/27,5/11	9 + j4	12 + j6	10 + j5
6	30	ТДТН-40000/110	115/38,5/6,6	12 + j8	16 + j10	17 + j12
7	33	ТДТНЖ-40000/110	115/27,5/11	10 + j7	15 + j11	14 + j9
8	36	ТДТН-63000/110	115/38,5/6,6	11 + j4	22 + j16	25 + j18
9	39	ТДТН-80000/110	115/38,5/11	10 + j5	40 + j20	25 + j15
10	21	ТМТН-6300/110	115/38,5/6,6	12 + j6	2,1 + j0,8	3,2 + j2,1
11	45	ТДТН-10000/110	115/38,5/11	10 + j7	5,7 + j3,2	4,1 + j1,1
12	48	ТДТН-16000/110	115/38,5/6,6	11 + j9	8 + j4,2	6,1 + j3,8
13	31	ТДТН-25000/110	115/38,5/11	10 + j6	10,9 + j9	11, + j6
14	10	ТДТНЖ-25000/110	115/27,5/11	9 + j4	12 + j6,5	10 + j5,8
15	15	ТДТН-40000/110	115/38,5/6,6	10 + j5	16 + j12	18 + j11
16	26	ТДТНЖ-40000/110	115/27,5/11	9 + j6	15 + j10	14 + j9,5
17	30	ТДТН-63000/110	115/38,5/6,6	8 + j5	24 + j16	22 + j18
18	54	ТДТН-80000/110	115/38,5/11	15 + j8	40 + j20	35 + j15
19	35	ТМТН-6300/110	115/38,5/6,6	9 + j4	1,8 + j1,3	3,1 + j2
20	22	ТДТН-10000/110	115/38,5/11	8 + j6	5,2 + j4	3,5 + j1
21	35	ТДТН-16000/110	115/38,5/6,6	12 + j7	6 + j4	5 + j3
22	25	ТДТН-25000/110	115/38,5/11	7 + j2	10 + j8,5	9 + j6
23	30	ТДТНЖ-25000/110	115/27,5/11	10 + j4	12 + j6	10 + j5
24	32	ТМТН-6300/110	115/38,5/6,6	14 + j9	3 + j2	2 + j1,5
25	24	ТДТН-10000/110	115/38,5/11	8 + j5	5 + j2,5	4,5 + j2
26	28	ТДТН-16000/110	115/38,5/6,6	8 + j4	9 + j5	4 + j2
27	34	ТДТН-25000/110	115/38,5/11	13 + j6	12 + j7	10 + j5
28	20	ТДТНЖ-25000/110	115/27,5/11	14 + j8	11 + j5	12 + j6
29	36	ТДТН-40000/110	115/38,5/6,6	15 + j9	14 + j10	16 + j12
30	38	ТДТНЖ-40000/110	230/27,5/6,6	12 + j8	13 + j10	17 + j9

## Варианты исходных данных

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_A, \text{кВ}$	121	115	120	119	117	116	118	114	112	113

## Задача 29

От шин подстанции А питается разомкнутая электрическая сеть напряжением 110 кВ, выполненная сталеалюминиевыми проводами (рис. 14).

Площади сечения проводов, нагрузки в узлах, напряжение на шинах подстанции  $U_A$  указаны в табл. 53, длины участков сети – в табл. 54.

Составить расчетную схему сети.

Определить потоки мощности в начале и в конце каждого участка сети, потери мощности и падения напряжения в линиях, напряжения в узлах сети.

Результаты нанести на расчетную схему.

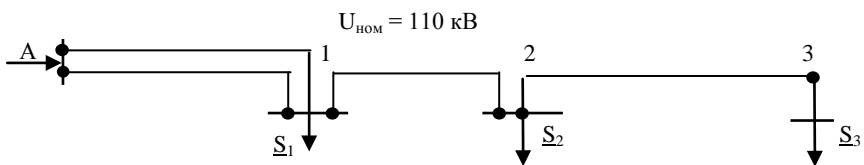


Рис. 14. Схема разомкнутой электрической сети одного номинального напряжения

Таблица 53

## Варианты исходных данных

Номер варианта	Площадь сечения проводов марки АС на участках			Нагрузка в узлах, МВ·А			U <sub>А</sub> , кВ
	А-1	1-2	2-3	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	
1	240/32	185/29	70/11	12 + j10	6 + j3	4 + j2	121
2	240/32	150/24	95/16	10 + j8	15 + j9	3 + j2	115
3	240/32	185/29	150/24	12 + j9	14 + j8	4 + j1	120
4	185/29	150/24	120/19	10 + j6	8 + j5	5 + j3	118
5	185/29	150/24	120/19	9 + j5	12 + j10	4 + j2	116
6	240/32	150/24	120/19	11 + j6	12 + j9	3 + j1	115
7	240/32	185/29	150/24	12 + j8	11 + j6	4 + j3	119
8	240/32	150/24	150/24	8 + j6	12 + j7	5 + j4	117
9	185/29	120/19	70/11	10 + j7	9 + j6	4 + j3	115
10	240/32	150/24	185/29	12 + j8	8 + j5	5 + j2	121
11	240/32	185/29	70/11	9 + j4	15 + j8	3 + j2	117
12	240/32	150/24	95/16	10 + j7	9 + j4	4 + j3	121
13	240/32	185/29	150/24	11 + j4	8 + j6	5 + j4	116
14	185/29	150/24	120/19	10 + j5	12 + j7	3 + j2	119
15	185/29	150/24	120/19	12 + j6	7 + j2	4 + j1	115
16	240/32	150/24	120/19	10 + j7	10 + j4	3 + j2	118
17	240/32	185/29	150/24	11 + j9	14 + j10	4 + j1	115
18	240/32	150/24	150/24	10 + j6	8 + j5	3 + j2	120
19	185/29	120/19	150/24	9 + j4	12 + j10	4,5 + j1	119
20	240/32	150/24	185/29	10 + j5	13 + j6	5 + j2	121
21	240/32	185/29	120/19	10 + j8	8 + j3	3 + j2	120
22	240/32	150/24	120/19	5 + j4	9 + j3	4 + j2	121
23	240/32	185/29	150/24	8 + j6	8 + j5	3 + j1	117
24	185/29	150/24	120/19	7 + j6	10 + j3	6 + j2	120
25	185/29	150/24	120/19	6 + j5	15 + j9	5 + j3	119
26	240/32	150/24	120/19	8 + j7	12 + j7	4 + j2	121
27	240/32	185/29	150/24	10 + j7	6 + j4	5 + j3	120
28	240/32	150/24	150/24	10 + j6	8 + j4	6 + j4	115
29	185/29	120/19	150/24	9 + j5	9 + j4	5 + j2	118
30	240/32	150/24	185/29	9 + j4	9 + j6	3 + j2	115

## Варианты исходных данных

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Длина участков сети, км	A-1	25	30	25	25	30	35	35	25	20	35
	1-2	20	10	15	10	25	20	10	35	25	15
	2-3	15	20	10	15	10	10	20	10	15	10

## Задача 30

От шин электрической станции А питается разомкнутая электрическая сеть с номинальными напряжениями  $U_{1ном} = 110$  кВ и  $U_{2ном} = 35$  кВ (рис. 15). Напряжение на шинах электростанции  $U_A = 121$  кВ. Номинальные напряжения трансформаторов на подстанции 2 равны 115/38,5/6,6 кВ.

Площади сечения сталеалюминиевых проводов и нагрузки в узлах указаны в табл. 55, длины участков сети – в табл. 56.

Начертить расчетную схему сети.

Определить потоки мощности в начале и в конце каждого участка сети, потери мощности и потери напряжения в линиях и трансформаторах, модули напряжений в узлах.

Результаты нанести на расчетную схему.

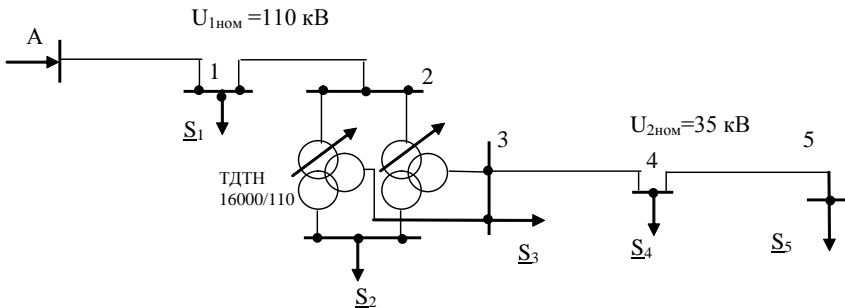


Рис. 15. Схема разомкнутой электрической сети

с двумя номинальными напряжениями



Таблица 55

## Варианты исходных данных

Номер варианта	Площадь сечения проводов марки АС на участках				Нагрузка в узлах, МВ·А				
	A-1	1-2	3-4	4-5	$\underline{S}_1$	$\underline{S}_2$	$\underline{S}_3$	$\underline{S}_4$	$\underline{S}_5$
1	150/24	120/19	95/16	70/11	$10 + j5$	15 + 10	4 + j1	2 + j1	3 + j1
2	240/32	185/29	120/19	95/16	$12 + j7$	14 + j8	5 + j1	3 + j1	2 + j2
3	240/32	150/24	95/16	70/11	$13 + j4$	2 + j1	17 + j10	4 + j2	2 + j1
4	185/29	120/19	95/16	70/11	$11 + j6$	7 + j2	13 + j8	3 + j2	2 + j1
5	240/32	185/29	120/19	70/11	$14 + j3$	4 + j1	13 + j5	4 + j2	3 + j1
6	185/29	95/16	150/24	70/11	$10 + j6$	8 + j3	12 + j4	1 + j1	2 + j1
7	185/29	120/19	150/24	95/16	$11 + j5$	6 + j2	7 + j3	2 + j1	3 + j1
8	240/29	95/16	120/19	70/11	$12 + j6$	13 + j4	5 + j2	3 + j1	2 + j2
9	120/19	240/32	95/16	70/11	$13 + j7$	3 + j1	12 + j7	4 + j2	3 + j1
10	185/29	185/29	120/19	70/11	$14 + j4$	12 + j5	4 + j2	5 + j2	2 + j1
11	240/32	120/19	95/16	95/16	$15 + j10$	10 + j5	3 + j1	4 + j1	2 + j1
12	240/32	185/29	95/16	70/11	$14 + j8$	12 + j7	2 + j2	5 + j1	3 + j1
13	240/32	120/19	120/19	95/16	2 + j1	13 + j4	2 + j1	17 + j10	4 + j2
14	240/32	95/16	120/19	70/11	7 + j2	11 + j6	2 + j1	13 + j8	3 + j2
15	240/32	95/16	120/19	70/11	4 + j1	14 + j3	3 + j1	13 + j5	4 + j2
16	185/29	150/24	120/19	70/11	8 + j3	10 + j6	2 + j1	12 + j4	1 + j1
17	240/32	150/24	150/24	120/19	6 + j2	11 + j5	3 + j1	7 + j3	2 + j1
18	150/24	120/19	95/16	70/11	$13 + j4$	12 + j6	2 + j2	5 + j2	3 + j1
19	185/29	120/19	95/16	70/11	3 + j1	13 + j7	3 + j1	12 + j7	4 + j2
20	240/32	150/24	120/19	70/11	$12 + j5$	14 + j4	4 + j2	5 + j2	2 + j1
21	185/29	185/29	120/19	70/11	$10 + j5$	15 + j10	2 + j1	3 + j1	4 + j1
22	240/32	150/24	95/16	95/16	$12 + j7$	14 + j8	3 + j1	2 + j2	5 + j1

23	240/32	185/29	95/16	70/11	$13 + j4$	$2 + j1$	$4 + j2$	$2 + j1$	$17 + j10$
24	240/32	120/19	120/19	95/16	$11 + j6$	$7 + j2$	$3 + j2$	$2 + j1$	$13 + j8$
25	240/32	95/16	120/19	70/11	$14 + j3$	$4 + j1$	$4 + j2$	$3 + j1$	$13 + j5$
26	240/32	95/16	120/19	70/11	$10 + j6$	$8 + j3$	$1 + j1$	$2 + j1$	$12 + j4$
27	240/32	150/24	120/19	70/11	$11 + j5$	$6 + j2$	$2 + j1$	$3 + j1$	$7 + j3$
28	240/32	185/29	150/24	95/16	$12 + j6$	$13 + j4$	$3 + j1$	$2 + j2$	$5 + j2$
29	150/24	120/19	95/16	70/11	$13 + j7$	$3 + j1$	$4 + j2$	$3 + j1$	$12 + j7$
30	185/29	150/24	95/16	70/11	$14 + j4$	$12 + j5$	$5 + j2$	$2 + j1$	$4 + j2$

Таблица 56

### Варианты исходных данных

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина участков сети, км	A-1	25	30	25	25	30	35	35	25	35
	1-2	20	10	15	10	25	20	10	35	25
	3-4	10	8	7	8	5	6	7	8	9
	4-5	5	6	4	7	4	5	6	5	3

### Задача 31

Для электрической сети номинальным напряжением 10 кВ, показанной на рис. 16, начертить расчетную схему.

Марки проводов и нагрузки в узлах указаны в табл. 57, длины участков сети – в табл. 58.

Для нагрузок узлов 1, 2, 5  $\cos\varphi = 0,9$ , для нагрузок узлов 3, 4  $\cos\varphi = 0,8$ .

Определить токи на участках и наибольшую потерю напряжения в электрической сети



Токораспределение нанести на расчетную схему.

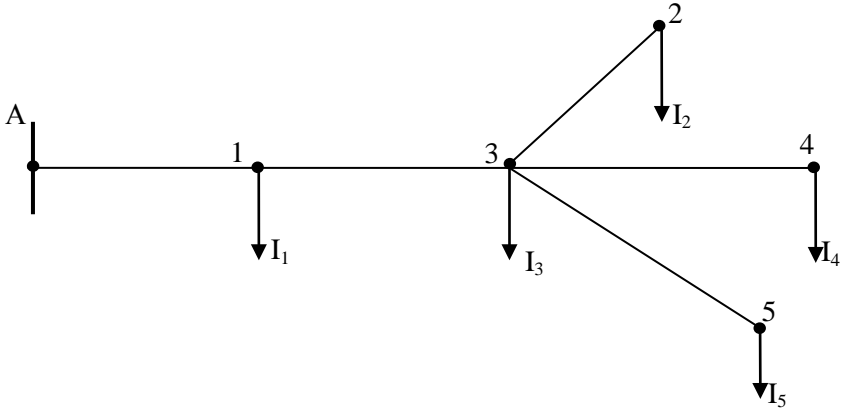


Рис. 16. Схема электрической сети номинальным напряжением 10 кВ

Таблица 57

Варианты исходных данных

Номер варианта	Марка провода	Нагрузка в узлах, А				
		1	2	3	4	5
1	A 35	28	36	18	11	24
2	A 50	50	28	22	19	14
3	A 70	20	20	26	27	39
4	A 95	93	12	3	4	12
5	A 120	104	14	5	29	10
6	A 50	25	14	30	38	22
7	AC 25	15	32	24	9	18
8	AC 35	18	33	25	16	19
9	AC 50	75	23	14	28	10
10	AC 70	64	21	34	28	17
11	AC 95	86	27	8	5	13
12	AC 120	80	8	14	4	27
13	AC 70	52	30	13	8	5
14	A 35	30	24	12	8	11
15	A 50	54	32	20	17	6
16	A 70	63	10	12	8	4

17	A 95	84	16	18	12	10
18	A 120	112	25	18	12	9
19	A 70	48	15	4	7	2
20	AC 25	44	23	18	10	6
21	AC 35	35	20	14	12	8
22	AC 50	62	30	22	16	11
23	AC 70	78	33	21	18	12
24	AC 95	86	29	24	16	13
25	AC 120	80	74	36	19	8
26	AC 70	66	40	27	13	5
27	A 35	22	37	20	12	15
28	A 50	66	45	28	16	10
29	A 70	72	34	28	23	17
30	A 95	44	61	29	37	19

Таблица 58

### Варианты исходных данных

Номер варианта		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина участков сети, км	A-1	9,5	5,2	2,7	3,6	3,2	1,3	8,2	5,4	2,6	4,8
	1-3	3,7	6,3	5,1	8,4	5,8	3,5	1,7	5,3	8,9	2,5
	3-2	6,4	3,1	4,4	7,2	4,7	2,8	2,3	3,9	5,5	7,1
	3-4	5,2	4,5	3,7	6,1	3,9	6,3	3,1	4,7	6,3	7,9
	3-5	1,8	3,3	2,8	1,2	0,8	2,2	0,9	2,3	3,7	5,1

### Задача 32

Для схемы осветительной сети номинальным напряжением 220 В, показанной на рис. 17, начертить расчетную схему.

Сеть выполнена проводом марки АПвБбШв 2×16, для которого  $r_0 = 1,91$  Ом/км,  $x_0 = 0,06$  Ом/км.

Данные о нагрузках узлов указаны в табл. 59, длины участков сети – в табл. 60. На участке 1–2  $\cos\varphi = 0,92$ , на участке 1–3  $\cos\varphi = 1$ .

Определить наибольшую потерю напряжения.

Потокораспределение нанести на расчетную схему.

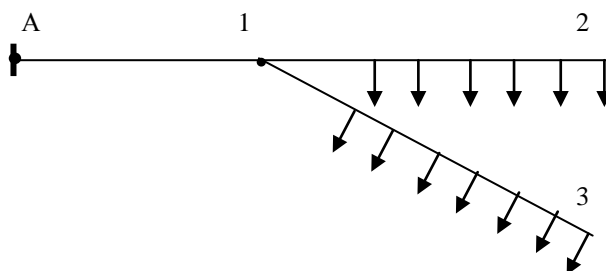


Рис. 17. Схема электрической сети с равномерно распределенной нагрузкой

Таблица 59

Варианты исходных данных

Номер варианта	Нагрузка на участках сети, Вт	
	1-2	1-3
1	400	400
2	500	300
3	1000	500
4	200	300
5	440	200
6	380	400
7	400	520
8	800	300
9	600	600
10	450	550
11	250	100
12	200	210
13	270	200
14	210	230
15	200	390
16	400	250

17	300	510
18	200	570
19	450	430
20	250	200
21	240	310
22	300	270
23	300	330
24	210	490
25	400	350
26	410	400
27	470	340
28	410	530
29	500	390
30	300	300

Таблица 60

### Варианты исходных данных

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Длины участков сети, м	A-1	120	122	150	170	120	110	100	140	170	106
	1-2	100	102	90	80	150	100	200	80	50	210
	1-3	200	100	70	60	100	120	120	90	60	70

### Задача 33

От шин узловой подстанции А питается электрическая сеть напряжением 110 кВ (рис. 18). Длины участков, марки проводов, нагрузки узлов при номинальном напряжении и напряжение на шинах подстанции  $U_A$  принять из табл. 61, 62. Нагрузки узлов изменяются в соответствии со статическими характеристиками по напряжению:

$$P = P_{\text{ном}} \left( 0,83 - 0,3 \frac{U}{U_{\text{ном}}} + 0,47 \left( \frac{U}{U_{\text{ном}}} \right)^2 \right),$$

$$Q = Q_{\text{НОМ}} \left( 5,5 - 10,7 \frac{U}{U_{\text{НОМ}}} + 6,2 \left( \frac{U}{U_{\text{НОМ}}} \right)^2 \right),$$

где  $P_{\text{НОМ}}$ ,  $Q_{\text{НОМ}}$  – нагрузки узлов при номинальном напряжении (см. табл. 62).

Представить каждый участок линии П-образной схемой замещения, содержащей активное и реактивное сопротивления и зарядные мощности линий.

Определить потоки мощности в начале и в конце каждого участка сети и напряжения в узлах с учетом изменения нагрузок узлов и зарядных мощностей линий в зависимости от напряжения в данной точке сети.

Результаты представить в виде схемы с нанесенными на нее мощностями в начале и в конце каждого участка и в узлах сети, а также напряжениями во всех узлах. Результаты получить после трех итераций расчета.

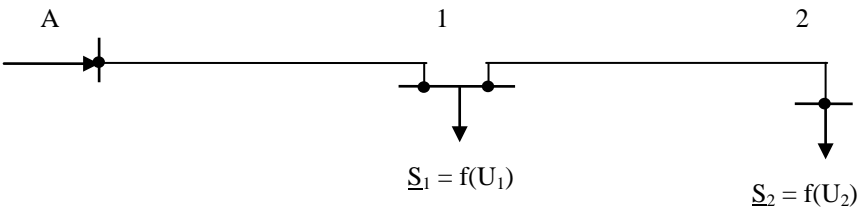


Рис. 18. Схема электрической сети

Таблица 61

### Параметры линий электропередачи

Номер варианта	Площадь сечения проводов марки АС на участках		Длина участков, км	
	А – 1	1 – 2	А – 1	1 – 2
1, 2	240/32	95/16	20	25
3, 4	240/32	185/29	30	15
5, 6	120/19	95/16	16	24

7, 8	185/29	120/19	13	17
9, 10	240/32	120/19	19	21
11, 12	185/29	150/19	15	16
13, 14	240/32	185/29	25	20
15, 16	120/19	70/11	17	11
17, 18	120/19	120/19	32	15
19, 20	240/32	150/19	14	18
21, 22	185/29	185/29	30	16
23, 24	120/19	95/16	19	26
25, 26	150/24	120/19	26	18
27, 28	185/29	95/16	16	21
29, 30	150/24	95/16	17	19

Таблица 62

Исходная информация о параметрах режима

Номер варианта	Нагрузка в узлах при номинальном напряжении, МВ·А		Напряжение $U_A$ , кВ
	$S_1$	$S_2$	
1	25 + j11	20 + j10	115
2	18 + j12	25 + j12	121
3	13 + j11	18 + j10	120
4	12 + j9	17 + j9	118
5	19 + j10	22 + j13	116
6	14 + j8	24 + j14	114
7	17 + j10	18 + j11	119
8	18 + j11	19 + j12	120
9	18 + j10	17 + j8	116
10	19 + j9	21 + j13	117

Дополнительные задачи для решения по данному разделу приведены в [3], с. 68–69, 77–78, контрольные вопросы – с. 107, решения задач – с. 58–68, 71–77. В [2] приведены примеры решения задач (с. 218–224, 245–269) и контрольные вопросы (с. 216–218, 243–244).





### 3.4. РАСЧЕТ И АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ПРОТЯЖЕННЫХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

#### Задача 34

Для заданного преподавателем варианта линии электропередачи номинальным напряжением 750 кВ, выполненной проводом марки АС длиной  $L$  (табл. 63, 64), определить параметры полной П-образной схемы замещения, волновое сопротивление, коэффициент распространения электромагнитной волны, волновую длину, натуральную мощность.

Определить также волновое сопротивление и натуральную мощность, полагая линию идеализированной (без потерь).

