Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Электроснабжение»

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

ПРАКТИКУМ
для студентов специальности 7-07-0712-01 «Электроэнергетика и электротехника» дневной формы обучения

Гомель 2026

Библиотека ГГТУ им.П.О.Сухого

УДК 621.311.1(075.8)
ББК 31.279я73
Э45

Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(*протокол № 4 от 30.12.2025 г.*)

Составители: *П. В. Лычев*, *М. С. Губатенко*

Рецензент: зав. каф. «Автоматизированный электропривод» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *В. В. Брель*

Э45 **Электрические** сети : практикум для студентов специальности 7-07-0712-01 «Электроэнергетика и электротехника» днев. формы обучения / сост.: П. В. Лычев, М. С. Губатенко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2026. – 47 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 2 Gb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; ALT Lunux 10.1 ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: https://elib.gstu.by. – Загл. с титул. экрана.

Изложены темы практических занятий, программы занятий и задания к ним. Рассмотрен пример экзаменационной задачи.

Для студентов специальности 7-07-0712-01 «Электроэнергетика и электротехника» дневной формы обучения.

УДК 621.311.1(075.8)
ББК 31.279я73

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2026

Библиотека ГГТУ им.П.О.Сухого

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Одним из итогов изучения дисциплины «Электрические сети» является умение студентов решать конкретные задачи в области расчета и анализа установившихся режимов электрических сетей и потерь электроэнергии в них, основ проектирования электрических сетей.

В данном издании по всем изучаемым в дисциплине темам приведены программы проведения практических занятий, где рассматриваются конкретные задачи, а также материал для самостоятельной (контролируемой) работы студентов. Задачи с решениями по всем темам студенты имеют возможность проработать по учебному пособию [3].

1. СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ И ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

В результате изучения темы студент

должен знать: схемы замещения линий и трансформаторов, физическую сущность всех их параметров и основные факторы, оказывающие влияние на эти параметры, характерные графики узлов нагрузок и их характеристики;

должен уметь: составить схему замещения любой линии и трансформатора, по известным формулам расчетным путем или справочным данным определить параметры схем замещения, построить и рассчитать характеристики графиков узлов нагрузки.

До практического занятия студент должен проработать по конспекту лекций и учебной литературе [1–3] материал, относящийся к данной теме и подготовить необходимые справочные материалы из [6, 7].

1.1. Воздушные и кабельные линии

Полные схемы замещения линий представлены на рис. 1.1.

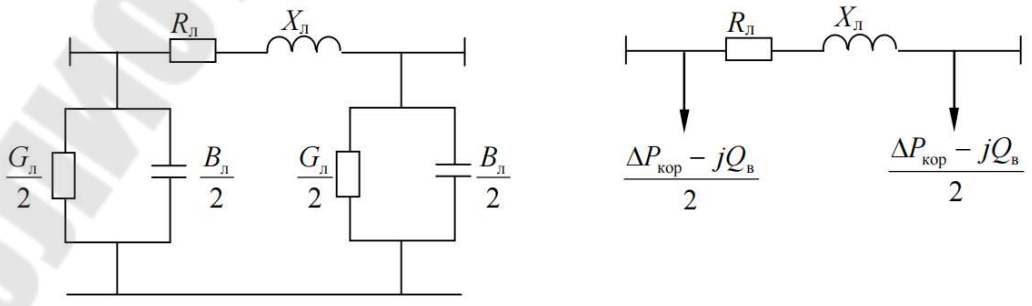


Рис. 1.1. Полные схемы замещения линий

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Расчетные формулы для определения параметров схем замещения

Активное сопротивление:

$$R_{\text{л}} = R_0 \cdot L, \text{ Ом}.$$

Удельное сопротивление:

$$R_0 = \frac{\rho}{F}, \text{ Ом/км}.$$

Целесообразно его находить в справочнике $R_0 = f$ (марка провода (кабеля) и сечение проводника).

Реактивное сопротивление:

$$X_{\text{л}} = X_0 \cdot L, \text{ Ом}.$$

Удельное сопротивление для ВЛ:

$$X_0 = 0{,}145 \cdot \lg \frac{D_{\text{ср}}}{r} + 0{,}016, \text{ Ом/км}.$$

Среднегеометрическое расстояние между фазами $D_{\text{ср}}$ рекомендуется принимать следующим: 6–10 кВ – 1,5 м, 35 кВ – 3,5 м, 110 кВ – 5 м, 220 кВ – 8 м, 330 кВ – 11 м, 500 кВ – 14 м, 750 кВ – 19 м.

Целесообразно X_0 для ВЛ найти в справочнике:

$$X_0 = f(U_{\text{ном}} \text{ и марка провода}).$$

Для кабельных линий X_0 дается в паспортных данных завода-изготовителя.

Активная проводимость:

$$G_{\text{л}} = G_0 \cdot L, \text{ См}.$$

Для ВЛ она учитывает потери активной мощности на корону $\Delta P_{\text{кор}}$ и чаще заменяется ими:

$$\Delta P_{\text{кор}} = \Delta P_{\text{уд}} \cdot L, \text{ кВт}.$$

Удельные среднегодовые потери на корону $\Delta P_{\text{уд}}$ определяются по табл. 3.10 [6].

Реактивная проводимость:

$$B_{\text{л}} = B_0 \cdot L, \text{ См}.$$

Библиотека ГГТУ им.П.О.Сухого

Для ВЛ удельная реактивная проводимость:

$$B_0 = \frac{7{,}58}{\lg\frac{D_{\text{ср}}}{r}} \cdot 10^{-6},\ \text{См/км}.$$

Целесообразно ее находить в справочнике:

$$B_0 = f(U_{\text{ном}} \text{ и марка провода}).$$

Для кабельных линий B_0 указывается в данных завода-изготовителя.

Зарядная мощность:

$$Q_{\text{в}} = U^2 \cdot B_{\text{л}},\ \text{Мвар}.$$

Для воздушных линий напряжением 330 кВ и выше, выполняемых с расщепленной фазой, параметры схемы замещения фазы зависят от количества проводов N в расщепленной фазе и расстояния между проводами расщепленной фазы $a_{\text{ср}}$ = (40–60) см:

$$R_{\text{оф}} = \frac{R_0}{N},\ \text{Ом/км}.$$

$$X_{\text{оф}} = 0{,}145 \cdot \lg\frac{D_{\text{ср}}}{r_{\text{э}}} + \frac{0{,}016}{N},\ \text{Ом/км}.$$

$$B_{\text{оф}} = \frac{7{,}58}{\lg\frac{D_{\text{ср}}}{r_{\text{э}}}} \cdot 10^{-6},\ \text{См/км},$$

где эквивалентный радиус провода $r_{\text{э}} = \sqrt[N]{r \cdot a_{\text{ср}}^{N-1}}$.

Для воздушных линий напряжением 380 В с изолированными проводами в расчетах фактически учитываются только активное и реактивное сопротивления, которые определяются по данным изготовителя изолированных проводов.

Отметим, что в зависимости от конструктивного исполнения и номинального напряжения линий схема замещения может быть упрощена по сравнению с рис. 1.1.

Программа практического занятия

Задание 1. Для заданного варианта воздушной линии номинального напряжения 330–750 кВ необходимо:

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

1) составить схему замещения;

2) по расчетным формулам и справочнику определить удельные параметры линии электропередачи $R_{0ф}$, $X_{0ф}$, $B_{0ф}$ и занести их значения в табл. 1.1. Сравнить справочные значения с расчетными, учитывая, что более точными являются справочные данные.