Таблица 63

#### Исходная информация о сечениях фаз

Номер варианта	1–5	6–10	11–15	16–22	23–30
Площадь сечения проводов фазы линии марки АС	5×300/66	5×400/51	4×400/93	4×500/64	5×240/56

Таблица 64

#### Исходная информация о длинах линии и нагрузках

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина линии $L$ , км	700	600	800	550	650	750	850	900	950	1000
Мощность $P_2$ , МВт	2000	2200	1900	2400	2100	1900	2500	2200	1850	1700

#### Задача 35

Для заданного преподавателем варианта линии электропередачи, выполненной проводами марки АС (см. табл. 63), длиной  $L$  (см. табл. 64) с подключенной в конце линии нагрузкой  $P_2$  (см. табл. 64), определить напряжение  $\underline{U}_1$  и мощность  $\underline{S}_1$  в начале линии, если известно, что

напряжение в конце линии  $U_2 = 750$  кВ и  $\cos\varphi_2 = 1$ . Расчеты произвести:

- а) используя полную  $\Pi$ -образную схему замещения линии;
- б) полагая линию идеализированной (без потерь).

Для расчетов использовать параметры схемы замещения, определенные в задаче 34.

Сравнить результаты, полученные по пунктам *а* и *б*.

### Задача 36

Для заданного преподавателем варианта линии электропередачи, выполненной проводами марки АС (см. табл. 63), длиной  $L$  (см. табл. 64) с подключенной в конце линии нагрузкой  $P_2$  (табл. 64) определить напряжение  $\underline{U}_1$  и мощность  $\underline{S}_1$  в начале линии, если известно, что напряжение в конце линии  $U_2 = 750$  кВ и  $\cos\varphi_2 = 1$ . Расчеты произвести:

- а) используя уравнения линии, полагая ее идеализированной (без потерь);
- б) представляя линию в виде четырехполюсника.

Для расчетов использовать параметры схемы замещения, определенные в задаче 34.

Сравнить результаты, полученные по пунктам *а* и *б* и в задаче 35.

### Задача 37

Для заданного преподавателем варианта линии электропередачи, выполненной проводами марки АС (см. табл. 63), длиной  $L$  (см. табл. 64) с подключенной в конце линии нагрузкой  $P_2$  (см. табл. 64) определить напряжение  $\underline{U}_1$  и мощность  $\underline{S}_1$  в начале линии, если известно, что напряжение в конце линии  $U_2 = 750$  кВ и  $\cos\varphi_2 = 1$ . Расчеты произвести для идеализированной линии (без потерь) с использованием уравнений, содержащих собственные и взаимные проводимости линии.

Полученные результаты сравнить с результатами из задачи 36.

### Задача 38

Для заданного преподавателем варианта линии электропередачи, выполненной проводами марки АС (см. табл. 63), длиной  $L$  (см. табл. 64) определить напряжение  $\underline{U}_1$  и мощность  $\underline{S}_1$  в начале линии при мощности в конце линии  $\underline{S}_2 = 0$  (режим холостого хода) и напряжении в конце линии  $U_2 = 750$  кВ. Расчеты произвести для идеализированной линии (без потерь), используя основные уравнения линии.

### Задача 39

Для заданного преподавателем варианта идеализированной линии (без потерь), выполненной проводами марки АС (см. табл. 63), длиной  $L$  (см. табл. 64), работающей без перепада напряжения при  $U_1 = U_2 = 750$  кВ, определить реактивные мощности в начале и в конце линии и напряжение в середине линии при передаче активной мощности, равной

а)  $P_2 = 0,7P_{\text{нат}}$ ; б)  $P_2 = P_{\text{нат}}$ ; в)  $P_2 = 1,3 P_{\text{нат}}$ .

Построить эпюры распределения напряжения и реактивной мощности для случаев *а*, *б* и *в*.

### 3.5. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА РЕЖИМОВ ЗАМКНУТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

#### Задача 40

В однородной электрической сети, показанной на рис. 19, найти потоки мощности на участках сети без учета потерь мощности. Напряжения источников питания принять одинаковыми:  $U_A = U_B$ .

Нагрузки в узлах приведены в табл. 65, длины линий – в табл. 66.

Результаты расчетов представить в виде схемы с нанесенными на нее потоками мощности.

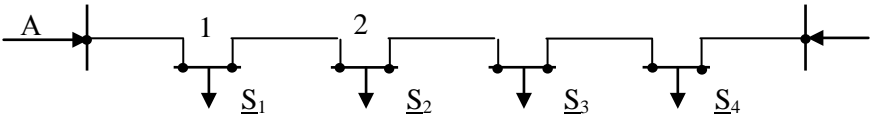


Рис. 19. Схема электрической сети с двумя источниками питания

Таблица 65

#### Варианты исходных данных

Номер варианта	Нагрузка в узлах, МВ·А				Напряжение, кВ	
	$\underline{S}_1$	$\underline{S}_2$	$\underline{S}_3$	$\underline{S}_4$	$U_A$	$U_B$
1	$80 + j16$	$90 + j13$	$105 + j12$	$100 + j10$	340	336
2	$70 + j15$	$60 + j10$	$80 + j20$	$90 + j16$	341	332
3	$60 + j10$	$80 + j14$	$50 + j10$	$70 + j20$	350	339
4	$120 + j25$	$100 + j20$	$190 + j15$	$110 + j22$	351	333
5	$100 + j15$	$120 + j13$	$90 + j29$	$150 + j10$	345	338
6	$110 + j16$	$140 + j10$	$125 + j14$	$180 + j20$	339	335
7	$200 + j30$	$120 + j10$	$150 + j15$	$120 + j10$	346	334
8	$105 + j14$	$90 + j11$	$100 + j10$	$190 + j25$	354	332
9	$130 + j10$	$110 + j12$	$105 + j15$	$150 + j20$	359	337
10	$170 + j20$	$180 + j10$	$90 + j15$	$120 + j12$	360	339
11	$120 + j20$	$150 + j10$	$120 + j12$	$80 + j18$	362	338
12	$110 + j15$	$100 + j10$	$130 + j12$	$70 + j20$	358	349

Окончание табл. 65

Номер варианта	Нагрузка в узлах, МВ·А				Напряжения, кВ	
	$\underline{S}_1$	$\underline{S}_2$	$\underline{S}_3$	$\underline{S}_4$	$U_A$	$U_B$
13	80 + j20	70 + j30	60 + j40	50 + j50	350	330
14	90 + j30	80 + j40	70 + j20	85 + j25	355	341
15	85 + j35	70 + j30	80 + j30	90 + j25	360	340
16	92 + j34	75 + j40	90 + j28	78 + j34	342	335
17	75 + j30	65 + j20	85 + j25	92 + j10	348	336
18	82 + j40	82 + j20	74 + j34	81 + j41	350	338
19	103 + j18	91 + j17	84 + j15	85 + j13	342	336
20	87 + j18	91 + j13	78 + j20	71 + j16	351	340
21	90 + j19	80 + j30	80 + j40	120 + j20	362	332
22	125 + j14	70 + j20	100 + j10	110 + j15	358	339
23	150 + j15	50 + j50	90 + j16	80 + j20	350	333
24	100 + j10	85 + j25	70 + j20	90 + j30	355	338
25	105 + j15	90 + j25	110 + j22	85 + j35	360	346
26	90 + j15	78 + j34	150 + j10	92 + j34	363	354
27	120 + j12	92 + j10	180 + j20	75 + j30	346	359
28	130 + j12	150 + j10	120 + j10	120 + j10	354	360
29	60 + j40	100 + j10	75 + j30	90 + j11	359	362
30	70 + j20	70 + j30	82 + j40	110 + j12	360	363

Таблица 66

### Исходные данные о длине линий

Номер варианта		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина линий, км	А–1, 2–3, 3–4	100	90	80	105	95	120	110	130	90	95
	1–2, В–4	120	80	95	100	70	90	80	100	110	125

### Задача 41

От шин электростанций А и В питаются четыре районные подстанции (см. рис. 19). Выполнить расчет потоков мощности в начале и конце каждого участка сети, потерь мощности и падений напряжения в линиях, напряжений на шинах каждой подстанции.

Нагрузки  $\underline{S}_1$ ,  $\underline{S}_2$ ,  $\underline{S}_3$ ,  $\underline{S}_4$ , напряжения на шинах электростанций  $U_A$ ,  $U_B$  указаны в табл. 65, длины линий – в табл. 66. Нагрузки подстан-

ций  $\underline{S}_1$ ,  $\underline{S}_2$ ,  $\underline{S}_3$ ,  $\underline{S}_4$  приведены к стороне высшего напряжения трансформаторов, зарядная мощность и потери мощности на корону линий учтены в нагрузках.

Марки проводов принять: на участках А–1, 1–2, В–4 – АС 2×400/51, на участках 2–3, 3–4 – АС 2×240/32.

Результаты расчетов представить в виде схемы с нанесенными на нее потоками мощности и напряжениями на шинах подстанций.

Потоки мощности сравнить с результатами, полученными в задаче 40.

### Задача 42

Замкнутая электрическая сеть питается от шин электростанции А (рис. 20).

Пользуясь методом контурных уравнений, выполнить приближенный расчет потокораспределения без учета потерь мощности, считая сеть однородной. Нагрузки узлов  $\underline{S}_1$ ,  $\underline{S}_2$ ,  $\underline{S}_3$ ,  $\underline{S}_4$  указаны в табл. 65, длины линий – в табл. 66.

Результаты расчетов нанести на схему.

Сравнить потоки мощности с результатами, полученными в задаче 40.

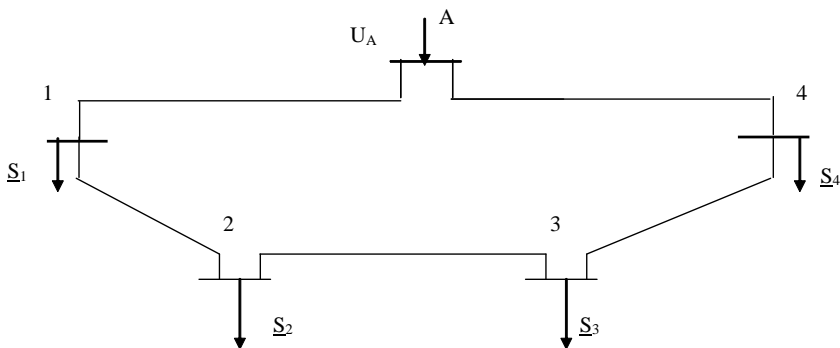


Рис. 20. Схема замкнутой электрической сети

### Задача 43

Электрическая сеть напряжением 330 кВ питается от шин электростанции А (рис. 21).

Нагрузки подстанций  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  указаны в табл. 67, длины линий – в табл. 68. Нагрузки приведены к стороне высшего напряжения трансформаторов, зарядная мощность линий и потери мощности на корону учтены в нагрузках.

Пользуясь методом контурных уравнений, выполнить приближенный расчет потокораспределения без учета потерь мощности, считая сеть однородной. Результаты расчетов нанести на схему.

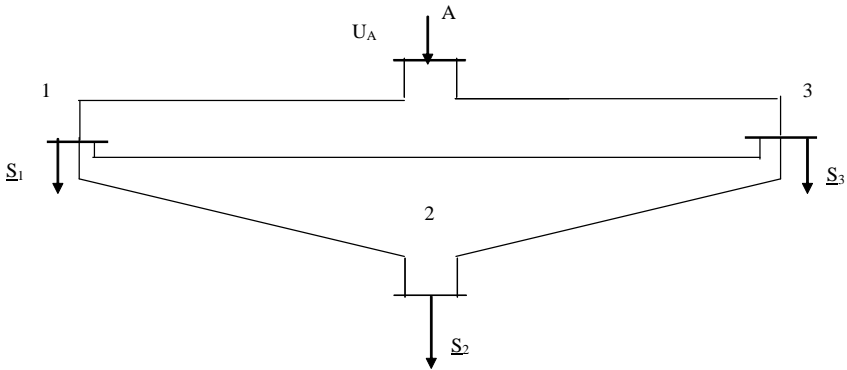


Рис. 21. Схема сложноразветвленной сети

Таблица 67

### Исходные данные о нагрузках

Номер варианта	Нагрузки в узлах, МВ·А		
	$S_1$	$S_2$	$S_3$
1	$200 + j50$	$90 + j15$	$200 + j40$
2	$160 + j40$	$120 + j20$	$160 + j50$
3	$140 + j45$	$120 + j15$	$140 + j60$
4	$220 + j55$	$80 + j10$	$220 + j50$
5	$240 + j70$	$120 + j10$	$240 + j40$
6	$200 + j50$	$100 + j30$	$200 + j50$
7	$270 + j45$	$110 + j20$	$240 + j50$
8	$190 + j60$	$85 + j15$	$200 + j40$
9	$150 + j55$	$80 + j10$	$200 + j50$

Окончание табл. 67

Номер варианта	Нагрузка в узлах, МВ·А		
	$S_1$	$S_2$	$S_3$
10	120 + j40	90 + j15	160 + j40
11	140 + j70	150 + j20	140 + j45
12	120 + j 85	190 + j25	220 + j55
13	180 + j40	80 + j20	240 + j70
14	250 + j40	120 + j30	200 + j50
15	270 + j50	100 + j20	270 + j45
16	220 + j40	120 + j30	240 + j70
17	140 + j70	90 + j30	200 + j50
18	120 + j 85	130 + j10	270 + j45
19	180 + j40	170 + j20	190 + j60
20	250 + j40	200 + j30	150 + j55
21	270 + j50	105 + j15	160 + j40
22	160 + j40	120 + j25	140 + j45
23	140 + j45	80 + j20	220 + j55
24	220 + j55	120 + j30	180 + j40
25	240 + j70	100 + j20	250 + j40
26	200 + j50	110 + j25	270 + j50
27	270 + j45	85 + j20	220 + j50
28	190 + j60	80 + j10	240 + j40
29	150 + j55	90 + j15	200 + j50
30	100 + j30	100 + j30	240 + j50

Таблица 68

### Исходные данные о длине линий

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Длина линий, км	А-1, 1-3, 2-3	100	90	80	105	95	120	110	130	90	95
	А-3, 1-2	120	80	95	100	70	90	80	100	110	125

### Задача 44

Электрическая сеть напряжением 330 кВ питается от шин электростанции А (см. рис. 21).

Нагрузки подстанций  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  указаны в табл. 67, длины линий – в табл. 68, напряжение на шинах электростанции  $U_A$  – в табл. 69 соответственно по вариантам табл. 67.



Нагрузки приведены к стороне высшего напряжения трансформаторов, зарядная мощность линий и потери мощности на корону учтены в нагрузках.

Марки проводов принять: на участках А–1, 1–2, А–3 – АС 2×400/51, на участках 1–3, 2–3 – АС 2×240/32.

Пользуясь методом контурных уравнений, выполнить электрический расчет сети, определив потоки мощности в начале и конце каждой линии, потери мощности и падения напряжения в линиях, модули напряжений на шинах каждой подстанции.

Результаты расчетов нанести на схему.

Сравнить потоки мощности на участках сети с результатами, полученными в задаче 43.

Таблица 69

#### Варианты исходных данных

Номер варианта	1–3	4–6	7–9	10–12	13–15	16–18	19–21	22–24	25–27	28–30
$U_A$ , кВ	363	359	361	352	357	345	350	344	354	358

#### Задача 45

Пользуясь методом уравнений узловых напряжений, выполнить электрический расчет сети, указанной на рис. 21. Определить напряжения на шинах подстанций, потоки мощности в начале и конце каждой линии, потери мощности в линиях.

Нагрузки подстанций  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  указаны в табл. 67, длины линий – в табл. 68, напряжение на шинах электростанции  $U_A$  – в табл. 69 соответственно по вариантам табл. 67.

Нагрузки приведены к стороне высшего напряжения трансформаторов, зарядная мощность линий и потери мощности на корону учтены в нагрузках.

Марки проводов принять: на участках А–1, 1–2, А–3 – АС 2×400/51, на участках 1–3, 2–3 – АС 2×240/32.

Результаты расчетов нанести на схему.

Сравнить потоки мощности на участках сети и напряжения в узлах с результатами, полученными в задаче 44.

## Задача 46

Замкнутая электрическая сеть содержит линию 1–2 напряжением 220 кВ и линии 3–4, 4–5 напряжением 110 кВ (рис. 22). Длины линий указаны в табл. 70.

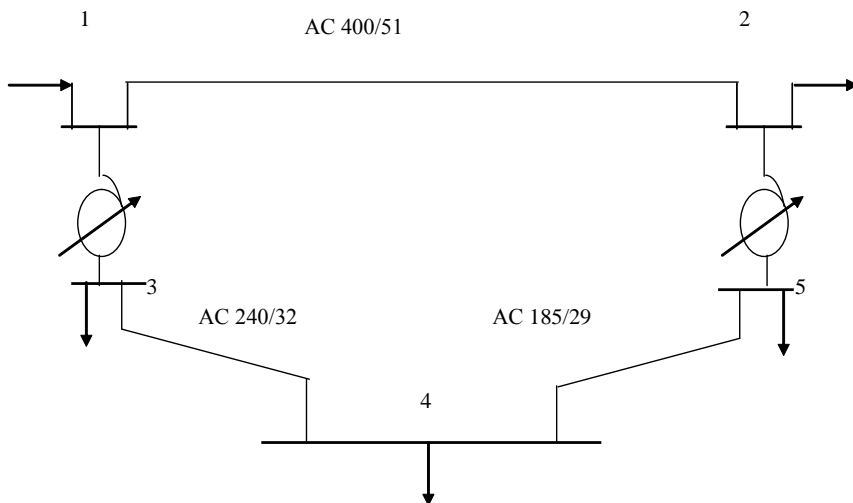


Рис. 22. Схема замкнутой сети с двумя номинальными напряжениями

На подстанциях с шинами 1–3 и 2–5 установлены одинаковые автотрансформаторы типа АТДЦТН 125000/220/110, имеющие номинальные напряжения 230/121/6,6 кВ. На стороне среднего напряжения имеется устройство регулирования напряжения с пределами  $\pm 6 \times 2\%$ . Обмотки низшего напряжения автотрансформаторов ненагружены. Активные и реактивные мощности узлов указаны в табл. 71.

Требуется выполнить электрический расчет сети, в результате которого найти потоки мощности с учетом потерь мощности на всех участках и напряжения во всех узлах сети 220 и 110 кВ.

Расчет режима произвести методом обобщенных контурных уравнений. Потерями холостого хода трансформаторов, активной и реактивной проводимостями линий пренебречь. Узел 1 принять за балансирующий. Напряжение в узле 1  $U_1 = 230$  кВ.

Расчет выполнить для двух случаев:

1) коэффициенты трансформации автотрансформаторов 1–3 и 2–5 равны:  $n_{13} = n_{25} = 230/121$ ;

2) коэффициент трансформации автотрансформатора 1–3  $n_{13} = 230/121$  кВ, а автотрансформатора 2–5  $n_{25} = 230/(121 - 5 \times 2\%)$  кВ.

Результаты расчета представить в виде схем сетей (для каждого случая – отдельная схема) с нанесенными на них направлениями и значениями мощностей в начале и в конце каждого участка и напряжениями в узлах.

Расчет произвести в следующей последовательности:

1. Определить сопротивления линий 110 кВ 3–4, 4–5 и привести их к напряжению 220 кВ.

2. Составить обобщенное контурное уравнение при  $n_{13} = n_{25}$  и найти потоки мощности без учета потерь мощности в сети 110–220 кВ.

3. Определить потокораспределение с учетом потерь мощности и напряжения в узлах. Результаты расчета нанести на схему.

4. Выполнить п. 2, 3 при неодинаковых  $n_{13}$  и  $n_{25}$  и результаты нанести на отдельную схему.

5. Определить значение и направление уравнительной мощности, созданной неодинаковыми коэффициентами трансформации  $n_{13}$  и  $n_{25}$ .

6. Сделать анализ результатов расчета.

Таблица 70

Длина линий, км

Номер варианта	1–2	3–4	4–5
1	80	40	50
2	70	50	30
3	60	30	50
4	50	40	30
5	75	45	40
6	90	45	50
7	100	50	55
8	80	55	40
9	70	60	25
10	60	45	30
11	74	44	38
12	80	42	45
13	86	30	58
14	70	48	36
15	82	52	41

Номер варианта	1–2	3–4	4–5
16	76	48	39
17	60	42	38
18	75	42	44
19	87	52	38
20	65	37	60
21	92	40	46
22	78	38	44
23	83	42	44
24	65	43	26
25	80	48	34
26	62	29	36
27	73	36	39
28	55	26	37
29	48	38	27
30	66	34	37

Для определения потоков мощности в замкнутой сети использовать уравнение

$$\sum_{i=1}^m \underline{S}_i \underline{Z}_i^* = U_0^2 \left( 1 - \prod_{i=1}^m \underline{n}_i \right),$$

где  $\underline{S}_i$  и  $\underline{Z}_i^*$  – мощность и сопротивление  $i$ -го участка;

$U_0$  – напряжение опорного узла;

$m$  – количество участков сети;

$\underline{n}_i$  – коэффициент трансформации на  $i$ -м участке сети, взятый в направлении обхода контура.

Уравнительную мощность определить по формуле

$$\underline{S}_y = \underline{S}_{i1} - \underline{S}_{i2},$$

где  $\underline{S}_{i1}$  – мощность на  $i$ -м участке при  $n_{13} = n_{25}$ ;

$\underline{S}_{i2}$  – мощность на  $i$ -м участке при неодинаковых  $n_{13}$  и  $n_{25}$ .

Приведение сопротивлений линий напряжением 110 кВ к напряжению 220 кВ произвести по формулам:

$$R_{i220} = R_{i110} \left( \frac{220}{110} \right)^2; \quad X_{i220} = X_{i110} \left( \frac{220}{110} \right)^2.$$

Таблица 71

Мощность нагрузок в узлах, МВ·А

Номер варианта	2	3	4	5
1	80 + j50	80 + j40	50 + j30	50 + j20
2	75 + j40	45 + j25	55 + j45	40 + j15
3	130 + j60	50 + j20	40 + j20	55 + j25
4	70 + j40	50 + j25	55 + j25	90 + j28
5	75 + j35	45 + j20	90 + j50	54 + j25
6	85 + j40	30 + j20	100 + j40	40 + j30
7	100 + j60	40 + j15	70 + j30	40 + j20
8	65 + j30	70 + j28	65 + j30	45 + j30
9	120 + j50	75 + j35	85 + j30	50 + j30
10	60 + j40	25 + j15	60 + j30	40 + j20

Дополнительные задачи для решения по данному разделу приведены в [3], с. 91–92, контрольные вопросы – с. 107, примеры решения задач – с. 80–91, 93–107. В [2] приведены примеры решения задач (с. 303–319), контрольные вопросы (с. 302–303). Теоретические положения и расчетные выражения для решения задач данного раздела приведены также в [5], с. 109–111, 139–140, 141–142, 108–110, 169–170, 118–123.

### 3.6. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

#### Задача 47

Для заданной принципиальной схемы электрической сети, приведенной на рис. 23, составить однолинейную схему с выключателями и разъединителями, приняв на передающей подстанции схему с двумя системами шин и обходной системой шин, а на приемной подстанции – схему «мостика», со стороны низшего напряжения – схему с двумя секциями шин. Номинальные напряжения:  $U_{1ном} = 110$  кВ,  $U_{2ном} = 10$  кВ.

Для заданного преподавателем варианта исходных данных (табл. 72, 73) определить следующие экономические показатели: капитальные затраты, годовые эксплуатационные расходы (издержки), приведенные затраты, себестоимость и стоимость передачи электроэнергии.

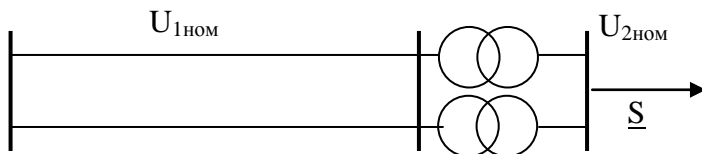


Рис. 23. Принципиальная схема электрической сети

Таблица 72

#### Параметры линии

Номер варианта	1–2	3–4	5–7	8–11	12–15	16–18	19–20	21–25	26–30
Длина линии, км	45	38	40	50	60	40	35	28	18
Площадь сечения АС	95/16	120/19	150/24	185/29	240/32	120/19	240/32	120/19	185/29

Параметры трансформаторов и нагрузок

Номер варианта	Мощность трансформатора, МВ·А	Наибольшая нагрузка $\underline{S}$ , МВ·А	Время использования
			наибольшей нагрузки $T_{нб}$ , ч
1	16	$23 + j6$	5000
2	6,3	$9 + j4$	4000
3	10	$17 + j8$	3000
4	16	$20 + j10$	4500
5	10	$18 + j3$	5500
6	6,3	$10 + j2$	3500
7	10	$16 + j5$	4800
8	16	$25 + j8$	5200
9	25	$40 + j15$	4600
10	25	$33 + j20$	5300

Капитальные затраты на одну цепь линии электропередачи с площадью сечения алюминиевой части провода фазы F, трансформаторы с номинальной мощностью  $S_{т.ном}$ , ячейки с номинальным напряжением  $U_{ном} = 110$  кВ, постоянную часть затрат в подстанции вычислить соответственно по формулам:

$$K_{л} = (A_{л} + B_{л} U_{ном}^2 + C_{л} F) k_{2005},$$

$$K_{т} = (A_{т} + B_{т} U_{ном}^2 + C_{т} S_{т.ном}) k_{2005},$$

$$K_{яч} = (A_{яч} + B_{яч} U_{ном}^2) k_{2005},$$

$$K_{п} = (A_{п} + B_{п} U_{ном}^2) k_{2005},$$

где принять  $A_{л} = 9,63 \frac{\text{тыс. руб.}}{\text{км}}$ ,  $B_{л} = 8,75 \cdot 10^{-5} \frac{\text{тыс. руб.}}{\text{км} \cdot \text{кВ}^2}$ ,

$C_{л} = 1,3 \cdot 10^{-2} \frac{\text{тыс. руб.}}{\text{км} \cdot \text{мм}^2}$ ,  $A_{т} = 20 \text{ тыс. руб.}$ ,  $B_{т} = 1,43 \cdot 10^{-3} \frac{\text{тыс. руб.}}{\text{кВ}^2}$ ,

$$C_T = 0,886 \frac{\text{тыс. руб.}}{\text{МВ} \cdot \text{А}}, \quad A_{\text{яч}} = 15 \text{ тыс. руб.}, \quad V_{\text{яч}} = 2,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{тыс. руб.}}{\text{кВ}^2},$$

$$A_{\text{п}} = 50 \text{ тыс. руб.}, \quad V_{\text{п}} = 1,3 \cdot 10^{-2} \frac{\text{тыс. руб.}}{\text{кВ}^2}.$$

Коэффициент приведения цен к уровню 2005 года принять  $k_{2005} = 6150$ , норму дисконта  $E = 0,12$ , стоимость ячейки подстанции с номинальным напряжением 10 кВ, равной ориентировочно 8000 тыс. руб., стоимость потерь электроэнергии  $200 \frac{\text{руб.}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$ , количество ячеек, подключенных к шинам 10 кВ,  $n \approx 0,5 S_{\text{т.ном}}$ . Постоянную часть затрат в передающую подстанцию не учитывать. Полагать, что цепи линии и трансформаторы работают параллельно.

При расчетах принять: для воздушных линий отчисления на амортизацию  $r_a = 0,024$ , на текущий ремонт и обслуживание  $r_{\text{ТО}} = 0,004$ ; для подстанций соответственно  $r_a = 0,058$  и  $r_{\text{ТО}} = 0,03$ .

#### Задача 48

Произвести технико-экономическое сравнение двух вариантов сооружения одноцепной линии электропередачи напряжением 110 кВ длиной  $L$  с двумя различными марками проводов площадью сечения  $F$  (табл. 74). Предполагается, что линия будет сооружаться в течение двух лет, причем в первый год будет реализовано 0,6 от полных капитальных затрат, а во второй год – 0,4. После включения линии в работу на третий год после начала строительства наибольшая нагрузка составит  $S_3$ , на четвертый год  $S_4$ , на пятый  $S_5$  (табл. 75), после чего нагрузка будет оставаться неизменной. Время наибольших потерь принять  $\tau = 4000$  ч, отчисления на амортизацию, текущий ремонт и обслуживание линии  $r = 0,028$ , стоимость нагрузочных потерь энергии  $\beta = 200 \frac{\text{руб.}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$ , норму дисконта  $E = 0,12$ . Расчетный срок принять  $T = 5$  лет. Капитальные затраты на линию определить по формуле

$$K_{\text{Л}} = (A_{\text{Л}} + B_{\text{Л}} U_{\text{НОМ}}^2 + C_{\text{Л}} F) L \cdot k_{\text{уд}},$$



где при  $U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$   $A_{\text{л}} = 9,63 \frac{\text{тыс. руб.}}{\text{км}}$ ,  $B_{\text{л}} = 8,75 \cdot 10^{-5} \frac{\text{тыс. руб.}}{\text{км} \cdot \text{кВ}^2}$ ,

$C_{\text{л}} = 1,3 \cdot 10^{-2} \frac{\text{тыс. руб.}}{\text{км} \cdot \text{мм}^2}$ ,  $F$  – площадь сечения алюминиевой части

провода фазы линии.

Коэффициент удорожания принять  $k_{\text{уд}} = 6150$ .

Таблица 74

### Исходная информация о параметрах линии

Параметр	Номер варианта										
	1–3	4–6	7–9	10–12	13–15	16–18	19–21	22–24	25–27	28–30	
$L$ , км	20	40	50	30	25	35	45	50	55	33	
Площадь сечения провода АС	Вариант 1	70/11	95/16	120/19	150/24	95/16	120/19	70/11	185/29	95/16	95/16
	Вариант 2	120/19	150/24	185/29	240/32	185/29	240/32	95/16	240/32	240/32	120/19

Таблица 75

### Исходная информация о нагрузке

Номер варианта	Нагрузка, МВ·А			Номер варианта	Нагрузка, МВ·А		
	$\underline{S}_3$	$\underline{S}_4$	$\underline{S}_5$		$\underline{S}_3$	$\underline{S}_4$	$\underline{S}_5$
1	$10 + j5$	$15 + j8$	$20 + j11$	6	$27 + j12$	$30 + j16$	$35 + j19$
2	$13 + j6$	$18 + j9$	$23 + j12$	7	$30 + j12$	$35 + j16$	$40 + j18$
3	$16 + j7$	$19 + j9$	$20 + j10$	8	$35 + j14$	$39 + j17$	$44 + j20$
4	$20 + j11$	$24 + j14$	$30 + j16$	9	$15 + j6$	$20 + j9$	$30 + j14$
5	$23 + j10$	$27 + j13$	$32 + j17$	10	$26 + j13$	$32 + j18$	$38 + j22$

### Задача 49

Произвести технико-экономическое сравнение двух вариантов сооружения кабельной линии электропередачи напряжением 10 кВ длиной  $L$  с различными марками кабелей: вариант 1 – ПвПУ с площадью сечения жил  $F_1$ , вариант 2 – АПвПУ с площадью сечения жил  $F_2$  (табл. 76). Линия будет сооружаться в течение одного года.

Во втором году к ней будет подключена наибольшая нагрузка  $\underline{S}_2$ , в третьем –  $\underline{S}_3$ , в четвертом –  $\underline{S}_4$  (табл. 77), после чего нагрузка до конца срока службы линии, равного 20 годам, будет оставаться неизменной. Ликвидная стоимость линии по варианту 1 составляет 0,2 от первоначальных капитальных затрат, а по варианту 2 – 0,15. Время наибольших потерь принять  $\tau = 3500$  ч, стоимость потерь электроэнергии  $\beta = 200 \frac{\text{тыс.руб.}}{\text{МВт} \cdot \text{ч}}$ , норму дисконта –  $E = 0,12$ .

Капитальные затраты на линию определить по формуле

$$K_{\text{КЛ}} = (a_0 + a_1 F + a_2 F^2) L \cdot k_{\text{уд}},$$

где для кабелей марки ПвПУ  $a_0 = 10796 \frac{\text{тыс.руб.}}{\text{км}}$ ,

$a_1 = 403 \frac{\text{тыс.руб.}}{\text{км} \cdot \text{мм}^2}$ .  $a_2 = 0,003 \frac{\text{тыс.руб.}}{\text{км} \cdot \text{мм}^4}$ , а для кабелей марки

АПвПУ  $a_0 = 8214 \frac{\text{тыс.руб.}}{\text{км}}$ ,  $a_1 = 120 \frac{\text{тыс.руб.}}{\text{км} \cdot \text{мм}^2}$ ,

$a_2 = -0,073 \frac{\text{тыс.руб.}}{\text{км} \cdot \text{мм}^4}$ . Коэффициент удорожания на уровне 2010 года принять  $k_{\text{уд}} = 1,25$ .

Таблица 76

Исходная информация о параметрах линии

Параметр	Номер варианта									
	1–3	4–6	7–9	10–12	13–15	16–18	19–21	22–24	25–27	28–30
L, км	4	3	5	6	2	7	9	8	4,5	3,5
F <sub>1</sub> , мм <sup>2</sup>	70	120	150	95	185	240	185	120	95	150
F <sub>2</sub> , мм <sup>2</sup>	120	185	240	185	300	400	500	240	150	300

## Исходная информация о нагрузке

Номер варианта	Нагрузка, МВ·А			Номер варианта	Нагрузка, МВ·А		
	$\underline{S}_2$	$\underline{S}_3$	$\underline{S}_4$		$\underline{S}_2$	$\underline{S}_3$	$\underline{S}_4$
1	$2 + j1$	$3 + j1,5$	$3,5 + j2$	6	$2 + j1$	$2,7 + j1,3$	$3,3 + j1,8$
2	$3 + j2$	$3,5 + j2,5$	$4,5 + j3$	7	$1,3 + j1$	$2,1 + j1,6$	$4,4 + j2$
3	$2,5 + j1,5$	$3 + j2$	$4 + j2,5$	8	$1,9 + j1,2$	$2,8 + j1,7$	$3,9 + j2,5$
4	$1 + j0,7$	$1,5 + j1$	$2,5 + j1,5$	9	$2,2 + j1,2$	$2,7 + j1,8$	$3,4 + j2,3$
5	$1,7 + j1$	$2,3 + j1,7$	$3,5 + j2,2$	10	$2,6 + j1,8$	$3,5 + j2,1$	$4,2 + j3,1$

## Задача 50

Используя критерий сравнительной эффективности в виде срока окупаемости, выбрать наиболее выгодное решение по сооружению кабельной линии электропередачи напряжением 10 кВ длиной  $L$  с различными марками кабелей: вариант 1 – ПвПУ с площадью сечения жил  $F_1$ ; 2 – АПвПУ с площадью сечения жил  $F_2$  (см. табл. 76). Расчетная наибольшая нагрузка линии равна  $\underline{S}_4$  (см. табл. 77). Срок строительства линии 1 год. При расчетах принять: время наибольших потерь  $\tau = 3000$  ч, стоимость потерь электроэнергии  $\beta = 200 \frac{\text{тыс. руб.}}{\text{МВт} \cdot \text{ч}}$ , отчисления на амортизацию и эксплуатацию линии  $p = 0,073$ , норму дисконта  $E = 0,12$ . Капитальные затраты на линию вычислить по формуле для  $K_L$  из задачи 49.

## Задача 51

Рассмотреть два варианта сооружения воздушной одноцепной линии электропередачи напряжением 110 кВ на железобетонных опорах длиной  $L$  с различными марками провода (см. табл. 74). Расчетная наибольшая нагрузка линии равна  $\underline{S}_5$  (см. табл. 75). Время использования наибольшей нагрузки  $T_{нб} = 4500$  ч, срок сооружения линии 1 год. Принимая норму дисконта  $E = 0,12$ , определить стоимость 1 кВт·ч потерь электроэнергии, при которой варианты будут экономически равноценны. Капитальные затраты на линию вычислить по формуле для  $K_L$  из задачи 48.

## Задача 52

Выбрать по нормативной экономической плотности тока  $J_э = 1,1 \text{ A/мм}^2$  площади сечения сталеалюминиевых проводов на участках электрической сети напряжением 10 кВ, схема которой приведена на рис. 24. Данные о нагрузках указаны в табл. 78, длины участков сети – в табл. 79.

Определить наибольшую потерю напряжения в сети.



Рис. 24. Схема распределительной сети напряжением 10 кВ

Таблица 78

### Варианты исходных данных

Номер варианта	Нагрузка в узлах, МВ·А			Номер варианта	Нагрузка в узлах, МВ·А		
	$\underline{S}_1$	$\underline{S}_2$	$\underline{S}_3$		$\underline{S}_1$	$\underline{S}_2$	$\underline{S}_3$
1	$0,6 + j0,2$	$0,4 + j0,1$	$0,1 + j0,1$	16	$0,2 + j0,2$	$0,3 + j0,1$	$0,1 + j0,1$
2	$0,7 + j0,1$	$0,2 + j0,1$	$0,2 + j0,1$	17	$0,5 + j0,2$	$0,4 + j0,2$	$0,3 + j0,1$
3	$0,6 + j0,1$	$0,4 + j0,2$	$0,3 + j0,2$	18	$0,6 + j0,2$	$0,2 + j0,1$	$0,2 + j0,1$
4	$0,9 + j0,1$	$0,6 + j0,1$	$0,2 + j0,1$	19	$0,2 + j0,2$	$0,5 + j0,2$	$0,2 + j0,2$
5	$0,5 + j0,2$	$0,4 + j0,1$	$0,3 + j0,1$	20	$0,4 + j0,3$	$0,3 + j0,2$	$0,1 + j0,1$
6	$0,3 + j0,2$	$0,2 + j0,1$	$0,2 + j0,1$	21	$0,3 + j0,2$	$0,4 + j0,2$	$0,3 + j0,2$
7	$0,4 + j0,1$	$0,3 + j0,1$	$0,2 + j0,2$	22	$0,5 + j0,1$	$0,2 + j0,1$	$0,2 + j0,1$
8	$0,6 + j0,2$	$0,5 + j0,2$	$0,1 + j0,1$	23	$0,5 + j0,2$	$0,3 + j0,2$	$0,1 + j0,1$
9	$0,8 + j0,3$	$0,4 + j0,2$	$0,3 + j0,2$	24	$0,4 + j0,2$	$0,3 + j0,1$	$0,3 + j0,2$
10	$0,9 + j0,4$	$0,3 + j0,1$	$0,2 + j0,1$	25	$0,4 + j0,2$	$0,3 + j0,1$	$0,2 + j0,1$
11	$0,8 + j0,1$	$0,6 + j0,1$	$0,2 + j0,1$	26	$0,5 + j0,2$	$0,4 + j0,2$	$0,3 + j0,1$
12	$0,5 + j0,2$	$0,4 + j0,1$	$0,3 + j0,1$	27	$0,6 + j0,2$	$0,2 + j0,1$	$0,2 + j0,1$
13	$0,3 + j0,2$	$0,2 + j0,1$	$0,2 + j0,1$	28	$0,2 + j0,2$	$0,5 + j0,2$	$0,2 + j0,2$
14	$0,4 + j0,1$	$0,3 + j0,1$	$0,2 + j0,2$	29	$0,4 + j0,3$	$0,3 + j0,2$	$0,1 + j0,1$
15	$0,6 + j0,2$	$0,5 + j0,2$	$0,1 + j0,1$	30	$0,3 + j0,2$	$0,4 + j0,2$	$0,3 + j0,2$

## Варианты исходных данных

Номер варианта	Длина участков сети, км			Номер варианта	Длина участков сети, км		
	А-1	1-2	2-3		А-1	1-2	2-3
1	9,5	3,7	6,4	6	9,7	5,3	5,3
2	5,2	6,3	3,1	7	4,8	6,5	6,3
3	2,7	5,1	4,4	8	5,2	7,7	7,3
4	3,6	8,4	7,2	9	2,6	8,9	8,3
5	3,2	5,8	4,7	10	8,2	1,7	2,3

## Задача 53

Выбрать по допустимой потере напряжения  $\Delta U_{\text{доп}} = 6\%$  площади сечения сталеалюминиевых проводов на участках электрической сети напряжением 10 кВ, схема которой приведена на рис. 24.

Данные о нагрузках указаны в табл. 78, длины участков сети – в табл. 79. Удельное реактивное сопротивление проводов принять равным  $x_0 = 0,36$  Ом/км, удельную проводимость материала прово-

$$\text{дов } \gamma = 31,7 \frac{\text{М}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}.$$

Расчет выполнить для следующих условий:

- площади сечения проводов одинаковы на всех участках сети;
  - обеспечивается минимум расхода материала проводников;
  - обеспечивается одинаковая плотность тока на всех участках сети.
- Выбранные площади сечения проводов записать в табл. 80.

Таблица 80

## Результаты расчетов

Участок сети	Выбранные площади сечения сталеалюминиевых проводов, мм <sup>2</sup> , при условии		
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>
А-1			
1-2			
2-3			

## Задача 54

Выбрать по допустимой потере напряжения  $\Delta U_{\text{доп}} = 6\%$  площади сечения сталеалюминиевых проводов на участках электрической сети напряжением 10 кВ, схема которой приведена на рис. 25.

Данные о нагрузках указаны в табл. 81, длины участков сети – в табл. 82. Удельное реактивное сопротивление проводов линий принять равным  $x_0 = 0,36$  Ом/км, удельную проводимость материала проводов  $\gamma = 31,7 \frac{\text{М}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}$ .

Расчеты выполнить для условия постоянства сечения вдоль магистральной линии А–1–2–3, а также отдельно – для ответвления 1–4–5.

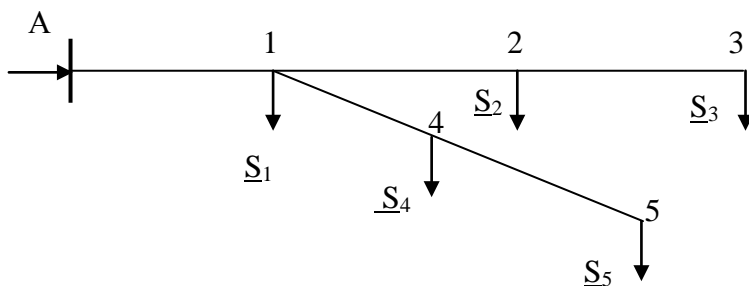


Рис. 25. Схема распределительной сети напряжением 10 кВ

Таблица 81

Нагрузки в узлах, МВ·А

Номер варианта	$\underline{S}_1$	$\underline{S}_2$	$\underline{S}_3$	$\underline{S}_4$	$\underline{S}_5$
1	$0,6 + j0,2$	$0,4 + j0,1$	$0,1 + j0,1$	$0,2 + j0,2$	$0,3 + j0,1$
2	$0,7 + j0,15$	$0,2 + j0,1$	$0,2 + j0,1$	$0,5 + j0,2$	$0,4 + j0,2$
3	$0,6 + j0,1$	$0,4 + j0,2$	$0,3 + j0,2$	$0,6 + j0,2$	$0,2 + j0,1$
4	$0,9 + j0,1$	$0,6 + j0,1$	$0,2 + j0,1$	$0,2 + j0,2$	$0,5 + j0,2$
5	$0,5 + j0,2$	$0,4 + j0,1$	$0,3 + j0,1$	$0,4 + j0,3$	$0,3 + j0,2$
6	$0,3 + j0,25$	$0,2 + j0,1$	$0,2 + j0,1$	$0,3 + j0,2$	$0,4 + j0,2$

Номер варианта	$\underline{S}_1$	$\underline{S}_2$	$\underline{S}_3$	$\underline{S}_4$	$\underline{S}_5$
7	0,4 + j0,1	0,3 + j0,1	0,2 + j0,2	0,5 + j0,1	0,2 + j0,1
8	0,6 + j0,2	0,5 + j0,2	0,1 + j0,1	0,5 + j0,2	0,3 + j0,2
9	0,8 + j0,3	0,4 + j0,2	0,3 + j0,2	0,4 + j0,2	0,3 + j0,1
10	0,9 + j0,4	0,3 + j0,1	0,2 + j0,1	0,4 + j0,2	0,3 + j0,1
11	0,6 + j0,2	0,4 + j0,1	0,1 + j0,1	0,2 + j0,2	0,3 + j0,1
12	0,7 + j0,15	0,2 + j0,1	0,2 + j0,1	0,5 + j0,2	0,4 + j0,2
13	0,6 + j0,1	0,4 + j0,2	0,3 + j0,2	0,6 + j0,2	0,2 + j0,1
14	0,9 + j0,1	0,6 + j0,1	0,2 + j0,1	0,2 + j0,2	0,5 + j0,2
15	0,5 + j0,2	0,4 + j0,1	0,3 + j0,1	0,4 + j0,3	0,3 + j0,2
16	0,3 + j0,25	0,2 + j0,1	0,2 + j0,1	0,3 + j0,2	0,4 + j0,2
17	0,4 + j0,1	0,3 + j0,1	0,2 + j0,2	0,5 + j0,1	0,2 + j0,1
18	0,6 + j0,2	0,5 + j0,2	0,1 + j0,1	0,5 + j0,2	0,3 + j0,2
19	0,8 + j0,3	0,4 + j0,2	0,3 + j0,2	0,4 + j0,2	0,3 + j0,1
20	0,9 + j0,4	0,3 + j0,1	0,2 + j0,1	0,4 + j0,2	0,3 + j0,1
21	0,6 + j0,2	0,4 + j0,1	0,1 + j0,1	0,2 + j0,2	0,3 + j0,1
22	0,7 + j0,15	0,2 + j0,1	0,2 + j0,1	0,5 + j0,2	0,4 + j0,2
23	0,6 + j0,1	0,4 + j0,2	0,3 + j0,2	0,6 + j0,2	0,2 + j0,1
24	0,8 + j0,1	0,6 + j0,1	0,2 + j0,1	0,2 + j0,2	0,5 + j0,2
25	0,5 + j0,2	0,4 + j0,1	0,3 + j0,1	0,4 + j0,3	0,3 + j0,2
26	0,3 + j0,25	0,2 + j0,1	0,2 + j0,1	0,3 + j0,2	0,4 + j0,2
27	0,4 + j0,1	0,3 + j0,1	0,2 + j0,2	0,5 + j0,1	0,2 + j0,1
28	0,6 + j0,2	0,5 + j0,2	0,1 + j0,1	0,5 + j0,2	0,3 + j0,2
29	0,8 + j0,3	0,4 + j0,2	0,3 + j0,2	0,4 + j0,2	0,3 + j0,1
30	0,9 + j0,4	0,3 + j0,1	0,2 + j0,1	0,4 + j0,2	0,3 + j0,1

Таблица 82

## Длина участков сети, км

Номер варианта						Номер варианта					
	A-1	1-2	2-3	1-4	4-5		A-1	1-2	2-3	1-4	4-5
1	9,5	3,7	6,4	5,2	1,8	6	9,7	5,3	5,3	5,2	1,8
2	5,2	6,3	3,1	4,5	3,3	7	4,8	6,5	6,3	5,9	2,1
3	2,7	5,1	4,4	3,7	2,8	8	5,2	7,7	7,3	6,6	2,4
4	3,6	8,4	7,2	6,1	1,2	9	2,6	8,9	8,3	7,3	2,7
5	3,2	5,8	4,7	3,9	0,8	10	8,2	1,7	2,3	3,1	0,9

### Задача 55

Выбрать по допустимой потере напряжения  $\Delta U_{\text{доп}} = 8\%$  площади сечения сталеалюминиевых проводов на участках электрической сети напряжением 10 кВ, схема которой приведена на рис. 26.