Таблица 1.1

Удельные параметры линии электропередачи

Вид определения параметра	Удельные параметры ЛЭП		
	$R_{0ф}$, Ом/км	$X_{0ф}$, Ом/км	$B_{0ф}$, См/км
Расчетное значение			
Справочное значение			

4) найти параметры схемы замещения: $R_л$, $X_л$, $B_л$, $Q_в$, ΔPк;

5) сравнить $R_л$ и $X_л$;

6) сравнить $Q_в$ с пределом передаваемой мощности $P_{пр}$, которую рассчитать по формуле:

$$P_{пр} = \frac{U^2_{ном}}{X_л}, \text{ МВт.}$$

Задание 2. Для заданного варианта воздушной линии номинального напряжения 110–220 кВ повторить программу задания 1, обратив внимание на целесообразность не учитывать потери активной мощности на корону $\Delta P_{кор}$.

Задание 3. Для заданного варианта воздушной линии номинального напряжения 10–35 кВ повторить программу задания 2, обратив внимание на целесообразность не учитывать зарядную мощность, $Q_в$.

Варианты заданий даны в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Примеры вариантов заданий к § 1.1

Номер варианта	$U_{ном}$, кВ	Характеристика линии		Наибольшая передаваемая мощность, МВт	cos φ
		сечение провода марки АС	длина, км		
1	10	95/16	6	1,5	0,8
2	10	120/19	7	2,1	0,81
3	35	70/11	18	6	0,88

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Окончание табл. 1.2

Номер варианта	$U_{ном}$, кВ	Характеристика линии		Наибольшая передаваемая мощность, МВт	cos φ
4	35	150/19	25	9	0,85
5	110	120/19	35	24,3	0,83
6	110	185/29	55	36	0,9
7	220	240/32	80	63	0,89
8	220	300/39	90	89	0,89
9	330	2 × 300/39	200	130	0,83
10	500	3 × 500/64	350	900	0,9

Программа самостоятельной (контролируемой) работы студентов

Проработать задачи с решениями из § 1.12 [3] и 2.1, 2.2, 2.5, 2.6 [2] и для самостоятельной работы из § 1.1.3 [3] и табл. 1.1 настоящего практикума для воздушных и кабельных линий разных номинальных напряжений.

1.2. Трансформаторы и автотрансформаторы

Обозначения на электрических схемах и схемы замещения двухобмоточных трансформаторов даны на рис. 1.2.

Паспортные характеристики двухобмоточного трансформатора: $S_{ном}$; $U_{в.ном}$; $U_{н.ном}$; $\Delta P_к$; $\Delta P_х$; $U_к$; $I_х$.

Активное и реактивное сопротивления двухобмоточного трансформатора:

$$R_T = \frac{\Delta P_к \cdot U_{ном}^2}{S_{ном}^2},\ \text{Ом}.$$

$$X_T = \frac{U_к \cdot U_{ном}^2}{100 \cdot S_{ном}},\ \text{Ом}.$$

Активная и реактивная проводимости:

$$G_T = \frac{\Delta P_x}{U_{ном}^2},\ \text{См}.$$

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

$$B_T = \frac{\Delta Q_x}{U_{\text{ном}}^2}, \text{ См},$$

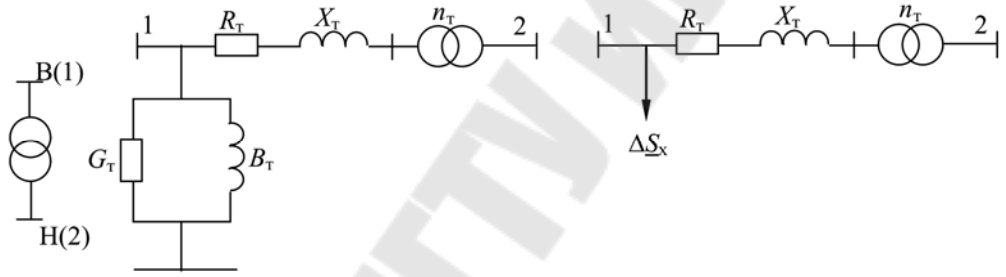
где $\Delta Q_x = \frac{I_x \cdot S_{\text{ном}}}{100}$.