Данные о нагрузках указаны в табл. 83, длины участков сети – в табл. 84. Принять для нагрузок узлов 1, 4  $\cos\varphi = 0,9$ , для нагрузок узлов 2, 3, 5  $\cos\varphi = 0,8$ . Удельное реактивное сопротивление проводов принять равным  $x_0 = 0,36$  Ом/км, удельную проводимость материала проводов  $\gamma = 31,7 \frac{\text{М}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}$ .

Расчеты выполнить для условия постоянства сечения вдоль магистральной линии А–1–2–3. Отдельно выбрать площади сечения проводов для ответвлений 1–4 и 2–5.

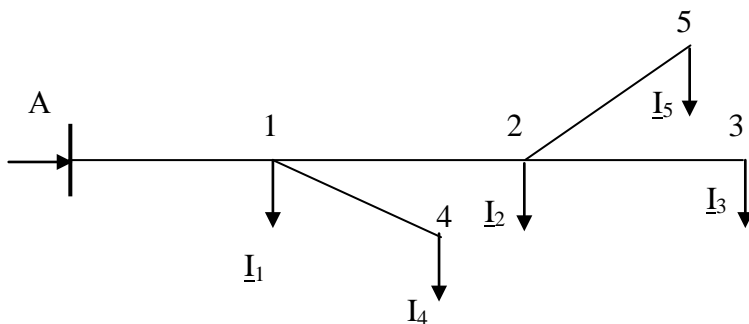


Рис. 26. Схема распределительной сети напряжением 10 кВ



Таблица 83

## Нагрузка в узлах, А

Номер варианта	1	2	3	4	5	Номер варианта	1	2	3	4	5
1	28	36	18	11	24	16	63	10	12	8	4
2	50	28	22	19	14	17	84	16	18	12	10
3	20	20	26	27	39	18	112	25	18	12	9
4	93	12	3	4	12	19	48	15	4	7	2
5	104	14	5	29	10	20	44	23	18	10	6
6	25	14	30	38	22	21	35	20	14	12	8
7	15	32	24	9	18	22	62	30	22	16	11
8	18	33	25	16	19	23	78	33	21	18	12
9	75	23	14	28	10	24	86	29	24	16	13
10	64	21	34	28	17	25	80	74	36	19	8
11	86	27	8	5	13	26	66	40	27	13	5
12	80	8	14	4	27	27	22	37	20	12	15
13	52	30	13	8	5	28	66	45	28	16	10
14	30	24	12	8	11	29	72	34	28	23	17
15	54	32	20	17	6	30	44	61	29	37	19

Таблица 84

## Длина участков сети, км

Номер варианта	A-1	1-2	2-3	1-4	2-5	Номер варианта	A-1	1-2	2-3	1-4	2-5
1	9,5	3,7	6,4	5,2	1,8	6	1,3	3,5	2,8	6,3	2,2
2	5,2	6,3	3,1	4,5	3,3	7	8,2	1,7	2,3	3,1	0,9
3	2,7	5,1	4,4	3,7	2,8	8	5,4	5,3	3,9	4,7	2,3
4	3,6	8,4	7,2	6,1	1,2	9	2,6	8,9	5,5	6,3	3,7
5	3,2	5,8	4,7	3,9	0,8	10	4,8	2,5	7,1	7,9	5,1

## Задача 56

В нормальном режиме нагрузка  $\underline{S}$  питается от шин напряжением 10 кВ районных подстанций А и В так, как показано на рис. 27.

Выбрать по допустимой потере напряжения  $\Delta U_{\text{доп}} = 6\%$  площади сечения алюминиевых проводов на участках электрической сети. Данные о нагрузке указаны в табл. 85, длины участков сети – в табл. 86. Удельное реактивное сопротивление проводов принять равным  $x_0 = 0,36$  Ом/км, удельную проводимость материала проводов

$$\gamma = 31,7 \frac{\text{М}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}.$$

Проверить выбранные площади сечения проводов по допустимому току нагрева.

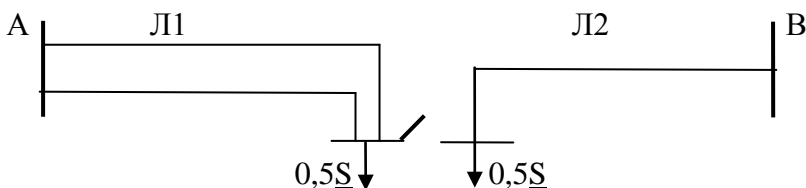


Рис. 27. Схема электрической сети

Таблица 85

### Варианты исходных данных

Номер варианта	Нагрузка $\underline{S}$ , МВ·А	Номер варианта	Нагрузка $\underline{S}$ , МВ·А	Номер варианта	Нагрузка $\underline{S}$ , МВ·А
1	$0,6 + j0,2$	11	$0,8 + j0,1$	21	$0,2 + j0,2$
2	$0,7 + j0,1$	12	$0,5 + j0,2$	22	$0,5 + j0,2$
3	$0,6 + j0,1$	13	$0,3 + j0,2$	23	$0,6 + j0,2$
4	$0,9 + j0,1$	14	$0,4 + j0,1$	24	$0,2 + j0,2$
5	$0,5 + j0,2$	15	$0,6 + j0,2$	25	$0,4 + j0,3$
6	$0,3 + j0,2$	16	$0,9 + j0,4$	26	$0,3 + j0,2$
7	$0,4 + j0,1$	17	$0,5 + j0,2$	27	$0,5 + j0,1$
8	$0,6 + j0,2$	18	$0,6 + j0,2$	28	$0,5 + j0,2$
9	$0,8 + j0,3$	19	$0,2 + j0,2$	29	$0,4 + j0,2$
10	$0,9 + j0,4$	20	$0,4 + j0,3$	30	$0,4 + j0,2$

Таблица 86

Длина участков сети, км

Номер варианта	Л1	Л2	Номер варианта	Л1	Л2
1	8,9	5,5	6	2,9	3,3
2	2,5	7,1	7	4,1	4,3
3	6,1	8,7	8	5,3	3,9
4	1,7	9,3	9	8,9	5,5
5	7,3	8,9	10	2,5	7,1

**Задача 57**

Выбрать по допустимому току нагрева площадь сечения кабеля напряжением 0,38 кВ с медными жилами, с пропитанной бумажной изоляцией для подключения нагрузки Р, мощность которой указана в табл. 87, коэффициент мощности – в табл. 88. Кабель прокладывается в помещении.

Таблица 87

Варианты исходных данных

Номер варианта	Нагрузка Р, кВт	Номер варианта	Нагрузка Р, кВт	Номер варианта	Нагрузка Р, кВт
1	30	11	80	21	130
2	35	12	85	22	135
3	40	13	90	23	140
4	45	14	95	24	145
5	50	15	100	25	150
6	55	16	105	26	155
7	60	17	110	27	160
8	65	18	115	28	165
9	70	19	120	29	170
10	75	20	125	30	175

## Варианты исходных данных

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\cos\varphi$	0,9	0,85	0,8	0,82	0,92	0,88	0,84	0,8	0,76	0,72

**Задача 58**

Воспользовавшись выражением приведенных затрат на 1 км кабельной линии электропередачи, построить экономические интервалы нагрузки для заданных стандартных площадей сечений жил кабеля при его номинальном напряжении 10 кВ (табл. 89).

Стоимость кабеля рассчитать по формуле  $K_{КЛ}$  из задачи 49. Стоимость 1 кВт·ч нагрузочных потерь электроэнергии  $\beta$  и время наибольших потерь  $\tau$  принять из табл. 90. Суммарный коэффициент, отражающий нормы отчислений от капитальных затрат на амортизацию, обслуживание и ремонт линии принять  $p = 0,073$ , норму дисконта  $E = 0,12$ .

Результаты расчетов представить в виде табл. 91 и в виде зависимости  $Z = f(I_{нб})$ .

Расчетным путем найти граничные значения токов  $I_{нб}$ , при которых экономически целесообразно переходить от одной площади сечения жилы кабеля к другой.

Таблица 89

Площадь сечения жил кабеля марки, мм<sup>2</sup>

Номер варианта	П <sub>в</sub> ПУ	АП <sub>в</sub> ПУ
1, 2	50, 95, 120	–
3, 4	95, 120, 240	–
5, 6	70, 150, 240	–
7, 8	95, 185, 300	–
9, 10	120, 240, 400	–

Номер варианта	П <sub>в</sub> ПУ	АП <sub>в</sub> ПУ
11, 12	150, 240, 500	–
13, 14	95, 150, 400	–
15, 16	70, 120, 500	–
17, 18	–	50, 95, 120
19, 20	–	95, 120, 240
21, 22	–	70, 150, 240
23, 24	–	95, 185, 300
25, 26	–	120, 2 0, 400
27, 28	–	150, 240, 500
29, 30	–	70, 120, 500

Таблица 90

Исходные данные к построению экономических интервалов нагрузки

Номер варианта	$\tau$ , ч	$\beta$ , руб. / (кВт·ч)	Номер варианта	$\tau$ , ч	$\beta$ , руб. / (кВт·ч)
1	5200	180	6	4700	220
2	5100	190	7	4600	230
3	5000	200	8	4500	170
4	4900	170	9	4400	160
5	4800	210	10	4300	240

Таблица 91

Результаты расчетов экономических интервалов нагрузки

Данные		Приведенные затраты, тыс. руб./км							
Ток, А									
Площадь сечения кабеля, мм <sup>2</sup>									

## Задача 59

К электрической сети с номинальным напряжением  $U_{\text{ном}}$ , схема которой приведена на рис. 28, предполагается подключить нагрузки  $\underline{S}_1$  и  $\underline{S}_2$  (табл. 92) с временем использования наибольшей мощности  $T_{\text{нб1}}$  и  $T_{\text{нб2}}$  (табл. 93).

Требуется выбрать провода марки АС по нормативной экономической плотности тока, по условию короны и по условию нагревания.

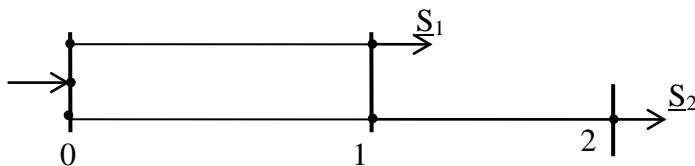


Рис. 28. Схема электрической сети

Таблица 92

Исходные данные о номинальном напряжении линий и нагрузке

Номер варианта	$U_{\text{ном}}$ , кВ	Нагрузка узлов, МВ·А		Номер варианта	$U_{\text{ном}}$ , кВ	Нагрузка узлов, МВ·А	
		$\underline{S}_1$	$\underline{S}_2$			$\underline{S}_1$	$\underline{S}_2$
1	110	15 + j8	50 + j20	16	220	94 + j30	135 + j70
2	110	25 + j10	30 + j15	17	220	60 + j25	120 + j50
3	110	30 + j12	40 + j16	18	220	50 + j20	140 + j70
4	110	40 + j18	32 + j14	19	220	75 + j25	170 + j50
5	110	22 + j12	36 + j17	20	220	85 + j35	160 + 40
6	220	70 + j30	120 + j50	21	110	30 + j14	25 + j10
7	220	100 + j50	180 + j70	22	110	36 + j16	18 + j8
8	220	80 + j40	160 + j60	23	110	34 + j18	16 + j7
9	220	90 + j45	170 + j60	24	110	40 + j21	21 + j9
10	220	96 + j40	180 + j50	25	110	32 + j14	22 + j6
11	110	36 + j14	42 + j17	26	35	10 + j6	5 + j3
12	110	24 + j13	60 + j21	27	35	12 + j7	3 + j2
13	110	28 + j16	53 + j24	28	35	14 + j8	6 + j3
14	110	32 + j18	40 + j16	29	35	8 + j3	7 + j4
15	110	18 + j10	28 + j16	30	35	11 + j7	5 + j3

Исходные данные о времени использования  
наибольшей мощности

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_{нб1}$ , ч	3000	4000	4500	6000	5000	4800	6300	6700	3800	4300
$T_{нб2}$ , ч	5000	6800	7200	3900	6000	6200	5200	5300	6200	5600

### Задача 60

Схема электрической сети приведена на рис. 29.

Длины участков 0–1, 1–2, 0–3, 2–3 и наибольшие нагрузки  $\underline{S}_1$ ,  $\underline{S}_2$ ,  $\underline{S}_3$  принять для заданного преподавателем варианта из табл. 94, 95. Время использования наибольшей мощности нагрузок  $T_{нб1} = T_{нб2} = 6000$  ч,  $T_{нб3} = 4000$  ч.

При расчете принять марки проводов АС.

Требуется:

1. Определить потоки мощности на участках сети без учета потерь мощности, полагая, что сеть однородная.
2. Выбрать номинальные напряжения для каждого участка сети по зонам экономических номинальных напряжений или по одной из эмпирических формул, после чего принять одно напряжение для всех участков.
3. На всех участках определить площадь сечения по нормативной экономической плотности тока. Для замкнутой сети ее значение принять по средневзвешенному  $T_{нб}$ .
4. Проверить выбранные площади сечения по условию короны.
5. Проверить выбранные площади сечения на нагрев в послеаварийных режимах при поочередном отключении линий 0–1, 0–3, 1–2 и 2–3.

Результаты расчетов представить в виде:

- 1) схем сети с потоками мощности для нормального и всех послеаварийных режимов;
- 2) табл. 96 и 97;

3) выводов о допустимости выбранных площадей сечения проводов по нагреву и по условию короны.

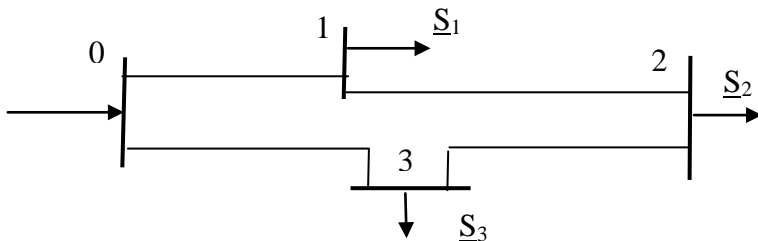


Рис. 29. Схема электрической сети

Таблица 94

Длина участков сети, км

Номер варианта	Длина участков сети, км				Номер варианта	Длина участков сети, км			
	0-1	1-2	0-3	2-3		0-1	1-2	0-3	2-3
1	80	40	50	20	16	76	48	39	26
2	70	50	30	15	17	60	42	38	27
3	60	30	50	13	18	75	42	44	23
4	50	40	30	18	19	87	52	38	18
5	75	45	40	25	20	65	37	60	17
6	90	45	50	17	21	62	32	51	28
7	100	50	55	23	22	51	28	62	32
8	80	55	40	17	23	70	30	40	26
9	70	60	25	14	24	63	29	41	36
10	60	45	30	26	25	84	56	32	18
11	74	44	38	22	26	66	42	31	24
12	80	42	45	20	27	75	18	29	34
13	86	30	58	19	28	60	19	42	38
14	70	48	36	16	29	77	18	44	30
15	82	52	41	21	30	73	19	38	20



Таблица 95

## Нагрузка узлов, МВ·А

Номер варианта	$S_1$	$S_2$	$S_3$
1	$80 + j50$	$40 + j30$	$50 + j30$
2	$75 + j40$	$45 + j25$	$55 + j35$
3	$80 + j40$	$50 + j20$	$40 + j20$
4	$70 + j40$	$50 + j25$	$55 + j25$
5	$75 + j35$	$45 + j20$	$56 + j32$
6	$85 + j40$	$30 + j20$	$60 + j20$
7	$70 + j50$	$40 + j15$	$70 + j30$
8	$65 + j30$	$50 + j18$	$65 + j30$
9	$75 + j40$	$30 + j15$	$55 + j25$
10	$85 + j35$	$45 + j20$	$65 + j30$

Таблица 96

## Результаты решения задачи

Параметр	Номер участка			
	0–1	1–2	0–3	2–3
Расчетный ток, А				
Расчетная площадь сечения, мм <sup>2</sup>				
Стандартная площадь сечения, мм <sup>2</sup>				

Таблица 97

## Результаты проверки площади сечений проводов по нагреву

Номер участка	Допустимый по нагреву ток для выбранной площади сечения, А	Ток, А, в режиме				
		нормальном	послеаварийном при отключении участка			
			0–1	1–2	0–3	2–3
0–1						
1–2						
0–3						
2–3						

## Задача 61

Для схемы электрической сети напряжением 35 кВ, приведенной на рис. 30, определить ущербы от аварийных и плановых перерывов в электроснабжении потребителей  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$ ,  $\Pi_3$  и  $\Pi_4$ , если наибольшие нагрузки равны  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  и  $P_4$ , а длины линий  $L_1$ – $L_5$  (табл. 98).

Линии выполнены на железобетонных опорах, для которых параметр потока отказов на 100 км  $\omega_B$ , частота плановых простоев  $\omega_{\Pi}$ , время восстановления при вынужденном ремонте  $T_B$ , время планового ремонта  $T_{\Pi}$  указаны в табл. 99.

Удельный ущерб от аварийных перерывов в электроснабжении принять  $\alpha = 3 \frac{\text{тыс. бел. руб.}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$ , от плановых простоев

$$\beta = 1 \frac{\text{тыс. бел. руб.}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$$

Полагать, что отключение любой из линий 1, 2, 3 для планового или аварийного ремонта не приводит к ограничению в передаче мощности.

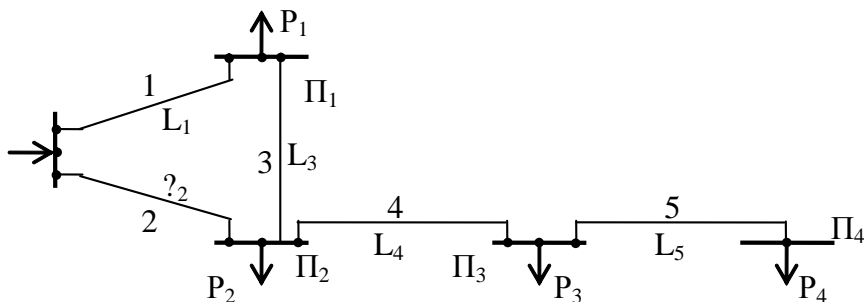


Рис. 30. Схема электрической сети

Таблица 98

Исходная информация о нагрузке Р, МВт,  
и длине линий L, км

Номер варианта	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	L <sub>4</sub>	L <sub>5</sub>
1	3	4	5	1	7	4	5	6	8
2	2	1	3	4	8	6	4	2	5
3	3	2	1	2	9	7	5	3	4
4	1	2	3	4	13	13	8	7	6
5	2	4	6	2	8	3	9	4	3
6	4	3	2	1	9	3	4	5	6
7	2	1	2	3	7	5	3	4	2
8	4	3	1	2	6	7	4	3	3
9	1	5	4	3	8	6	5	4	7
10	2	3	1	1	9	4	5	6	7
11	3	1	2	4	8	5	4	3	2
12	2	1	4	6	9	4	5	3	1
13	4	5	2	3	1	4	1	7	2
14	3	6	2	1	8	6	1	2	3
15	4	1	5	2	7	3	4	5	2
16	3	1	2	4	8	4	5	1	3
17	4	1	2	3	5	6	7	1	2
18	3	2	4	5	4	3	6	1	2
19	5	1	2	3	2	4	6	3	1
20	3	2	1	4	3	4	5	7	2
21	4	2	1	3	4	5	3	7	6
22	2	5	3	1	1	2	3	4	5
23	2	1	3	4	8	5	4	3	2
24	6	1	2	4	4	2	5	3	6
25	5	7	1	2	3	4	2	2	7
26	3	4	5	1	2	6	3	1	4
27	2	1	4	6	2	4	6	3	1
28	3	1	2	4	8	3	9	4	3
29	2	4	6	2	1	4	1	7	2
30	3	2	1	2	7	4	5	6	8

## Параметры надежности

Номер варианта	$\omega_{\text{В}}, \frac{\text{отказ}}{\text{год}}$	$\omega_{\text{П}}, \frac{\text{простой}}{\text{год}}$	$T_{\text{В}} \cdot 10^{-3} \frac{\text{год}}{\text{отказ}}$	$T_{\text{П}} \cdot 10^{-3} \frac{\text{год}}{\text{простой}}$
1, 2	1,6	4	1,2	1,5
3, 4	1,4	3	1,1	1,4
5, 6	1,7	5	1,3	1,6
7, 8	1,8	4	1,2	1,4
9, 10	1,5	3	1,3	1,5

Дополнительные задачи для решения по данному разделу приведены в [3], с. 116–117, 136–138, примеры решения задач – на с. 111–116, 123–136. В [2] приведены примеры решения задач (с. 580–604) и контрольные вопросы (с. 578–580).

Теоретические положения и расчетные выражения для решения задач данного раздела приведены в [5], с. 54–74, 94–105; [6], с. 285–297; [10], с. 284–292; [13], с. 263–284.

### 3.7. РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ И АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

#### Задача 62

Определить крутизну частотной статической характеристики системы (совместно потребителей и электростанций), в которую входят  $n$  турбогенераторов тепловых электростанций, каждый мощностью  $P_n$  с крутизной частотной характеристики  $k_{г.н}$  и  $m$  гидрогенераторов мощностью  $P_m$  каждый с крутизной характеристики  $k_{г.м}$ . Половина турбогенераторов и половина гидрогенераторов загружены до номинальной мощности, другая половина – до 0,6 номинальной мощности. Крутизна частотной статической характеристики нагрузки  $k_H = 2,5$ . Значения  $n$ ,  $P_n$ ,  $k_{г.н}$ ,  $m$ ,  $P_m$ ,  $k_{г.м}$  и  $k_H$  принять из табл. 100, 101 для заданного преподавателем варианта.

Таблица 100

Исходные данные о количестве и мощности генераторов

Номер варианта	1–3	4–6	7–9	10–12	13–15	16–20	21–25	26–30
$n$ , шт.	30	26	24	34	42	18	22	28
$P_n$ , МВт	200	100	150	200	100	300	300	100
$m$ , шт.	20	28	36	14	12	16	18	12
$P_m$ , МВт	50	60	20	70	40	30	40	50

Таблица 101

Исходные данные о крутизне статических характеристик генераторов

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$k_{г.н}$	15	18	20	22	25	15	17	23	20	17
$k_{г.м}$	30	35	40	45	50	25	30	35	30	35
$k_H$	2,5	2,1	2,3	1,8	2,0	2,4	1,7	1,9	2,2	1,6

### Задача 63

Для условий задачи 62 определить, каково будет снижение частоты в системе в процессе первичного регулирования частоты, если в исходном режиме при номинальной частоте нагрузка потребителей  $P_H$  составляла 0,8 от суммарной мощности  $P_{СИСТ}$  всех генераторов, включенных в систему, и она увеличилась на  $0,1P_{СИСТ}$ .

### Задача 64

Определить увеличение нагрузки системы в процентах, если в результате первичного регулирования частота снизилась до  $f_1$  (табл. 102).

Крутизна частотной характеристики генерирующей части системы  $k_{Г.С}$  и до увеличения нагрузки крутизна частотной характеристики нагрузки  $k_H$  указаны в табл. 103; мощность генераторов, включенных в систему в исходном режиме  $P_{СИСТ}$ , и мощность нагрузки  $P_H$  – табл. 102.

Таблица 102

Исходные данные о нагрузке и снижении частоты

Номер варианта	Параметр			Номер варианта	Параметр		
	$f_1$ Гц	$P_{СИСТ}$ , МВт	$P_H$ , МВт		$f_1$ Гц	$P_{СИСТ}$ , МВт	$P_H$ , МВт
1–3	49,90	7000	5000	16–18	49,91	9500	8000
4–6	49,85	7500	4500	19–21	49,81	10000	8500
7–9	49,80	8000	6000	22–24	49,78	10500	9200
10–12	49,94	8500	5500	25–27	49,89	11000	8700
13–15	49,82	9000	7500	28–30	49,6	15000	13500

Таблица 103

Исходные данные о крутизне частотных характеристик

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$k_{Г.С}$	20	18	16	25	30	35	40	27	32	37
$k_H$	1,6	1,8	1,4	1,7	1,8	2,1	2,4	1,6	2,0	1,3

### 3.8. РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

#### Задача 65

На подстанции установлен двухобмоточный трансформатор с регулированием напряжения под нагрузкой (табл. 104). Диапазон регулирования трансформатора  $115 \pm (9 \times 1,78) \%$ . По результатам электрических расчетов сети при наибольших и наименьших нагрузках на шинах 10 кВ получены напряжения соответственно  $U'_{10НБ}$  и  $U'_{10НМ}$ , приведенные к высшему напряжению (табл. 105).

Желаемые напряжения на шинах 10 кВ принять: в режиме наибольших нагрузок  $U_{ж.нб} = 1,05U_{ном} = 10,5$  кВ, в режиме наименьших нагрузок  $U_{ж.нм} = 1,0U_{ном} = 10$  кВ.

Для заданного преподавателем варианта (см. табл. 104, 105) выбрать ответвления трансформатора и оценить достаточность диапазона регулирования для обеспечения желаемых напряжений в режимах наибольших и наименьших нагрузок.

Расчет выполнить в следующем порядке:

1. Рассчитать напряжения ответвлений, соответствующие каждой ступени регулирования, и записать в табл. 106.

2. Для режимов наибольших и наименьших нагрузок определить расчетные и выбрать стандартные ответвления обмотки высшего напряжения трансформатора из условия обеспечения желаемого напряжения на шинах 10 кВ.

3. Определить действительные (фактические) напряжения на шинах 10 кВ в режимах наибольших и наименьших нагрузок.

4. Определить отклонения фактических напряжений от желаемых на шинах 10 кВ в обоих режимах.

5. Сделать анализ и выводы о достаточности диапазонов регулирования трансформаторов.

Результаты расчетов представить в виде табл. 107.

Таблица 104

## Исходные данные о трансформаторе

Номер варианта	Тип трансформатора	Номер варианта	Тип трансформатора
1–3	ТМН – 6300/110	16–18	ТРДЦН – 63000/110
4–6	ТДН – 10000/110	19–21	ТРДЦН – 80000/110
7–9	ТДН – 16000/110	22–24	ТДН – 16000/110
10–12	ТРДН – 25000/110	25–27	ТДН – 10000/110
13–15	ТРДН – 40000/110	28–30	ТМН – 6300/110

Таблица 105

## Напряжение, приведенное к высшему напряжению

Номер варианта	Напряжение на шинах 10 кВ в режимах		Номер варианта	Напряжение на шинах 10 кВ в режимах	
	наибольших нагрузок	наименьших нагрузок		наибольших нагрузок	наименьших нагрузок
	$U'_{10НБ}$ , кВ	$U'_{10НМ}$ , кВ		$U'_{10НБ}$ , кВ	$U'_{10НМ}$ , кВ
1	105	115	6	108	118
2	100	112	7	101	113
3	102	115	8	103	112
4	104	117	9	107	117
5	106	114	10	99	109

Таблица 106

## Параметры регулирования трансформатора

Номер ответвления	Добавка напряжения, %	Напряжение ответвления, кВ
– 9		
– 8		
– 7		
– 6		
– 5		



Номер ответвления	Добавка напряжения, %	Напряжение ответвления, кВ
- 4		
- 3		
- 2		
- 1		
0		
+ 1		
+ 2		
+ 3		
+ 4		
+ 5		
+ 6		
+ 7		
+ 8		
+ 9		

Таблица 107

### Результаты выбора ответвлений трансформатора

Режим	Приведенное напряжение, кВ	Расчетное напряжение ответвления, кВ	Стандартное ответвление		Действительное (фактическое) напряжение, кВ	Отклонение фактического напряжения от желаемого, %
			кВ	%		
наибольших нагрузок						
наименьших нагрузок						

### Задача 66

На подстанции установлен трехобмоточный трансформатор с регулированием напряжения под нагрузкой на стороне высшего напряжения и с ПБВ на стороне среднего напряжения, имеющий номинальные напряжения и диапазоны регулирования  $115 \pm (9 \times 1,78) \% / 38,5 \pm (2 \times 2,5) \% / 11$  кВ. По результатам электрических расчетов сети при наибольших и

наименьших нагрузках получены напряжения  $U'_{10}$  и  $U'_{35}$  соответственно на шинах 10 и 35 кВ подстанции, приведенные к высшему напряжению (см. табл. 104, 105).

Желаемые напряжения принять: на шинах 10 кВ в режиме наибольших нагрузок  $U_{ж.нб} = 1,05U_{ном} = 10,5$  кВ, в режиме наименьших нагрузок  $U_{ж.нм} = 1,0U_{ном} = 10$  кВ. На шинах 35 кВ в обоих режимах  $U_{ж} = 36,5$  кВ.

Для заданного преподавателем варианта (табл. 108, 109) выбрать ответвления трансформаторов на обмотках 110 и 35 кВ и оценить достаточность диапазонов регулирования трансформатора для обеспечения желаемых напряжений в режимах наибольших и наименьших нагрузок.

Расчет выполнить в следующем порядке:

1. Для обмоток высшего и среднего напряжений трансформатора рассчитать напряжения ответвлений, соответствующие каждой ступени регулирования, и результаты оформить в виде табл. 110.

2. Для двух режимов определить расчетные и выбрать стандартные ответвления обмотки высшего напряжения трансформатора из условия обеспечения желаемого напряжения на шинах 10 кВ.

3. Определить фактические напряжения в двух режимах на шинах 10 кВ.

4. Используя выбранные ответвления обмотки высшего напряжения для режимов наибольших и наименьших нагрузок, определить расчетное и выбрать стандартное ответвление обмотки среднего напряжения исходя из желаемого напряжения на шинах 35 кВ.

5. Определить фактические напряжения в двух режимах на шинах 35 кВ.

6. Определить отклонения фактических напряжений от желаемых на шинах 10 и 35 кВ в двух режимах.

7. Проанализировать достаточность диапазонов регулирования трансформаторов, сделать выводы

Результаты расчетов представить в виде табл. 111.

Напряжение, приведенное к высшему напряжению,  
в режиме наибольших нагрузок

Номер варианта	Напряжение на шинах		Номер варианта	Напряжение на шинах	
	10 кВ $U'_{10НБ}$ , кВ	35 кВ $U'_{35НБ}$ , кВ		10 кВ $U'_{10НБ}$ , кВ	35 кВ $U'_{35НБ}$ , кВ
1–3	105	103	16–18	108	105
4–6	100	106	19–21	101	104
7–9	102	105	22–24	103	106
10–12	104	108	25–27	107	100
13–15	106	102	28–30	99	107

Таблица 109

Напряжение, приведенное к высшему напряжению,  
в режиме наименьших нагрузок

Номер варианта		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Напряжение на шинах	10 кВ $U'_{10НМ}$ , кВ	115	112	115	117	114	118	113	112	117	109
	35 кВ $U'_{35НМ}$ , кВ	117	114	112	114	111	109	115	116	112	114

Таблица 110

Параметры регулирования трансформатора

Номер ответвления	Добавка напряжения, %	Напряжение ответвления, кВ

Таблица 111

## Результаты выбора ответвлений трансформатора

Шины	Приведенное напряжение, кВ	Расчетное напряжение ответвления, кВ	Стандартное ответвление		Действительное (фактическое) напряжение, кВ	Отклонение фактического напряжения от желаемого, %
			кВ	%		
<b>Режим наибольших нагрузок</b>						
10 кВ						
35 кВ						
<b>Режим наименьших нагрузок</b>						
10 кВ						
35 кВ						

### Задача 67

Выбрать ответвления трансформаторов  $T_1$  и  $T_2$  без РПН с номинальными напряжениями и диапазоном регулирования напряжения  $10 \pm (2 \times 2,5) \% / 0,4$  кВ (рис. 31), если допустимые напряжения на шинах 0,38 кВ ТП составляют  $0,4 \div 0,38$  кВ.

Напряжения на шинах центра питания (ЦП) равны: в режиме наибольших нагрузок  $U_{ЦП.НБ} = 10,5$  кВ, в режиме наименьших нагрузок  $U_{ЦП.НМ} = 10,0$  кВ. Площади сечения  $F$  алюминиевых проводов и длины линий приведены в табл. 112.

Номинальные мощности  $S_{1НОМ}$ ,  $S_{2НОМ}$  трансформаторов  $T_1$ ,  $T_2$  и токи в режиме наибольших нагрузок даны в табл. 113. Токи в режиме наименьших нагрузок  $I_{НМ} = 0,3I_{НБ}$ . Коэффициент мощности в режиме наибольших нагрузок  $\cos\varphi_{НБ} = 0,9$ , а в режиме наименьших нагрузок  $\cos\varphi_{НМ} = 1$ .

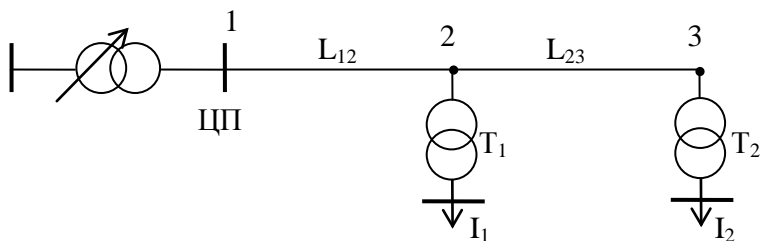


Рис. 31. Схема электрической сети

Таблица 112

### Информация о параметрах линий

Параметр	Номер варианта									
	1–3	4–6	7–9	10–12	13–15	16–18	19–21	22–24	25–27	28–30
$F, \text{мм}^2$	50	70	95	35	25	120	70	50	90	35
$L_{12}, \text{км}$	8	10	7	3	4	7	3	4	5	6
$L_{23}, \text{км}$	4	7	5	9	8	6	7	11	9	8

Таблица 113

### Информация о параметрах трансформаторов и нагрузках ТП

Параметр	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S_{1\text{НОМ}}, \text{кВ}\cdot\text{А}$	400	250	1000	250	100	100	400	100	250	400
$S_{2\text{НОМ}}, \text{кВ}\cdot\text{А}$	250	100	250	400	250	1000	100	400	250	400
$I_{1\text{НБ}}, \text{А}$	500	270	1200	280	140	120	550	130	330	120
$I_{2\text{НБ}}, \text{А}$	300	130	250	320	260	1100	140	460	290	520

### Задача 68

Задана электрическая сеть с номинальным напряжением 10 кВ и с фиксированным коэффициентом трансформации 10/0,4 кВ трансформатора ТМ-1000/10 (рис. 32). Исходные параметры из табл. 114, 115.

Требуется определить мощность батареи конденсаторов, которую необходимо установить на шинах 0,38 кВ подстанции для повышения напряжения в этой точке сети на 5 %.

Напряжение в точке питания равно  $U_1 = 10,5$  кВ. Расчеты выполнить без учета статических характеристик и с учетом статических характеристик  $Q = f(U)$ , приняв их в виде

$$P = P_{\text{ном}} \left( 0,83 - 0,3 \frac{U}{U_{\text{ном}}} + 0,47 \left( \frac{U}{U_{\text{ном}}} \right)^2 \right)$$

$$Q = Q_{\text{ном}} \left( 5,5 - 10,7 \frac{U}{U_{\text{ном}}} + 6,2 \left( \frac{U}{U_{\text{ном}}} \right)^2 \right),$$

где  $U$  – напряжение на шинах 0,38 кВ, приведенное к напряжению 10 кВ.

Определить изменение потерь активной мощности в результате установки батареи конденсаторов.

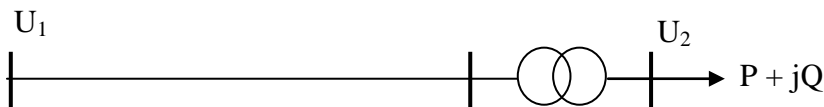


Рис. 32. Схема электрической сети

Таблица 114

### Исходные данные о параметрах сети

Номер варианта	Марка провода	Длина линии, км	Номер варианта	Марка провода	Длина линии, км
1–3	А 50	16	16–18	А 50	16
4–6	А 70	18	19–21	А 70	18
7–9	А 95	17	22–24	А 95	20
10–12	А 35	15	25–27	А 35	19
13–15	А 25	16	28–30	А 25	13

Исходные данные о нагрузке при  $U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ}$ 

Номер варианта	$P + jQ, \text{ МВ} \cdot \text{А}$	Номер варианта	$P + jQ, \text{ МВ} \cdot \text{А}$
1	$0,8 + j0,6$	6	$0,7 + j0,5$
2	$0,7 + j0,5$	7	$0,8 + j0,7$
3	$0,6 + j0,6$	8	$0,6 + j0,5$
4	$0,7 + j0,4$	9	$0,6 + j0,6$
5	$0,8 + j0,5$	10	$0,5 + j0,4$

**Задача 69**

Для схемы электрической сети (рис. 33), все участки которой выполнены проводами марки А 95, определить мощности компенсирующих устройств в узлах 2–5, которые обеспечивали бы напряжения в этих узлах, равные напряжению  $U_1 = 10,3 \text{ кВ}$  источника питания 1.

Длины участков и мощности в узлах принять из табл. 116, 117.

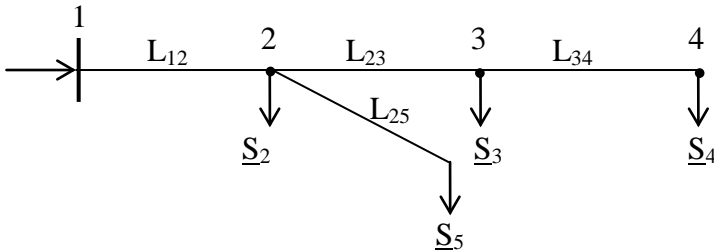


Рис. 33. Схема электрической сети

Таблица 116

Длина линий, км

Номер варианта	L <sub>12</sub>	L <sub>23</sub>	L <sub>34</sub>	L <sub>25</sub>	Номер варианта	L <sub>12</sub>	L <sub>23</sub>	L <sub>34</sub>	L <sub>25</sub>
1	6	2	4	3	11, 12	3	7	4	5
2	3	2	10	4	13, 14	4	2	7	7
3	8	1	4	5	15, 16	5	3	4	4
4	7	4	5	3	17, 18	6	4	5	3
5	7	4	5	3	19, 20	7	3	6	4
6	8	3	4	2	21, 22	8	4	1	3
7	2	4	6	5	23, 24	5	6	2	5
8	4	7	2	5	25, 26	3	4	7	6
9	5	6	3	4	27, 28	5	4	2	3
10	1	8	2	6	29, 30	6	8	1	5

Таблица 117

Нагрузка, МВ·А

Номер варианта	$\underline{S}_2$	$\underline{S}_3$	$\underline{S}_4$	$\underline{S}_5$
1	0,7 + j0,5	0,6 + j0,4	0,5 + j0,3	0,4 + j0,2
2	1,0 + j0,3	0,3 + j0,2	0,4 + j0,2	0,5 + j0,3
3	0,2 + j0,2	0,6 + j0,4	0,7 + j0,3	0,5 + j0,3
4	0,6 + j0,4	0,7 + j0,5	0,4 + j0,2	0,5 + j0,3
5	0,3 + j0,2	1,0 + 0,4	0,5 + j0,3	0,4 + j0,2
6	1,2 + j0,6	0,3 + j0,2	0,4 + j0,3	0,4 + j0,2
7	0,8 + j0,6	0,7 + j0,5	0,2 + j0,1	0,4 + j0,2
8	0,7 + j0,4	0,6 + j0,3	0,4 + j0,2	0,5 + j0,3
9	1,0 + j0,5	1,0 + j0,5	0,2 + j0,1	0,3 + j0,2
10	0,7 + j0,3	0,8 + j0,4	0,3 + j0,2	0,4 + 0,2

**Задача 70**

В узле электрической сети в течение суток зафиксированы продолжительности отклонений напряжений, приведенные в табл. 118.

Построить гистограмму отклонений напряжения в виде зависимости



$$p = f(\delta U_i),$$

где  $p$  – вероятность появления отклонения напряжения  $\delta U_i$ ;

$\delta U_i$  – отклонение напряжения, соответствующее середине  $i$ -го диапазона наблюдения.

Определить среднее и среднеквадратичное отклонение напряжения.

Найти время, в течение которого отклонение напряжения находилось в пределах, указанных в табл. 119.

Таблица 118

Продолжительность нахождения отклонения, ч, напряжения  
в соответствующем диапазоне отклонений напряжения, %

Номер варианта	-10...-7,5	-7,5...-5	-5...-2,5	-2,5...0	0...2,5	+2,5...+5	+5...+7,5	+7,5...+10
1	1	2	3	5	6	4	3	0
2	0	2	4	6	5	3	3	1
3	2	6	5	4	3	2	1	1
4	0	1	3	5	7	4	3	1
5	0	0	2	4	5	6	5	2
6	2	4	7	5	3	2	1	0
7	1	3	5	7	4	2	1	1
8	0	1	1	4	7	5	4	2
9	3	7	5	4	3	1	1	0
10	2	4	6	5	4	3	0	0
11, 12	1	2	4	5	5	4	2	1
13, 14	2	5	5	4	3	2	2	1
15, 16	1	2	2	3	4	5	5	2
17, 18	1	1	2	4	6	8	1	1
19, 20	1	4	8	6	4	1	0	0
21, 22	1	2	3	7	7	2	1	1
23, 24	2	4	6	6	3	2	1	0
25, 26	1	3	4	5	6	3	1	1
27, 28	0	1	2	3	5	5	6	3
29, 30	2	3	4	5	3	3	1	0

## Пределы отклонения напряжения

Номер варианта	Пределы отклонения напряжения, %	Номер варианта	Пределы отклонения напряжения, %
1	-5...+5	6	-5...+2,5
2	-2,5...+2,5	7	-7,5...0
3	-10...0	8	-2,5...+7,5
4	-7,5...+2,5	9	0...7,5
5	-2,5...+5	10	-5...7,5

Дополнительные задачи для решения по данному разделу приведены в [3], с. 156–157, контрольные вопросы – с. 158, примеры решения задач – с. 142–156. В [2] приведены примеры решения задач (с. 469–487) и контрольные вопросы (с. 467–469).

### 3.9. ОСНОВЫ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

#### Задача 71

В электроэнергетическую систему включены три тепловые электростанции с неизменным составом оборудования, расходные характеристики которых описываются уравнением вида

$$B = B_0 + m(P - P_{\text{МИН}}) + n(P - P_{\text{МИН}})^2,$$

где  $B_0$  – расход топлива, т у. т./ч, при минимальной нагрузке  $P_{\text{МИН}}$ , МВт;

$m$ , т у. т./( $\text{МВт} \cdot \text{ч}$ ), и  $n$ , т у. т./( $\text{МВт} \cdot \text{ч}$ )<sup>2</sup> – параметры уравнения.

Для заданного преподавателем варианта диапазонов возможного изменения мощности станций от  $P_{\text{МИН}}$  до  $P_{\text{МАКС}}$  (табл. 120) и параметров  $m$  и  $n$  (табл. 121) требуется:

1. Построить характеристики относительных приростов для каждой электростанции в регулировочном диапазоне мощностей.
2. Задаваясь различными относительными приростами, определить соответствующие им мощности электростанций и мощности системы в целом.
3. Построить характеристику относительных приростов для всей электроэнергетической системы.
4. Для мощностей системы, равных  $P_{1С}$ ,  $P_{2С}$  и  $P_{3С}$  (см. табл. 120), поочередно найти соответствующие им относительные приросты, а по ним на основании характеристик относительных приростов станций – экономичное распределение нагрузки между станциями.

Таблица 120

## Исходные данные о мощности электростанций и системы

Мощность, МВт	Номер варианта									
	1–3	4–6	7–9	10–12	13–15	16–18	19–21	22–24	25–27	28–30
$P_{1\text{МИН}}$	400	100	200	500	200	600	700	300	800	1000
$P_{1\text{МАКС}}$	800	300	600	800	300	900	1000	500	1200	1400
$P_{2\text{МИН}}$	300	200	400	600	200	700	300	400	700	700
$P_{2\text{МАКС}}$	600	400	200	1000	400	1000	600	700	1000	900
$P_{3\text{МИН}}$	200	300	500	300	300	500	200	200	900	600
$P_{3\text{МАКС}}$	500	500	800	600	500	1200	400	500	1300	1110
$P_{1C}$	1000	650	1200	1600	800	1500	1300	1100	2700	2500
$P_{2C}$	1300	850	1300	1900	900	2000	1500	1300	3000	2800
$P_{3C}$	1700	1000	1400	2200	1000	2800	1700	1500	3200	3200

Таблица 121

## Исходные данные о параметрах расходных характеристик

Номер варианта	$m_1$	$n_1$	$m_2$	$n_2$	$m_3$	$n_3$
1	0,28	0,0004	0,3	0,0008	0,35	0,0012
2	0,32	0,0003	0,26	0,0007	0,28	0,0011
3	0,3	0,0008	0,27	0,0004	0,32	0,0009
4	0,32	0,0007	0,28	0,0005	0,26	0,0001
5	0,27	0,0006	0,29	0,0008	0,31	0,0002
6	0,26	0,0005	0,29	0,0007	0,27	0,0001
7	0,25	0,0001	0,28	0,0006	0,31	0,0008
8	0,27	0,0002	0,32	0,0004	0,26	0,0006
9	0,31	0,0003	0,27	0,0006	0,25	0,0008
10	0,29	0,0004	0,26	0,0009	0,34	0,0011

## Задача 72

В схеме электрической сети напряжением 110 кВ (рис. 34), выполненной проводами марки АС 240/32 с длинами линий  $L_{13}$ ,  $L_{14}$ ,  $L_{23}$ ,  $L_{24}$  (табл. 122), в узлах 3 и 4 подключены фиксированные нагрузки  $\underline{S}_3$  и  $\underline{S}_4$  (см. табл. 122).