Все эти параметры обычно приводятся к номинальному напряжению обмотки высшего напряжения ($U_{\text{ном}} = U_{\text{в.ном}}$).

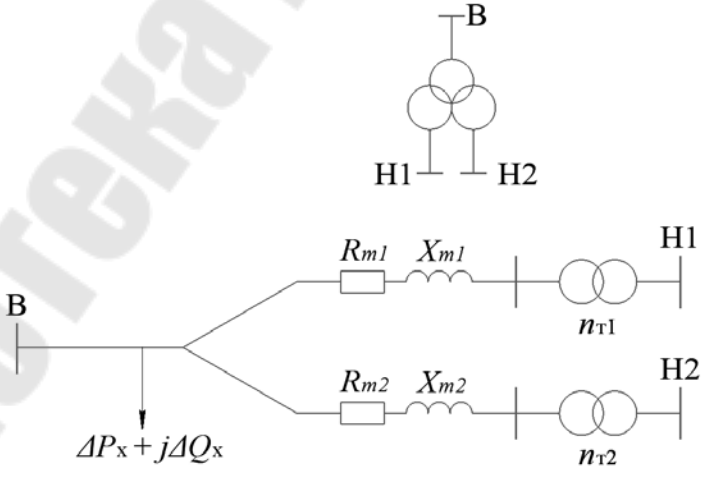
Схемы замещения и расчетные формулы для определения сопротивлений других типов трансформаторов можно найти в учебной литературе [1–3] и конспекте лекций.

Сопротивления всех типов трансформаторов, как расчетные данные, приводятся также в справочной литературе [5, 7], чем следует воспользоваться.

На рис. 1.2 показаны обозначения трансформаторов и их схемы замещения.

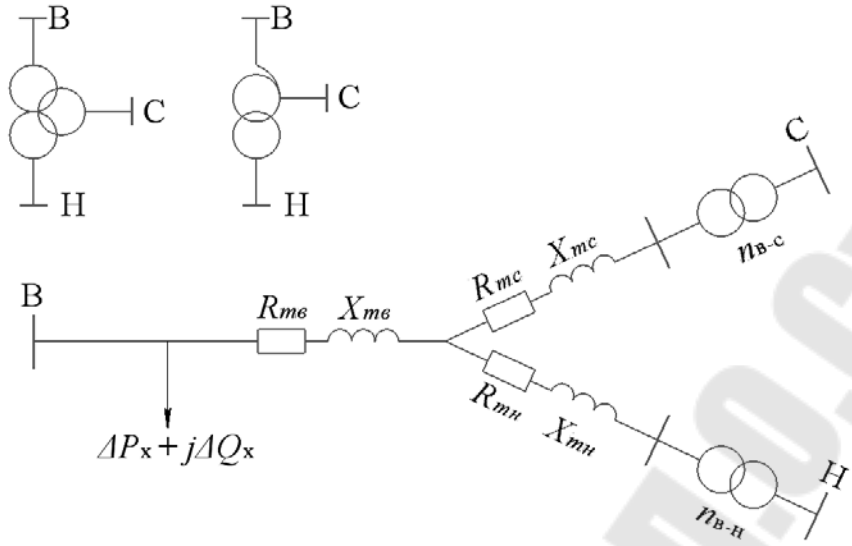


а)



б)

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого



в)

Рис. 1.2. Обозначения трансформаторов и их схемы замещения:
а – двухобмоточный; *б* – с расщепленной обмоткой;
в – трехобмоточный и автотрансформатор

Программа практического занятия

Задание 1. Для двухобмоточного трансформатора с напряжением обмотки высшего напряжения 6 или 10 кВ необходимо:

1) составить схему замещения;

2) выписать из справочника его паспортные данные;

3) по расчетным формулам определить $R_т$, $X_т$, $\Delta Q_х$, $G_т$ и $B_т$.