В узлах 1 и 2 подключены источники активной и реактивной мощности. Узел 1 является балансирующим, в узле 2 активная нагрузка  $P_{2Г}$  фиксирована, а реактивная нагрузка может изменяться от  $Q_{2ГМИН}$  до  $Q_{2ГМАКС}$  (табл. 123).

Найти оптимальную реактивную нагрузку узла 2 и балансирующего узла 1 по критерию минимума потерь активной мощности в сети.

Расчеты потокораспределения выполнять без учета потерь мощности в сети. Активной и реактивной проводимостями линий пренебречь.



Рис. 34. Схема электрической сети

Исходная информация о длине линий  
и мощность нагрузочных узлов

Номер варианта	Длина линий, км				Нагрузка в узлах, МВ·А	
	$L_{13}$	$L_{14}$	$L_{23}$	$L_{24}$	$\underline{S}_3$	$\underline{S}_4$
1	40	25	30	20	$30 + j20$	$50 + j30$
2	20	30	40	36	$20 + j15$	$40 + j20$
3	24	15	35	42	$40 + 25$	$30 + j30$
4	44	23	16	28	$55 + j35$	$30 + j20$
5	32	27	18	14	$45 + j30$	$35 + j20$
6	33	17	15	25	$70 + j50$	$20 + j10$
7	25	15	33	17	$20 + j10$	$70 + j50$
8	32	26	28	18	$60 + j40$	$30 + j20$
9	18	32	26	28	$30 + j20$	$60 + j40$
10	16	24	28	32	$50 + j30$	$40 + j25$
11	35	19	23	21	$50 + j30$	$30 + j20$
12	33	17	28	24	$40 + j20$	$20 + j15$
13	18	25	32	41	$30 + j30$	$40 + j25$
14	42	32	16	24	$30 + j20$	$55 + j35$
15	13	18	24	26	$35 + 20$	$45 + j30$
16	17	23	27	31	$40 + j25$	$50 + j30$
17	17	31	29	29	$30 + j20$	$50 + j30$
18	19	26	35	31	$30 + j20$	$40 + j15$
19	35	27	18	22	$60 + j30$	$20 + j10$
20	22	18	27	36	$45 + j35$	$50 + j40$
21, 22	26	34	40	21	$45 + j20$	$48 + j22$
23, 24	18	32	23	27	$22 + j16$	$38 + j20$
25, 26	23	16	25	29	$32 + j18$	$52 + j25$
27, 28	16	24	18	32	$24 + j10$	$53 + j20$
29, 30	28	31	15	19	$36 + j16$	$42 + j25$

## Исходная информация о мощности генерирующих узлов

Мощность	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{2Г}$ , МВт	50	20	40	45	40	40	40	50	50	40
$Q_{2ГМИН}$ , Мвар	20	0	25	20	20	10	10	20	20	25
$Q_{2ГМАКС}$ , Мвар	50	35	55	45	40	40	40	50	50	40

**Задача 73**

Задана неоднородная замкнутая электрическая сеть, содержащая линию 1–2 напряжением 220 кВ, и линии 3–4, 4–5 напряжением 110 кВ (см. рис. 22).

На каждой подстанции установлены автотрансформаторы с параметрами, приведенными в задаче 46. Исходные данные о длинах линий и нагрузках принять из табл. 70, 71.

Требуется: рассчитать и проанализировать естественное, экономичное и принудительное распределение мощностей в замкнутой сети.

Расчет произвести в следующем порядке:

1. Составить расчетные схемы с параметрами элементов сети и мощностями (одну – с полными сопротивлениями, другую – только с активными сопротивлениями).

2. Выписать из задачи 46 результаты расчета естественного потокораспределения без учета потерь мощности при коэффициентах трансформации автотрансформаторов  $n_{13} = n_{25}$ . Рассчитать потери активной мощности.

3. Определить экономичное распределение мощностей без учета потерь мощности при  $n_{13} = n_{25}$ , используя уравнение  $\sum \underline{S}_{ij} R_{ij} = 0$ .

4. Определить уравнительную мощность по формуле

$$\underline{S}_y = \underline{S}_{12Э} - \underline{S}_{12Е} = P_y + jQ_y.$$

5. Вычислить требуемые продольную и поперечную ЭДС для перехода от естественного к экономичному распределению мощностей:

$$\underline{E}_{\Delta} = E_{\Delta}' + E_{\Delta}'' ,$$

$$E_{\Delta}' = \frac{P_y R_K + Q_y X_K}{U_{\text{НОМ}}} ,$$

$$E_{\Delta}'' = \frac{P_y X_K - Q_y R_K}{U_{\text{НОМ}}} ,$$

где  $R_K, X_K$  – сопротивление контура.

6. Подобрать сочетание стандартных коэффициентов трансформации (ответвлений) автотрансформаторов, соответствующее требуемой продольной ЭДС:

$$E_{\Delta}' = U_{\text{НОМ}} (1 - n_{13} \cdot n_{25}) .$$

7. Рассчитать принудительное распределение мощностей без учета потерь мощности при введенной продольной ЭДС. Определить суммарные потери активной мощности сети.

8. Сравнить потери мощности при естественном, экономичном и принудительном распределении мощностей.

Результаты расчетов представить в виде схем сети с нанесенными на них нагрузками узлов и потоками мощности во всех рассчитанных режимах.

### Задача 74

Задана неоднородная замкнутая электрическая сеть, содержащая линию напряжением 110 кВ, выполненную проводом марки АС 120/19, и линии напряжением 10 кВ с маркой провода АС 120/19 (рис. 35).



На каждой подстанции установлено по два трансформатора со следующими номинальными напряжениями и диапазонами регулирования напряжения:  $115 \pm (9 \times 1,78) \% / 11 \text{ кВ}$ .

Исходные данные о длинах линий и нагрузках принять для заданного преподавателем варианта из табл. 124, 125.

Требуется:

а) рассчитать естественное и экономичное распределение мощностей, а также уравнительную мощность при установленных средних ответвлениях всех трансформаторов;

б) подобрать сочетание ответвлений трансформаторов для перехода от естественного к экономичному распределению мощностей;

в) рассчитать потокораспределение при установленных ответвлениях трансформаторов одной из подстанций  $+9 \times 1,78 \%$ , а другой  $-9 \times 1,78 \%$ ;

г) сделать вывод о допустимости режимов с одинаковыми и различными ответвлениями трансформаторов по условию нагрузочной способности трансформаторов и допустимых по нагреву токов линий.

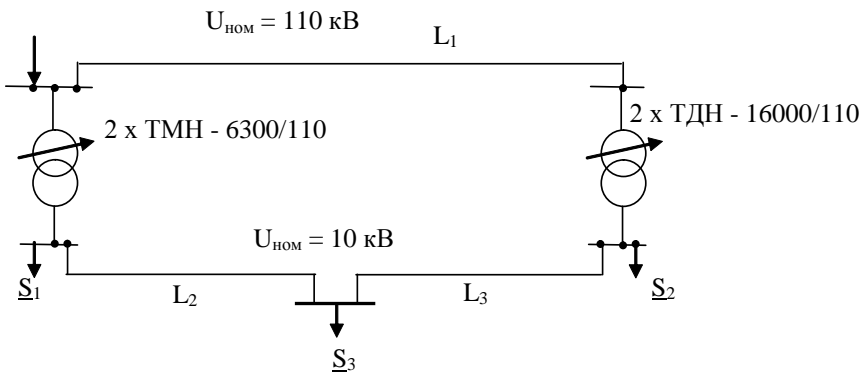


Рис. 35. Схема электрической сети

Таблица 124

Длина линий, км

Линия	Номер варианта									
	1–3	4–6	7–9	10–12	13–15	16–18	19–21	22–24	25–27	28–30
L <sub>1</sub>	30	25	40	35	27	32	34	18	22	26
L <sub>2</sub>	10	20	25	17	14	17	18	9	10	13
L <sub>3</sub>	20	10	15	18	15	17	16	10	11	14

Таблица 125

Мощность в узлах, МВ·А

Номер варианта	$\underline{S}_1$	$\underline{S}_2$	$\underline{S}_3$	Номер варианта	$\underline{S}_1$	$\underline{S}_2$	$\underline{S}_3$
1	15 + j8	12 + j5	6 + j3	6	20 + j8	10 + j6	6 + j3
2	19 + j6	20 + j13	30 + j14	7	8 + j4	30 + j16	4 + j2
3	5 + j2	4 + j2	5 + j3	8	18 + j8	14 + j6	9 + j5
4	11 + j7	20 + j11	6 + j4	9	16 + j7	22 + j9	24 + j16
5	10 + j6	20 + j8	5 + j1	10	3 + j1	3 + j2	4 + j3

Примеры решения задач по данному разделу приведены в [2], с. 444–466, контрольные вопросы – с. 443–444.

#### 4. ОБОБЩЕННЫЕ И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОМПЕТЕНТНОСТИ

В задачах данного раздела возможна избыточная исходная информация. В случае если исходной информации не достаточно, задаться ею самостоятельно или принять из справочника.

##### Задача 75

Предполагается соорудить линию электропередачи напряжением 110 кВ длиной 15 км. Участок линии протяженностью 3 км будет проходить по территории городской застройки с пересечением трамвайных путей и автомагистрали и должен быть выполнен кабельным. Остальная линия выполняется воздушной проводами марки АС 120/19.

Выбрать марку и параметры кабеля, обеспечивающего примерно ту же пропускную способность, что и воздушная линия.

##### Задача 76

Определить номинальное напряжение, марку провода и количество цепей воздушной линии электропередачи длиной 30 км, для которой полное сопротивление  $\underline{Z} = 3,66 + j6,405$  Ом, а зарядная мощность  $Q_b = 1,93$  Мвар.

##### Задача 77

Определить и проанализировать длины линий электропередачи, при которых в режиме холостого хода их зарядные мощности соответствуют допустимому току по условию нагревания для следующих условий:

- а) напряжение 110 кВ, провода марки АС 240/32;
- б) напряжение 330 кВ, провода марки 2×АС 240/32;
- в) напряжение 750 кВ, провода марки 5×АС 400/51;
- г) напряжение 110 кВ, кабель с алюминиевыми жилами площадью сечения  $240 \text{ мм}^2$  с изоляцией из сшитого полиэтилена.

### Задача 78

На вторичной стороне двухобмоточного трансформатора типа ТДН 10000/110 подключена нагрузка  $P_2$  с  $\cos\varphi_2 = 1$ . Определить значение  $P_2$ , при котором КПД трансформатора становится наибольшим.

### Задача 79

В схеме электрической сети, приведенной на рис. 36, известны сопротивления  $R$  и  $X$  линий, напряжения источников питания  $U_1$ ,  $U_3$  и нагрузка  $\underline{S}_2$  в узле 2. Найти уравнительную мощность и ее направление. Как изменится уравнительная мощность при  $\underline{S}_2 = 0$ ?

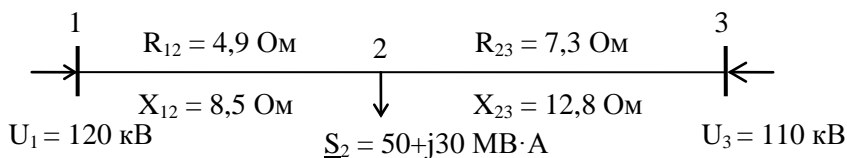


Рис. 36. Схема электрической сети

### Задача 80

В распределительной электрической сети напряжением  $U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}$ , показанной на рис. 37, известны длины участков, нагрузки и их коэффициенты мощности. Нагрузки по фазам распределены равномерно.

Определить площади сечения алюминиевых проводов на участках 0–3 и 1–4, если допустимые потери напряжения  $\Delta U_{\text{доп}} = 6 \%$ . На магистрали 0–3 марку провода выбрать одинаковую.

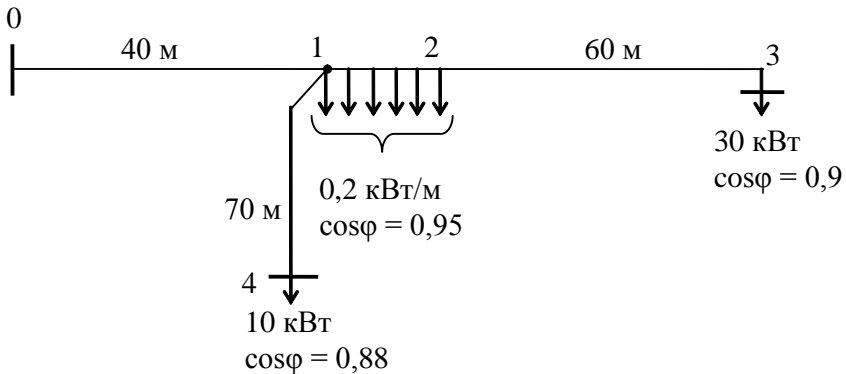


Рис. 37. Схема распределительной сети

### Задача 81

Линия электропередачи имеет следующие параметры: сопротивления  $R_{л} = 3,5$  Ом и  $X_{л} = 12,2$  Ом, реактивная проводимость  $B_{л} = 84,3 \cdot 10^{-6}$  См. В конце линии подключена нагрузка  $\underline{S}_2 = 40 + j10$  МВ·А, напряжение в конце линии  $U_2 = 112$  кВ.

Определить изменение потерь активной мощности в линии, если в ее конце параллельно нагрузке установить батарею конденсаторов мощностью 20 Мвар.

### Задача 82

В конце линии электропередачи с сопротивлениями  $R_{л} = 5,5$  Ом и  $X_{л} = 4,6$  Ом подключена нагрузка  $\underline{S}_2 = 3 + j2$  МВ·А.

Определить мощность компенсирующих устройств поперечной компенсации, которую необходимо подключить для обеспечения напряжения в начале и конце линии, равного 10,5 кВ.

### Задача 83

В конце линии электропередачи напряжением 6 кВ с сопротивлениями  $R_{л} = 3,1$  Ом и  $X_{л} = 3,5$  Ом подключен генератор, работающий в течение суток с неизменной мощностью  $\underline{S}_Г$ , и потребитель

мощностью  $P + jQ$  (рис. 38), работающий по суточному графику нагрузки, приведенному в табл. 126.

Выбрать принципиальную схему и мощность статического тиристорного компенсатора СТК для подключения к шинам потребителя, обеспечивающего наименьшие суточные потери электроэнергии в линии.

Таблица 126

Суточный график нагрузки

Часы	0–6	6–20	20–24
$P$ , МВт	3	4	3
$Q$ , Мвар	1	3	1

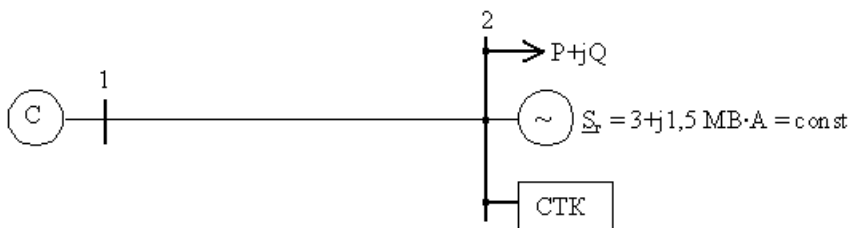


Рис. 38. Схема электрической сети с СТК

### Задача 84

Охарактеризовать особенности режимов узла 2 (см. рис. 38), работающего по графику нагрузки, приведенному в табл. 126, в случае аварийного отключения линии 1–2.

### Задача 85

В конце линии электропередачи в режиме наибольших нагрузок подключены потребитель мощностью  $S_{нб} = 40 + j30$  МВ·А и в течение всего года – батарея конденсаторов мощностью  $Q_6 = 20$  Мвар. В зимний день нагрузка потребителя равна: с 0 до 6 ч и с 21 до 24 ч – 40 МВт, с 6 до 21 ч – 20 МВт. В летний день соответственно:

с 0 до 7 ч и с 20 до 24 ч – 20 МВт, с 7 до 20 ч – 10 МВт. Коэффициент мощности потребителя в течение года остается неизменным.

Построить годовой график полной мощности по продолжительности для линии электропередачи и определить время использования наибольшей полной мощности линии.

### Задача 86

Принято решение о выделении средств на приобретение батарей конденсаторов общей мощностью 5 Мвар для компенсации реактивной мощности в электрической сети напряжением 35 кВ, приведенной на рис. 39.

При указанных на схеме мощностях (МВ·А) предложить узлы для наиболее целесообразной установки батарей конденсаторов и их соответствующие мощности по критерию минимума суммарных потерь активной мощности в сети.

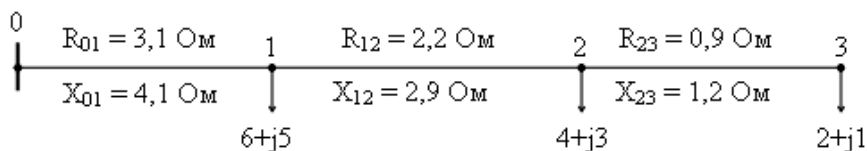


Рис. 39. Схема электрической сети

### Задача 87

На подстанции установлено два трансформатора типа ТМ 630/10, включенные параллельно на шины 0,38 кВ, нагрузка на которых отсутствует (рис. 40, а, б).

Определить, будут ли при этом потери активной мощности в трансформаторах, и если будут, то в каком варианте режимов отвлений трансформаторов они будут больше. Ответ обосновать.

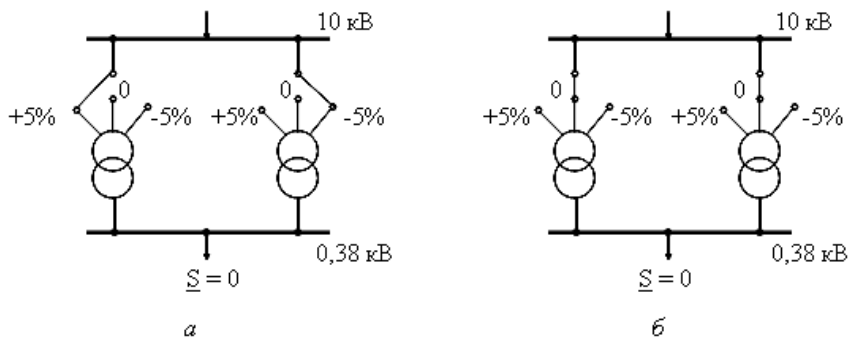


Рис. 40. Схема подстанции с различными (а) и одинаковыми (б) ответвлениями на трансформаторах

### Задача 88

В электрической сети, приведенной на рис. 41, установлены автотрансформаторы типа АТДЦТН 125000/300/115 ± (6 × 12) % / 10,5. Реактивные сопротивления линий равны  $X_{01} = 30$  Ом,  $X_{23} = X_{34} = 20$  Ом. Активными сопротивлениями линий и автотрансформаторов пренебречь. Нагрузки в узлах даны в МВ·А.

Найти наибольшую возможную уравнительную мощность и ее направление в контуре.

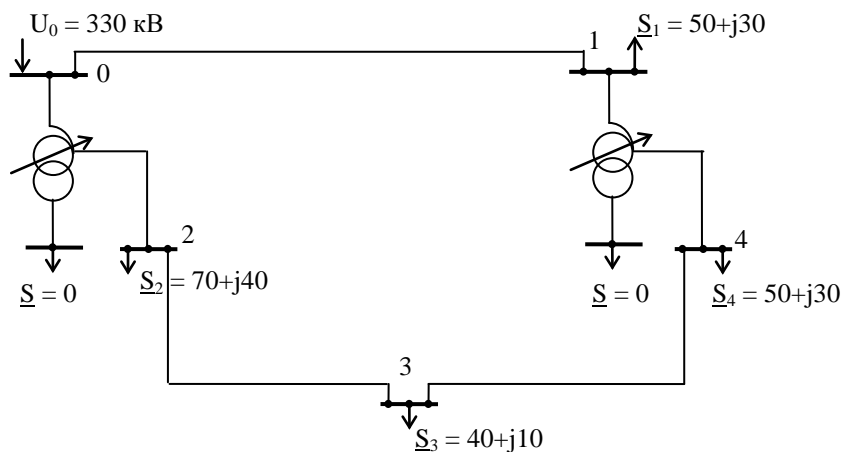


Рис. 41. Схема замкнутой электрической сети



### Задача 89

Линия электропередачи напряжением 110 кВ длиной 20 км, выполненная проводами марки АС 240/32, питает потребителя со следующей нагрузкой в течение суток: с 0 до 6 ч и с 18 до 24 ч – 20 МВт, с 6 до 18 ч – 40 МВт. Коэффициент мощности потребителя в течение суток не изменяется и равен  $\cos\varphi = 1$ .

Определить емкость (в кВт·ч) накопителя электроэнергии на шинах потребителя, реализация которого позволила бы иметь минимальные суточные потери электроэнергии в линии.

### Задача 90

Решить задачу 89 при условии, что коэффициент мощности потребителя равен: а) в течение суток  $\cos\varphi = 0,8$ ; б) с 0 до 6 ч и с 18 до 24 ч  $\cos\varphi = 0,8$ , а с 6 до 18 ч  $\cos\varphi = 0,9$ .

### Задача 91

Линия электропередачи напряжением 110 кВ длиной 30 км, выполненная проводами марки АС 240/32, питает потребителя с нагрузкой  $\underline{S}_{\text{нб}} = 40 + j15$  МВ·А. Напряжение в начале линии  $U_1 = 120$  кВ. На шинах потребителя подключен статический тиристорный компенсатор с располагаемым диапазоном регулирования мощности от +25 Мвар (генерация) до –15 Мвар (потребление). Определить возможное наибольшее и наименьшее напряжение  $U_2$  на шинах потребителя.

### Задача 92

Двухцепная линия электропередачи напряжением 10 кВ длиной 6 км, выполненная проводами марки АС 120/19, питает шины приемной подстанции, к которым подключен генератор с неизменной мощностью в течение суток  $\underline{S}_g = 6 + j5$  МВ·А и потребитель со следующей нагрузкой в течение суток: с 0 до 8 ч и с 20 до 24 ч  $\underline{S}_n = 6 + j3$  МВ·А, с 8 до 20 ч  $\underline{S}_n = 10 + j6$  МВ·А.

Выбрать схему статического тиристорного компенсатора для установки на шинах приемной подстанции и его мощность, обеспечивающую минимум потерь электроэнергии в линии за сутки.

### Задача 93

В конце линии электропередачи напряжением 10 кВ длиной 8 км, выполненной проводами марки АС 120/19, подключен потребитель мощностью  $\underline{S} = 2 + j1$  МВ·А. Напряжение в начале линии равно 10,5 кВ.

Определить изменение отклонения напряжения на шинах потребителя, если на линии применить устройство продольной компенсации с сопротивлением  $X_c = 3$  Ом, а у потребителя установить устройство поперечной компенсации мощностью 1 Мвар. Определить также изменение при этом потерь активной и реактивной мощности в линии.

### Задача 94

Для линии электропередачи напряжением 110 кВ длиной 40 км, выполненной проводами марки АС 120/19, произвести сравнение потерь активной мощности при передаче натуральной мощности и допустимой мощности по условию нагревания проводов.

### Задача 95

К линии электропередачи напряжением 10 кВ длиной 8 км, выполненной проводами марки АС 120/19, подключен потребитель мощностью  $\underline{S} = 2 + j1$  МВ·А.

Найти мощность компенсирующего устройства, которое необходимо подключить в конце линии для обеспечения равенства напряжений по концам линии.

### Задача 96

Определить потокораспределение в однородной замкнутой сети (рис. 42) с известными длинами участков и нагрузками в узлах.

Проанализировать изменение потокораспределения при подключении в узле 1 батарей конденсаторов мощностью 10 Мвар, а в узле 2 – 20 Мвар.

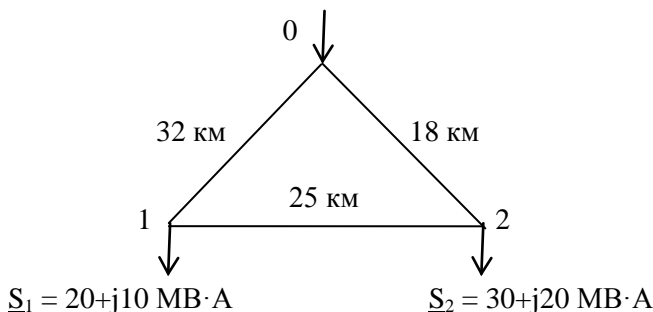


Рис. 42. Схема однородной сети

### Задача 97

На подстанции установлено два понижающих трансформатора типа ТДН 16000/110. От каждого из них питается отдельная секция шин с соответствующей нагрузкой  $\underline{S}_1$  и  $\underline{S}_2$ , между секциями установлен секционный выключатель.

Определить наивыгоднейший по условию наименьших потерь активной мощности в трансформаторах режим работы секционного выключателя (включен или отключен) при следующих нагрузках:

- а)  $\underline{S}_1 = \underline{S}_2 = 8 + j6$  МВ·А;
- б)  $\underline{S}_1 = 12 + j8$  МВ·А;  $\underline{S}_2 = 4 + j2$  МВ·А.

### Задача 98

В конце линии электропередачи длиной 13 км, выполненной проводом марки АС 120/19, подключена нагрузка  $\underline{S} = 3 + j2$  МВ·А и поддерживается напряжение 10 кВ.

Построить векторные диаграммы напряжений и токов при установке устройства продольной компенсации с сопротивлением  $X_c = 4$  Ом поочередно: а) в начале линии; б) в середине линии; в) в конце линии.

### Задача 99

В конце линии электропередачи длиной 13 км, выполненной проводом марки АС 120/19, подключена нагрузка  $\underline{S} = 3 + j2$  МВ·А. Напряжение в начале линии  $U_1 = 11$  кВ.

Определить, как изменится КПД линии электропередачи за счет устройства продольной компенсации с реактивным сопротивлением, равным реактивному сопротивлению линии, при его установке: а) в начале линии; б) в середине линии; в) в конце линии.

### **Задача 100**

Обычная лампа накаливания мощностью 75 Вт имеет срок службы 1000 ч, и ее стоимость равна 700 бел. рублей. У эквивалентной по светотехническим характеристикам энергосберегающей лампы мощностью 15 Вт срок службы равен 8000 ч, а ее стоимость равна 13 000 бел. рублей. Время работы каждой лампы в течение года составляет 2000 ч (примерно 6 ч в сутки). Тариф на электроэнергию равен 200 руб./( $\text{kBt}\cdot\text{ч}$ ).

Определить срок окупаемости энергосберегающей лампы по отношению к обычной лампе накаливания.

### **Задача 101**

Воздушная линия электропередачи напряжением 750 кВ длиной 600 км выполнена проводами марки  $5\times\text{AC } 240/56$  и работает в сети с частотой 50 Гц.

Рассматривая линию без потерь, определить изменение реактивного сопротивления, реактивной проводимости, волнового сопротивления, коэффициента изменения фазы волны, зарядной мощности, натуральной мощности и предела передаваемой мощности, если линию включить в сеть с частотой: а) 60 Гц; б) 25 Гц.

### **Задача 102**

Предприятие питается по находящейся на собственном балансе двухцепной воздушной линии электропередачи длиной 30 км, выполненной проводами марки  $\text{AC } 185/29$ . Нагрузка предприятия, коэффициент мощности и тарифы за электроэнергию изменяются по суточному графику, приведенному в табл. 127.

## Показатели в течение суток

Часы	0–7	7–17	17–23	23–24
P, МВт	40	60	80	40
cosφ	0,8	0,85	0,9	0,8
Тариф, бел.руб./кВт·ч)	160	200	230	160

Определить экономическую эффективность выравнивания графика нагрузки до неизменной активной мощности в течение суток при том же суточном потреблении электроэнергии и тех же  $\cos\varphi$  в течение суток с учетом изменения стоимости потерь электроэнергии в питающей линии.

## Задача 103

Марки проводов в схеме электрической сети напряжением 110 кВ (рис. 43) выбраны по экономическим соображениям.

Оценить, нужна ли проверка указанных проводов по условию нагревания, и если нужна, то произвести ее. Мощности на схеме указаны в МВ·А.

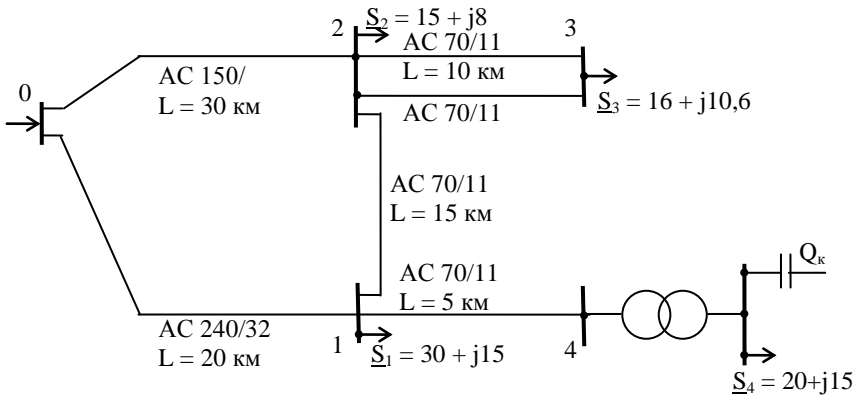


Рис. 43. Схема смешанной электрической сети

### Задача 104

На подстанции 4 (см. рис. 43) нагрузка изменяется в соответствии с суточным графиком (табл. 128).

Таблица 128

Суточный график нагрузки

Часы	0–6	6–22	22–24
$P$ , МВт	15	20	15
$Q$ , Мвар	10	15	5

Оценить положительные и отрицательные эффекты при установке на шинах низшего напряжения нерегулируемой конденсаторной батареи мощностью  $Q_K = 15$  Мвар.

### Задача 105

Оценить изменение электрических и режимных параметров линии 0–1 (см. рис. 43), если вместо фазы с проводом марки АС 240/32 применить расщепленную фазу с двумя проводами марки 2×АС 120/19.

### Задача 106

На подстанции установлено два трансформатора типа ТДН 16000/110, питающих шины 10 кВ. Трансформаторы могут работать параллельно.

Найти наиболее выгодный режим работы подстанции (в работе один трансформатор или два) в течение суток по критерию минимума суточных потерь электроэнергии при условии, что коммутация трансформаторов в течение суток не допускается. Нагрузка подстанции в течение суток: с 0 до 7 ч и с 21 до 24 ч  $P = 6$  МВт,  $Q = 4$  Мвар, с 7 до 21 ч  $P = 13$  МВт,  $Q = 9$  Мвар.

### Задача 107

На подстанции установлен понижающий трансформатор типа ТДН 10000/110, к которому подключена нагрузка с  $\cos\varphi = 0,9$ .

Определить активную мощность нагрузки, при которой трансформатор будет работать с коэффициентом полезного действия, равным 0,98.

### Задача 108

Оценить возможность параллельной работы двух понижающих трансформаторов одинаковой мощности, если на одном из них имеются диапазон и ступени регулирования  $115 \pm (8 \times 2) \% / 11$  кВ, а на другом  $115 \pm (16 \times 1) \% / 11$  кВ. Остальные параметры трансформаторов одинаковы.

### Задача № 109

Для схемы распределительной сети напряжением 10 кВ, приведенной на рис. 44, выбрать точки подключения устройств поперечной компенсации и их мощности для обеспечения равенства напряжений  $U_1 = U_2 = U_3 = U_0$ .

Сеть выполнена:

а) воздушной, проводом марки АС 95/16;

б) кабельной, при горизонтально расположенных однофазных кабелях из сшитого полиэтилена с алюминиевыми жилами площадью  $95 \text{ мм}^2$ .

Произвести сравнение характера и мощности устройств поперечной компенсации по результатам расчетов воздушной и кабельной сети.

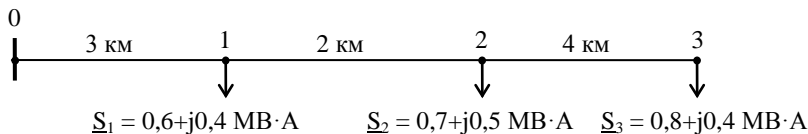


Рис. 44. Схема распределительной сети

### Задача 110

На трансформаторной подстанции установлены два трансформатора типа ТМ 630/10, включенные параллельно на шины 0,38 кВ, к которым подключена нагрузка потребителей с  $\cos\varphi = 0,8$ . Один из трансформаторов работает с регулировочным ответвлением +2,5 %, а второй – с ответвлением 0 %.

Определить наибольшую активную мощность потребителей, при которой ни на одном из трансформаторов не будет иметь место перегрузка.

### Задача 111

На трансформаторной подстанции установлены два трансформатора типа ТМ 400/10, включенные параллельно на шины 0,38 кВ, к которым подключена активная нагрузка 0,5 МВт. Один из трансформаторов работает с регулировочным ответвлением 0 %, а второй – с ответвлением +5 %.

Определить направления и значения активной и реактивной мощности при  $\cos\varphi$  нагрузки равном: а) 1,0; б) 0,85; в) 0,7.

### Задача 112

В схеме электроэнергетической системы, приведенной на рис. 45, все выключатели, за исключением межсекционного МСВ, и все разъединители в нормальном режиме включены.

Предложить и обосновать режимные мероприятия и последовательность операций с выключателями и разъединителями для вывода в плановый ремонт выключателя В.



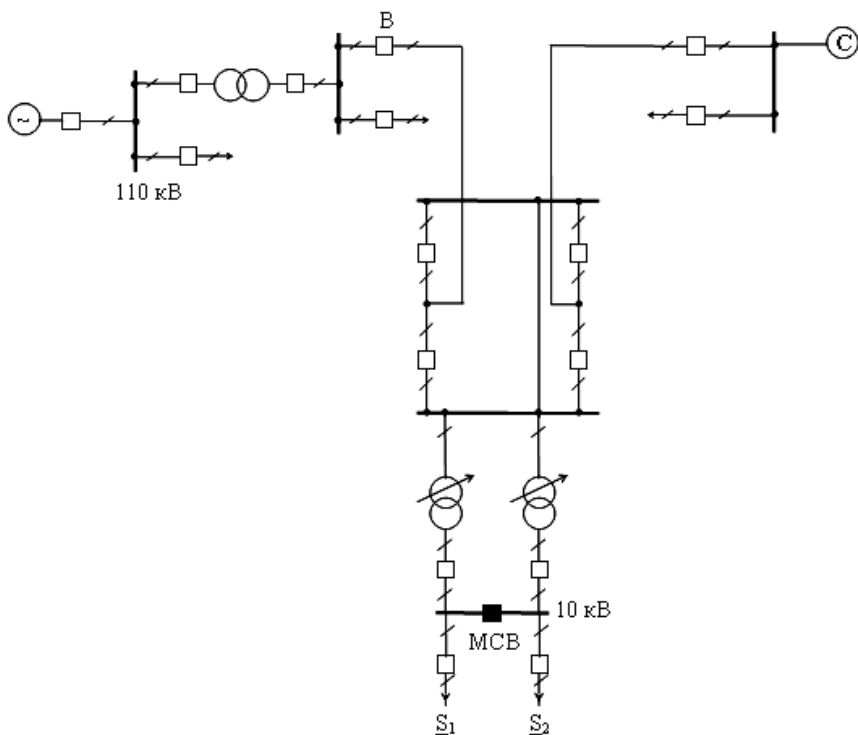


Рис. 45. Схема электроэнергетической системы

### Задача 113

На подстанции установлено два трансформатора, к которым подключена суммарная нагрузка  $\underline{S} = \underline{S}_1 + \underline{S}_2 \neq 0$  (см. рис. 45).

Определить условия, при которых при отключенном положении межсекционного выключателя МСВ будут иметь наименьшие потери активной мощности в трансформаторах, если:

- трансформаторы одинакового типа и одинаковой номинальной мощности;
- трансформаторы одинакового типа и различной номинальной мощности.

### Задача 114

В схеме электрических сетей электроэнергетической системы, приведенной на рис. 46, все выключатели, кроме межсекционных МСВ, и все разъединители в нормальном режиме включены.

Предложить и обосновать последовательность операций с выключателями и разъединителями для вывода в плановый ремонт трансформатора Т.

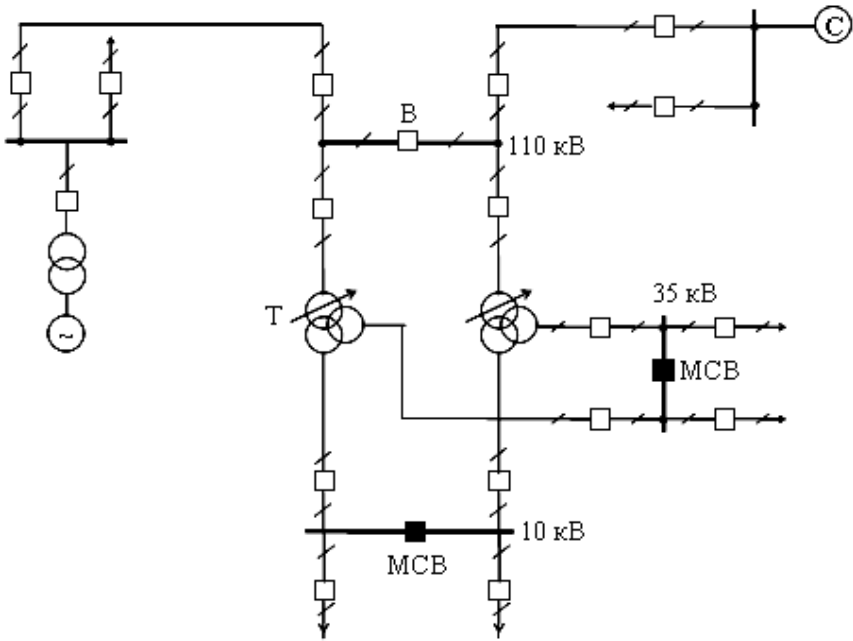


Рис. 46. Схема электрических сетей электроэнергетической системы

### Задача 115

Охарактеризовать возможные режимные последствия в электроэнергетической системе (см. рис. 46) при случайном непреднамеренном отключении выключателя В.

### Задача 116

Для схем распределительной электрической сети напряжением 10 кВ, приведенных на рис. 47, 1–4, выбрать по критерию минимума потерь активной мощности место установки нерегулируемой батареи конденсаторов поперечной компенсации мощностью 0,4 Мвар. На схемах мощности в узлах сети указаны в МВ·А. Марки проводов всех линий АС 120/19.

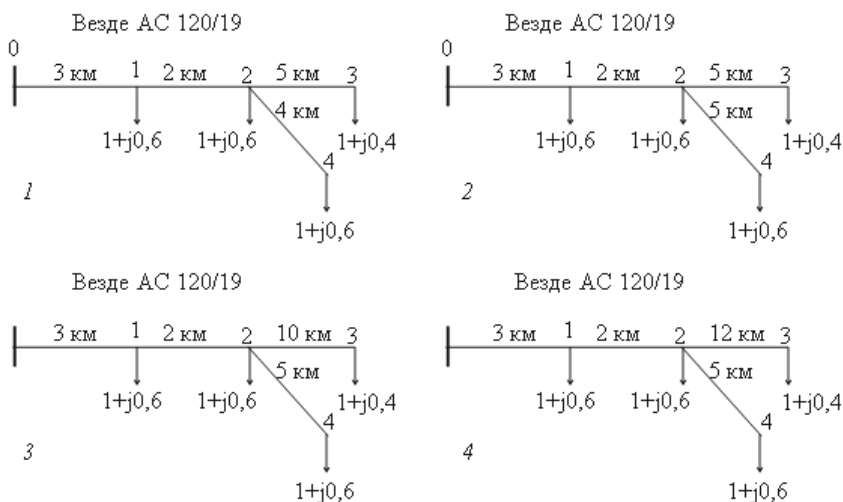


Рис. 47. Варианты схем распределительной электрической сети

### Задача 117

Для схемы распределительной сети напряжением 10 кВ, приведенной на рис. 47, 4, выбрать по критерию минимума потерь активной мощности место установки нерегулируемой батареи конденсаторов поперечной компенсации мощностью 0,6 Мвар. Сравнить полученный результат с решением задачи 116.

### Задача 118

Для схемы распределительной сети напряжением 10 кВ, приведенной на рис. 48, с нагрузками в МВ·А в узлах 3 или 4 возможна установка батареи конденсаторов одинаковой мощности 0,4 Мвар. На всех участках сети провода марки АС 120/19.

Найти соотношение длин участков сети 2–3 и 2–4, при котором снижение потерь активной мощности в сети за счет установки батареи конденсаторов будет одинаково.

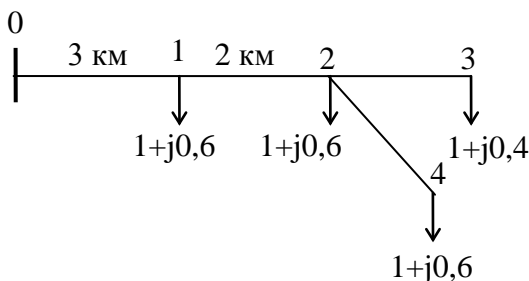


Рис. 48. Схема электрической сети

### Задача 119

На понижающей подстанции установлен автотрансформатор типа АТДЦТН – 125000/330/110 с регулированием напряжения под нагрузкой на стороне среднего напряжения в диапазоне  $\pm 6 \times 2\%$  с номинальным напряжением среднего ответвления 115 кВ. Номинальное напряжение других сторон 330 и 10,5 кВ. По результатам электрического расчета режима сети на шинах среднего напряжения получено напряжение 310 кВ, приведенное к стороне высшего напряжения.

Выбрать ответвление устройства РПН при желаемом напряжении на стороне среднего напряжения 120 кВ. Определить напряжение на стороне низшего напряжения при выбранном ответвлении.

### Задача 120

Определить и сравнить параметры схемы замещения линии электропередачи напряжением 110 кВ, выполненной проводом марки АС 240/32, при расположении проводов в горизонтальной плоскости и при их расположении в виде равностороннего треугольника. Расстояния между проводами ближайших фаз равно 4 м.

### Задача 121

Определить и сравнить параметры схемы замещения трехобмоточного трансформатора типа ТДТН-40000/110 при соотношении мощностей обмоток 100/100/100 % и 100/100/66,7 %.

### Задача 122

Определить параметры схемы замещения трехфазной группы однофазных двухобмоточных трансформаторов типа ОЦ 533000/500/ $\sqrt{3}$ . Паспортные данные трансформатора:  $S_{\text{ном}} = 533 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ,  $U_{\text{вн}} = 525 / \sqrt{3} \text{ кВ}$ ,  $U_{\text{К}} = 13,5 \%$ ,  $\Delta P_{\text{К}} = 1400 \text{ кВт}$ ,  $\Delta P_{\text{Х}} = 300 \text{ кВт}$ ,  $I_{\text{Х}} = 0,3 \%$ .

### Задача 123

Определить параметры схем замещения трансформаторов ТМ-25/10 и ТМ-1000/10. Вычисление реактивного сопротивления произвести по напряжению короткого замыкания и по реактивной составляющей напряжения короткого замыкания.

Сравнить полученные значения. Сделать вывод о возможной погрешности в зависимости от номинальной мощности трансформатора.

### Задача 124

В результате электрического расчета сети напряжение в начале одной из линий оказалось равным  $\underline{U}_1 = 340e^{j15} \text{ кВ}$ , а в конце  $\underline{U}_2 = 328 + j18 \text{ кВ}$ . Сопротивление этой линии  $\underline{Z} = 10 + j50 \text{ Ом}$ .