При этом значение $X_т$ найти двумя способами:

а) по паспортному значению $U_к$;

б) по реактивной $U_{кр}$ составляющей $U_к$;

4) сравнить найденные параметры $R_т$, $X_т$, $\Delta Q_х$ с данными, взятыми из справочника и занести их в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Расчетные параметры трансформатора

Вид определения параметра	**Параметры трансформатора**		
	$R_т$, Ом	**$X_т$, Ом**	**$\Delta Q_х$, квар**
Расчетное значение			
Справочное значение			

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

5) сравнить параметры $R_т$ и $X_т$, обратив внимание, что они одного порядка.

Задание 2. Для двухобмоточного трансформатора 35–220 кВ повторить программу задания 1. Обратить внимание, что результаты расчета $X_т$ по $U_к$ и $U_{кр}$ практически одинаковы, а также, что $X_т > R_т$.

Задание 3. Для трехобмоточного трансформатора или автотрансформатора рассчитать активные $R_т$ и рактивные $X_т$ сопротивления всех обмоток трансформатора по расчетным формулам и сравнить их со справочными данными.

Программа самостоятельной (контролируемой) работы студентов

Проработать задачи с решениями из § 1.2.2 [3] и 3.1, 3.2, 3.3, 3.5, 3.7 [2] и для самостоятельной работы из § 1.2.3 [3] для всех типов трансформаторов.

Таблица 1.4

Примеры вариантов заданий к § 1.2

Номер варианта	Марка трансформатора	Номер варианта	Марка трансформатора	Номер-вариан-та	Марка трансформатора
1	ТМ-63/10	6	ТМН-4000/35	11	ТДТН-2500/110
2	ТМ-100/6	7	ТД-10000/35	12	ТДТН-63000/110
3	ТМ-160/10	8	ТДН-16000/110	13	ТДТН-40000/220
4	ТМ-250/10	9	ТРДН-40000/110	14	АТДЦТН-63000/220/110
5	ТМ-400/6	10	ТРДЦН-100000/220	15	АТДЦТН-125000/220/110

1.3. Характеристики узлов нагрузки и графиков нагрузки

Характеристикой каждого электроприемника и узла нагрузки в целом являются потребляемая им активная и реактивная мощность.

Зависимости, показывающие изменения P и Q нагрузки от частоты и подведенного напряжения, называют статическими характеристиками нагрузки соответственно по частоте и напряжению. Статические характеристики нагрузок по напряжению можно выразить аналитически в виде полиномов, ограничившись полиномами второй степени:

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

$$P(U) \approx P_{\text{ном}} \cdot \left(\alpha_0 + \alpha_1 \cdot U_* + \alpha_2 \cdot U_*^2\right);$$

$$Q(U) \approx Q_{\text{ном}} \cdot \left(\beta_0 + \beta_1 \cdot U_* + \beta_2 \cdot U_*^2\right),$$

где $U_* = \dfrac{U}{U_{\text{ном}}}$ – относительное значение напряжения.

В общем случае пользуются так называемыми типовыми обобщенными статическими характеристиками нагрузки для характерного состава электроприемников.

Изменение электропотребления во времени является одной из центральных естественных характеристик электрических нагрузок. Изменение нагрузок во времени более наглядно графически в виде графиков нагрузки, которые могут представлять собой плавные, ломаные или ступенчатые кривые.

Различают характерные суточные графики активных и реактивных нагрузок и годовые упорядоченные графики по продолжительности. При анализе процессов изменения нагрузок во времени используют ряд физических и относительных показателей, характеризующих режим работы нагрузок. К характерным физическим величинам относят наибольшую $P_{\text{нб}}$ и наименьшую $P_{\text{нм}}$ нагрузку. Отношение наименьшей нагрузки к наибольшей называется коэффициентом неравномерности $k_{\text{нр}} = P_{\text{нм}} / P_{\text{нб}}$, который характеризует неравномерность электропотребления. Характерным показателем электропотребления з а некоторый интервал времени T является средняя нагрузка:

$$P_{\text{ср}} = \frac{1}{T}\int_0^T P(t)dt = \frac{W_{\text{р}}}{T} = \frac{\sum P_i \cdot t_i}{T},$$

где $W_{\text{р}}$ – активная электроэнергия, потребляемая за время T.