Определить направления и значения потоков мощности в начале и конце линии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Поспелов Г.Е., Федин В.Т., Лычев П.В. Электрические системы и сети. – Мн: Технопринт, 2004.
2. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии. – Ростов-на-Дону: Феникс, Красноярск: Издательские проекты, 2008.
3. Лычев П.В. Федин В.Т. Электрические системы и сети. Решение практических задач. – Мн.: Дизайн ПРО, 1997.
4. Электрические системы и сети в примерах и иллюстрациях / Под ред. В.А. Строева. – М.: Высшая школа, 1999.
5. Поспелов Г.Е., Федин В.Т. Электрические системы и сети. Проектирование. – Мн.: Вышэйшая школа, 1988.
6. Электроэнергетические системы в примерах и иллюстрациях / Под ред. В.А. Веникова. – М.: Энергоатомиздат, 1983.
7. Расчеты и анализ режимов работы сетей / Под ред. В.А. Веникова. – М.: Энергия, 1974.
8. Фадеева Г.А., Федин В.Т. Проектирование распределительных электрических сетей. – Мн.: Вышэйшая школа, 2009.
9. Электрические системы. Электрические сети / Под ред. В.А. Веникова, В.А. Строева. – М.: Высшая школа, 1998.
10. Справочник по проектированию электрических сетей / Под ред. Д.Л. Файбисовича. – М.: НЦ ЭНАС, 2005.
11. Электротехнический справочник. Т. 3. Кн. 1 / Под ред. И.Н. Орлова и др. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
12. Петренко Л.И. Электрические сети и системы. – Киев: Вища школа, 1981.
13. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
14. Поспелов Г.Е., Сыч Н.М. Потери мощности и энергии в электрических сетях – М.: Энергоиздат, 1981.
15. Поспелов Г.Е., Федин В.Т. Энергетические системы. – Мн.: Вышэйшая школа, 1974.
16. Электроэнергетические системы и сети. Терминологический словарь /Под ред. В.Т. Федина. – Мн.: БНТУ, 2007.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

Данные сталеалюминиевых проводов воздушных линий напряжением 35–220 кВ

Площадь сечения проводов марки АС, мм <sup>2</sup>	Фактическая площадь сечения алюминиевой части провода, мм <sup>2</sup>	Диаметр провода, мм	$r_0$ , Ом/км	$x_0$ , Ом/км	$b_0 \cdot 10^{-6}$ , См/км	$\Delta P_{к0}$ , кВт/км (среднегодовые)	Длительно допустимый ток, А
<b>Напряжение 35 кВ</b>							
70/11	68,0	11,4	0,428	0,432	–	–	265
95/16	95,4	13,5	0,306	0,421	–	–	330
120/19	118,0	15,2	0,249	0,414	–	–	390
150/24	149,0	17,1	0,198	0,406	–	–	450
<b>Напряжение 110 кВ</b>							
70/11	68,0	11,4	0,428	0,444	2,55	0,13	265
95/16	95,4	13,5	0,306	0,434	2,61		330
120/19	118,0	15,2	0,249	0,427	2,66		390
150/24	149,0	17,1	0,198	0,420	2,70		450
185/29	181,0	18,8	0,162	0,413	2,75		510
240/32	244,0	21,6	0,121	0,405	2,81		605
<b>Напряжение 220 кВ</b>							
240/32	244,0	21,6	0,121	0,435	2,60	1,5	605
300/39	301,0	24,0	0,098	0,429	2,64		710
400/51	394,0	27,5	0,075	0,420	2,70		825
500/64	490,0	30,6	0,060	0,413	2,74		945

Данные сталеалюминиевых проводов воздушных линий напряжением 330–750 кВ

Площадь сечения проводов марки АС, мм <sup>2</sup>	Для одного провода			Количество проводов в фазе	Шаг расщепления фазы, см	330 кВ				500 кВ				750 кВ				
	Фактическая площадь сечения алюминиевой части провода, мм <sup>2</sup>	Диаметр провода, мм	Длиительно допустимый ток, А			$r_0$ , Ом/км	$x_0$ , Ом/км	$b_0 \cdot 10^{-6}$ , См/км	$\Delta R_{к0}$ , кВт/км (среднегодовые)	$r_0$ , Ом/км	$x_0$ , Ом/км	$b_0 \cdot 10^{-6}$ , См/км	$\Delta R_{к0}$ , кВт/км (среднегодовые)	$r_0$ , Ом/км	$x_0$ , Ом/км	$b_0 \cdot 10^{-6}$ , См/км	$\Delta R_{к0}$ , кВт/км (среднегодовые)	
2×240/32	244,0	21,6	605	2	45	0,0600	0,331	3,38	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-	
2×300/39	288,3	22,1	710	2	50	0,0480	0,328	3,41		-	-	-	-	-	-	-	-	-
2×400/51	394,0	27,5	825	2	55	0,0375	0,323	3,46		-	-	-	-	-	-	-	-	-
3×300/66	288,5	24,5	680	3	60	-	-	-	-	0,034	0,310	3,97	10,6	-	-	-	-	
3×400/51	394,0	27,5	825	3	60	-	-	-	-	0,025	0,306	3,62		-	-	-	-	-
3×500/64	490,0	30,6	945	3	50	-	-	-	-	0,020	0,304	3,64		-	-	-	-	-
4×400/93	406,0	29,1	850	4	60	-	-	-	-	-	-	-	-	0,019	0,289	4,13	16,5	
4×500/64	490,0	30,6	945	4	60	-	-	-	-	-	-	-	-	0,015	0,303	3,90		
5×240/56	241,0	22,4	610	5	60	-	-	-	-	-	-	-	-	0,024	0,308	3,76		
5×300/66	288,5	24,5	680	5	65	-	-	-	-	-	-	-	-	0,021	0,288	4,11		
5×400/51	394,0	27,5	825	5	60	-	-	-	-	-	-	-	-	0,015	0,286	4,13		



## Данные алюминиевых проводов

Площадь сечения проводов марки А, мм <sup>2</sup>	Фактическая площадь сечения алюминия, мм <sup>2</sup>	Диаметр провода, мм	r <sub>0</sub> , Ом/км	x <sub>0</sub> , Ом/км при напряжении, кВ			Длительно допустимый ток, А
				0,38	6	10	
25	24,7	6,4	1,15	0,319	0,389	0,402	135
35	34,5	7,5	0,835	0,308	0,380	0,391	170
50	49,5	9,0	0,578	0,297	0,369	0,380	215
70	69,3	10,7	0,413	0,283	0,355	0,366	265
95	92,4	12,3	0,311	0,274	0,346	0,347	325
120	117,0	14,0	0,246	–	0,338	0,339	375

Параметры кабелей напряжением 10 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена

Площадь сечения жилы, мм <sup>2</sup>	г <sub>0</sub> , Ом/км, жилы		х <sub>0</sub> , Ом/км, при расположении кабелей		I <sub>доп</sub> , А, при расположении кабелей в земле			
	медной	алюминиевой	треугольником	горизонтально	треугольником		горизонтально	
					Медная жила	Алюминиевая жила	Медная жила	Алюминиевая жила
50	0,387	0,641	0,126	0,184	220	170	230	175
70	0,268	0,443	0,119	0,177	270	210	280	215
95	0,193	0,320	0,112	0,170	320	250	335	260
120	0,153	0,253	0,108	0,166	360	280	380	395
150	0,124	0,206	0,106	0,164	410	320	430	330
185	0,099	0,164	0,103	0,161	460	360	485	375
240	0,075	0,125	0,099	0,157	530	415	560	440
300	0,060	0,100	0,096	0,154	600	475	640	495
400	0,047	0,078	0,093	0,151	680	540	730	570
500	0,037	0,061	0,090	0,148	750	610	830	650
630	0,028	0,046	0,087	0,145	830	680	940	750
800	0,022	0,037	0,083	0,142	920	735	1030	820

## Данные кабелей с пропитанной бумажной изоляцией

Площадь сечения жилы, мм <sup>2</sup>	r <sub>0</sub> , Ом/км, для жил		x <sub>0</sub> , Ом/км, при напряжении, кВ			
	медных	алюминиевых	0,38	6	10	35
10	1,84	3,10	0,073	0,110	–	–
16	1,15	1,94	0,068	0,102	0,113	–
25	0,74	1,24	0,066	0,091	0,099	–
35	0,52	0,89	0,064	0,087	0,095	–
50	0,37	0,62	0,063	0,083	0,090	–
70	0,26	0,443	0,061	0,080	0,086	0,137
95	0,194	0,326	0,060	0,078	0,083	0,126
120	0,153	0,258	0,060	0,076	0,081	0,120
150	0,122	0,206	0,060	0,074	0,079	0,116
185	0,099	0,167	0,060	0,073	0,077	0,113
240	0,077	0,129	0,059	0,071	0,075	0,111
300	0,061	0,103	–	–	–	0,097

Длительно допустимая токовая нагрузка кабелей напряжением 10 кВ  
с пропитанной бумажной изоляцией

Площадь сечения жилы, мм <sup>2</sup>	Допустимый ток, А, кабелей			
	с медными жилами		с алюминиевыми жилами	
	Способ прокладки			
	в земле	в воздухе	в земле	в воздухе
16	92	89	74	67
25	119	115	91	87
35	144	142	110	106
50	176	175	134	132
70	212	219	162	161
95	251	265	192	194
120	284	305	218	234
150	318	349	246	264
185	352	393	275	298
240	396	455	314	347

Длительно допустимая токовая нагрузка кабелей напряжением до 1 кВ  
с пропитанной бумажной изоляцией

Площадь сечения жилы, мм <sup>2</sup>	Допустимый ток, А, кабелей			
	с медными жилами		с алюминиевыми жилами	
	Способ прокладки			
	в земле	в воздухе	в земле	в воздухе
6	58	53	45	40
10	78	73	60	55
16	102	97	79	72
25	134	127	102	95
35	163	157	126	118
50	200	195	153	146
70	241	247	184	180
95	287	301	219	218
120	325	348	248	261
150	404	451	314	300
185	404	451	314	342
240	455	522	359	402

Данные двухобмоточных трансформаторов напряжением 35–220 кВ

Тип трансформатора	Номинальная мощность, МВ·А	U <sub>НОМ</sub> обмоток, кВ		Каталожные данные				Расчетные данные		
		ВН	НН	U <sub>к</sub> , %	ΔP <sub>к</sub> , кВт	ΔP <sub>х</sub> , кВт	I <sub>х</sub> , %	R <sub>т</sub> , Ом	X <sub>т</sub> , Ом	ΔQ <sub>х</sub> , квар
ТМ-100/35	0,1	35	0,4	6,5	1,9	0,5	2,6	241	796	2,6
ТМ-160/35	0,16	35	0,4; 0,69	6,5	2,6; 3,1	0,7	2,4	127; 148	498	3,8
ТМ-250/35	0,25	35	0,4; 0,69	6,5	3,7; 4,2	1,0	2,3	72; 82	318	5,7
ТМН-400/35	0,4	35	0,4; 0,69	6,5	7,6; 8,5	1,9	2,0	23,5; 26,2	126	12,6
ТМН-630/35	0,63	35	0,4; 0,69; 6,3; 11	6,5	11,6; 12,2	2,7	1,5	14,9; 14,2	79,6	15,0
ТМН-1000/35	1,0	35	0,4; 0,69; 6,3; 11	6,5	16,5; 18	3,6	1,4	7,9; 8,6	49,8	22,4
ТМН-1600/35	1,6	35	6,3; 11	6,5	23,5; 26	5,1	1,1	11,2; 12,4	49,2	17,6
ТМН-2500/35	2,5	35	6,3; 11	6,5	23,5; 26	5,1	1,1	4,6; 5,1	31,9	27,5
ТМН-4000/35	4,0	35	6,3; 11	7,5	33,5	6,7	1,0	2,6	23	40,0
ТМН-6300/35	6,3	35	6,3; 11	7,5	46,5	9,2	0,9	1,4	14,6	56,7
ТД-10000/35	10	38,5	6,3; 10,5	7,5	65,0	14,5	0,8	0,96	11,1	80
ТМН-10000/35	10	36,75	6,3; 10,5	7,5	65	14,5	0,8	0,88	10,1	80
ТМН-2500/110	2,5	110	6,6; 11	10,5	22	5,5	1,5	42,6	508,2	37,5
ТМН-6300/110	6,3	115	6,6; 11	10,5	44	11,5	0,8	14,7	220,4	50,4
ТДН-10000/110	10	115	6,6; 11	10,5	60	14	0,7	7,95	139	70

Тип трансформатора	Номинальная мощность, МВ·А	U <sub>НОМ</sub> обмоток, кВ		Каталожные данные				Расчетные данные		
		ВН	НН	U <sub>к</sub> , %	ΔP <sub>к</sub> , кВт	ΔP <sub>х</sub> , кВт	I <sub>х</sub> , %	R <sub>т</sub> , Ом	X <sub>т</sub> , Ом	ΔQ <sub>х</sub> , квар
ТДН-16000/110	16	115	6,6; 11	10,5	85	19	0,7	4,38	86,7	112
ТРДН-25000/110	25	115	6,3/6,3; 6,3/10,5	10,5	120	27	0,7	2,54	55,9	175
ТДНЖ-25000/110	25	115	27,5	10,5	120	30	0,7	2,5	55,5	175
ТД-40000/110	40	121	6,3; 10,5	10,5	160	50	0,65	1,46	38,4	260
ТРДН-40000/110	40	115	6,3/6,3; 10,5/10,5	10,5	172	36	0,65	1,4	34,7	260
ТРДЦН-63000/110	63	115	6,3/6,3; 10,5/10,5	10,5	260	59	0,6	0,87	22	410
ТДЦ-80000/110	80	121	6,3; 10,5; 13,8	10,5	310	70	0,6	0,71	19,2	480
ТРДЦН-80000/110	80	115	6,3/6,3; 10,5/10,5	10,5	310	70	0,6	0,6	17,4	480
ТДЦ-125000/110	125	121	10,5; 13,8	10,5	400	120	0,55	0,37	12,3	687,5
ТРДЦН-125000/110	125	115	10,5/10,5	10,5	400	100	0,55	0,4	11,1	687,5
ТДЦ-200000/110	200	121	13,8; 15,75; 18	10,5	550	170	0,5	0,2	7,7	1000
ТДЦ-250000/110	250	121	15,75	10,5	640	200	0,5	0,15	6,1	1250
ТДЦ-400000/110	400	121	20	10,5	900	320	0,45	0,08	3,8	1800
ТРДН-40000/220	40	230	11/11; 6,6/6,6	12	170	50	0,9	5,6	158,7	360
ТРДЦН-63000/220	63	230	6,6/6,6; 11/11	12	300	82	0,8	3,9	100,7	504
ТДЦ-80000/220	80	242	6,3; 10,5; 13,8	11	320	105	0,6	2,9	80,5	480

Окончание прил.8

Тип трансформатора	Номинальная мощность, МВ·А	U <sub>НОМ</sub> обмоток, кВ		Каталожные данные				Расчетные данные		
		ВН	НН	U <sub>к</sub> , %	ΔP <sub>к</sub> , кВт	ΔP <sub>х</sub> , кВт	I <sub>х</sub> , %	R <sub>т</sub> , Ом	X <sub>т</sub> , Ом	ΔQ <sub>х</sub> , квар
ТРДЦН-100000/220	100	230	11/11	12	360	115	0,7	1,9	63,5	700
ТДЦ-125000/220	125	242	10,5; 13,8	11	380	135	0,5	1,4	51,5	625
ТРДЦН-160000/220	160	230	11/11; 38,5	12	525	167	0,6	1,08	39,7	960
ТДЦ-200000/220	200	242	13,8; 15,75; 18	11	580	200	0,45	0,77	32,2	900
ТДЦ-250000/220	250	242	13,8; 15,75	11	650	240	0,45	0,6	25,7	1125
ТДЦ-400000/220	400	242	13,8; 15,75; 20	11	880	330	0,4	0,29	16,1	1600
ТЦ-630000/220	630	242	15,75; 20	12,5	1300	380	0,35	0,2	11,6	2205
ТЦ-1000000/220	1000	242	24	12,5	2200	480	0,35	0,2	6,7	3500



Данные трехобмоточных трансформаторов (автотрансформаторов)  
напряжением 110–500 кВ

Тип трансформатора (автотрансформатора)	$S_{ном},$ МВ·А	Каталожные данные									Расчетные данные						
		U <sub>НОМ</sub> обмоток, кВ			U <sub>к</sub> , %			$\Delta P_K,$ кВт	$\Delta P_X,$ кВт	I <sub>х</sub> , %	R <sub>т</sub> , Ом			X <sub>т</sub> , Ом			$\Delta Q_X,$ квар
		ВН	СН	НН	В-С	В-Н	С-Н				ВН	СН	НН	ВН	СН	НН	
ТМТН-6300/110	6,3	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6	58	14	1,2	9,7	9,7	9,7	225,7	0	131,2	75,6
ТДТН-10000/110	10	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6	76	17	1,1	5	5	5	142,2	0	82,7	110
ТДТН-16000/110	16	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6	100	23	1,0	2,6	2,6	2,6	88,9	0	52	160
ТДТН-25000/110	25	115	11; 38,5	6,6; 11	10,5	17,5	6,5	140	31	0,7	1,5	1,5	1,5	56,9	0	35,7	175
ТДТНЖ-25000/110	25	115	38,5; 27,5	6,6; 11	10,5	17	6	140	42	0,9	1,5	1,5	1,5	57,0	0	33	225
ТДТН-40000/110	40	115	38,5; 34,5	6,6; 11	10,5	17	6	200	43	0,6	0,8	0,8	0,8	35,5	0	22,3	240
ТДТНЖ-40000/110	40	115	38,5; 27,5	6,6; 11	10,5	17	6	200	63	0,8	0,9	0,9	0,9	35,5	0	20,7	320
ТДТН-63000/110	63	115	38,5	6,6; 11	10,5	17	6,5	290	56	0,7	0,5	0,5	0,5	22,0	0	13,6	441
ТДТН-80000/110	80	115	38,5	6,6; 11	11	18,5	7	390	82	0,6	0,4	0,4	0,4	18,6	0	11,9	480
ТДТН-25000/220	25	230	38,5	6,6; 11	12,5	20	6,5	135	50	1,2	5,7	5,7	5,7	275	0	148	300
ТДТНЖ-25000/220	25	230	27,5; 38,5	6,6; 11	12,5	20	6,5	135	50	1,2	5,7	5,7	5,7	275	0	148	300
ТДТН-40000/220	40	230	38,5	6,6; 11	12,5	22	9,5	220	55	1,1	3,6	3,6	3,6	165	0	125	440
ТДТНЖ-40000/220	40	230	27,5; 38,5	6,6; 11	12,5	22	9,5	240	66	1,1	3,9	3,9	3,9	165	0	125	440

Тип трансформатора (автотрансформатора)	$S_{ном},$ МВ·А	Каталожные данные									Расчетные данные						
		$U_{ном}$ обмоток, кВ			$U_K$ , %			$\Delta P_K,$ кВт	$\Delta P_X,$ кВт	$I_x$ , %	$R_T$ , Ом			$X_T$ , Ом			$\Delta Q_X,$ квар
		ВН	СН	НН	В-С	В-Н	С-Н				ВН	СН	НН	ВН	СН	НН	
АТДЦТН-63000/220/110	63	230	121	6,6;11;38,5	11	35,7	21,9	215	45	0,5	1,4	1,4	2,8	104	0	195,6	315
АТДЦТН-125000/220/110	125	230	121	6,6;11;38,5	11	45	28	305	65	0,5	0,55	0,48	3,2	59,2	0	131	625
АТДЦТН-200000/220/110	200	230	121	6,6;11;38,5	11	32	20	430	125	0,5	0,3	0,3	0,6	30,4	0	54,2	1000
АТДЦТН-250000/220/110	250	230	121	10,5; 38,5	11,5	33,4	20,8	520	145	0,5	0,2	0,2	0,4	25,5	0	45,1	1250
АТДЦТН-125000/330/110	125	330	115	10,5; 38,5	10	35	24	370	115	0,5	1,3	1,3	2,6	91,5	0	213,4	625
АТДЦТН-200000/330/110	200	330	115	10,5; 38,5	10	34	22,5	600	180	0,5	0,8	0,8	2,0	58,5	0	126,6	1000
АТДЦТН-250000/330/150	250	330	158	10,5; 38,5	10,5	54	42	660	165	0,5	1,07	0,08	4,3	49	0	186,2	1250
АТДЦТН-240000/330/220	240	330	242	11; 38,5	7,3/ 9,6	70/ 74	60	430/ 560	130	0,5	0,4/ 0,53	0,4/ 0,53	7,3	39,2/ 59,2	0	278,4/ 312,1	1200
АТДЦТН50000/500/110/10,5	250	500	121	10,5; 11; 38,5	13	33	18,5	640	230	0,45	2,28	0,28	5,2	137,5	0	192,5	1125

## Данные двухобмоточных трансформаторов напряжением 6, 10 кВ

Тип трансформатора	$S_{ном}$ , кВ·А	Каталожные данные					Расчетные данные		
		$U_{нн}$ , кВ	$U_k$ , %	$\Delta P_K$ , кВт	$\Delta P_X$ , кВт	$I_x$ , %	$R_T$ , Ом	$X_T$ , Ом	$\Delta Q_X$ , квар
ТМ-10/6	10	6,3	5,5	0,335	0,105	10,0	133	173,1	1,0
ТМ-25/6	25	6,3	4,5	0,6	0,13	3,2	39,6	54,8	0,8
ТМ-40/6	40	6,3	4,5	0,88	0,19	3,0	19,8	35,3	1,2
ТМ-63/6	63	6,3	4,7	1,4	0,36	4,5	14,0	26,1	2,83
ТМ-100/6	100	6,3	4,5	1,97	0,36	2,6	7,09	14,6	2,6
ТМ-160/6	160	6,3	4,5	2,65	0,46	2,4	4,11	10,4	3,84
ТМ-250/6	250	6,3	4,5	3,7	0,82	2,3	2,35	6,75	5,75
ТМ-320/6	320	6,3	5,5	6,07	1,6	6	2,35	6,40	19,2
ТМ-400/6	400	6,3	4,5	5,5	1,05	2,1	1,24	3,86	8,4
ТМ-630/6	630	6,3	5,5	7,6	1,56	2,0	0,69	3,07	12,6
ТМ-1000/6	1000	6,3	5,5	12,2	2,45	1,4	0,44	1,93	14,0
ТМ-2500/6	2500	6,3	5,5	26,0	4,6	1,0	0,15	0,78	25,0
ТМ-10/10	10	10,5	5,5	0,335	0,14	10,0	369	480,9	1,0
ТМ-25/10	25	10,5	4,5	0,6	0,13	3,2	96	152,3	0,8
ТМ-40/10	40	10,5	4,5	1,00	0,19	3,0	55	98,1	1,2

Тип трансформатора	$S_{\text{ном}}$ , кВ·А	Каталожные данные					Расчетные данные		
		$U_{\text{нн}}$ , кВ	$U_{\text{к}}$ , %	$\Delta P_{\text{к}}$ , кВт	$\Delta P_{\text{х}}$ , кВт	$I_{\text{х}}$ , %	$R_{\text{т}}$ , Ом	$X_{\text{т}}$ , Ом	$\Delta Q_{\text{х}}$ , квар
ТМ-63/10	63	10,5	4,5	1,28	0,26	2,8	37,0	70,5	1,76
ТМ-100/10	100	10,5	4,5	1,97	0,36	2,6	19,7	40,7	2,6
ТМ-250/10	250	10,5	4,5	3,7	0,82	2,3	5,92	17,0	5,75
ТМ-320/10	320	10,5	5,5	6,2	0,91	0,7	6,05	16,1	2,24
ТМ-400/10	400	10,5	4,5	5,5	1,05	2,1	3,44	10,7	8,4
ТМ-630/10	630	10,5	5,5	7,6	1,56	2,0	1,91	8,73	12,6
ТМ-1000/10	1000	10,5	5,5	12,2	2,45	1,4	1,22	5,36	14,0
ТМ-2500/10	2500	10,5	5,5	26,0	4,6	1,0	0,42	2,16	25,0
ТМ-4000/10	4000	10,5	6,5	33,5	6,4	0,9	0,23	1,78	36,0
ТМ-6300/10	6300	10,5	6,6	46,5	9,0	0,8	0,12	1,04	50,4

Учебное издание

ФЕДИН Виктор Тимофеевич  
ФАДЕЕВА Галина Анатольевна  
ВОЛКОВ Александр Анатольевич

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ  
И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ.  
ЗАДАЧИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ

Учебно-методическое пособие  
для практических занятий

Редактор Е.О. Коржуева  
Компьютерная верстка А.Г. Занкевич

---

Подписано в печать 16.11.2011.

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 9,77. Уч.-изд. л. 7,64. Тираж 300. Заказ 95.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.