Характерной является также среднеквадратичная нагрузка:

$$P_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T P^2(t)dt} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot t_i}{T}}.$$

Равномерность и плотность электропотребления в течение времени T характеризуют коэффициент заполнения графика $k_{\text{з}} = P_{\text{ср}} / P_{\text{нб}}$ и коэффициент формы графика $k_{\text{ф}} = P_{\text{ск}} / P_{\text{ср}}$.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Одним из характерных параметров годового графика по продолжительности является время использования наибольшей нагрузки:

Ошибка! Объект не может быть создан из кодов полей редактирования.

Программа практического занятия

Для заданного преподавателем варианта:

1) построить суточный график нагрузки;

2) определить следующие его показатели: $P_{нб}$, $P_{нм}$, $P_{ср}$, $P_{ск}$, $k_{нр}$, $k_{з}$, $k_{ф}$;

3) определить $T_{нб}$ для годового графика нагрузки по продолжительности, считая, что для него $P_{нб}$ и $k_{з}$ имеют такие же значения, что и для построенного суточного графика нагрузки ($W_{р} = P_{ср} \cdot T_{год} = P_{нб} \cdot T_{нб}$).

Варианты заданий даны в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Примеры вариантов заданий к § 1.3

Номер варианта	Мощность нагрузки Р, кВт в часы суток							
	0–3	3–6	6–9	9–12	12–15	15–18	18–21	21–24
1	3	5	10	12	9	13	16	8
2	100	120	180	260	280	300	240	120
3	600	650	1300	1400	1200	1500	900	700
4	3000	3300	5000	7000	6000	6200	4800	3200
5	12000	12500	13000	14000	13000	14500	14000	12500

Программа самостоятельной (контролируемой) работы студентов

Проработать задачи с решениями из § 1.3.2 [3] и 4.2, 4.3, 4.4 [2] и для самостоятельной работы из § 1.3.3 [3].

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

В результате изучения темы студент

должен знать: методы определения потерь электроэнергии, области их применения, влияние различных параметров на потери электроэнергии;

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

должен уметь: определить потери электроэнергии в отдельных элементах электрической сети, делать структурный анализ потерь электроэнергии.

До практического занятия студент должен проработать по конспекту лекций и учебной литературе [1–3] материал, относящийся к данной теме. При этом надо обратить внимание на следующее.

В линиях электропередачи и трансформаторах потери электроэнергии можно разделить на постоянные и переменные. К постоянным относят потери холостого хода трансформаторов $\Delta W_x = \Delta P_x \cdot T$ и потери в линиях, связанные с потерями в изоляции кабельных линий $\Delta W_{\text{из}} = \Delta P_{\text{из}} \cdot T$ и на корону в воздушных линиях $\Delta W_{\text{кор}} = \Delta P_{\text{кор}} \cdot T$.

Переменными являются потери в сопротивлениях этих элементов, которые зависят от параметров нагрузки (тока или мощности). Они могут быть определены различными методами.

Наиболее точным методом определения потерь электроэнергии является *метод графического интегрирования*, для реализации которого необходимы характерные суточные графики нагрузки или графики характерных режимов. Исходя из него:

$$\Delta W = \sum \Delta P_i \cdot t_i.$$

В *методе среднеквадратичных параметров режима* (тока или мощности) реальная нагрузка, изменяющаяся во времени в течение периода T, заменяется неизменной за этот период нагрузкой ($I_{\text{ск}}$ или $S_{\text{ск}}$):

$$\Delta W = 3 \cdot I_{\text{ск}}^2 \cdot R \cdot T = \frac{S_{\text{ск}}^2}{U^2} \cdot R \cdot T$$

При этом среднеквадратичные параметры, например, мощность, можно найти:

– по графикам нагрузки:

$$S_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{\sum S_i^2 \cdot t_i}{T}}; \qquad (2.1)$$

– по эмпирической формуле:

$$S_{\text{ск}} = S_{\text{нб}} \cdot \left(0{,}124 + T_{\text{нб}} \cdot 10^{-4}\right); \qquad (2.2)$$

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

– по средней мощности и коэффициенту формы графика нагрузки:

$$S_{\text{ск}} = S_{\text{ср}} \cdot k_{\text{ф}}. \qquad (2.3)$$

В *методе времени наибольших потерь* τ рассматривается режим наибольшей нагрузки:

$$\Delta W = 3 \cdot I_{\text{нб}}^2 \cdot R \cdot \tau = \frac{S_{\text{нб}}^2}{U^2} \cdot R \cdot \tau.$$

При этом время наибольших потерь может быть найдено:

– по графикам нагрузки:

$$\tau = \frac{\sum I_i^2 \cdot t_i}{I_{нб}^2} = \frac{\sum S_i^2 \cdot t_i}{S_{нб}^2}; \qquad (2.4)$$

– по эмпирической формуле:

$$\tau = (0{,}124 + T_{\text{нб}} \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760. \qquad (2.5)$$

При анализе следует оценить долю потерь электроэнергии по отношению к переданной электроэнергии $W_{\text{р}} = P_{\text{нб}} \cdot T_{\text{нб}}$, а также структуру потерь, т. е. долю постоянной и переменной составляющих в общих потерях.

Программа практического занятия

Задание 1. Для заданного варианта воздушной линии (табл. 1.2) и годового графика нагрузки по продолжительности (табл. 2.2) необходимо:

а) найти $R_{\text{л}}$ и $\Delta P_{\text{кор}}$;

б) рассчитать $\Delta W_{\text{кор}}$;

в) рассчитать потери электроэнергии $\Delta W_{\text{н}}$ в сопротивлении всеми рассмотренными выше методами. При этом найти $S_{\text{ск}}$ и τ, используя все рассмотренные подходы [формулы (2.1)–(2.5)]. Сравнить результаты расчета, принимая во внимание, что наиболее точным является метод графического интегрирования.

Результаты расчета $\Delta W_{\text{н}}$ представить в виде табл. 2.1;

г) сделать анализ структуры потерь электроэнергии.

Задание 2. Для заданного варианта двухобмоточного трансформатора необходимо:

а) найти $\Delta P_{\text{обм}}$ и $\Delta P_{\text{х}}$;

б) рассчитать $\Delta W_{\text{х}}$;

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

в) определить потери электроэнергии в обмотках трансформатора $\Delta W_{обм}$ одним из методов по указанию преподавателя;

г) сравнить $\Delta W_{х}$ и $\Delta W_{обм}$;

д) найти потери электроэнергии для случая работы двух трансформаторов при заданной нагрузке.

Таблица 2.1

Результаты расчетов $\Delta W_{н}$

Метод расчета		**$\Delta W_{н}$, МВт · ч**	**Погрешность расчета, %**
графического интегрирования			
среднеквадратической мощности	формула (2.1)		
	формула (2.2)		
	формула (2.3)		
времени наибольших потерь	формула (2.4)		
	формула (2.5)		

Таблица 2.2

Годовой график нагрузки по продолжительности

Номера ступеней графика нагрузки	1	2	3	4
Величина нагрузки в долях от $P_{нб}$	1,0	0,9	0,7	0,5
Длительность ступеней, ч	1260	2000	3000	2500

Программа самостоятельной (контролируемой) работы студентов

Проработать задачи с решениями из § 2.3.2 [3] и 9.1, 9.2 [2] и для самостоятельной работы из § 2.3.3 [3].

3. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И ТРАНСФОРМАТОРОВ

В результате изучения темы студент

должен знать: основные соотношения между мощностями и напряжениями начала и конца звена электрической сети для четырех характерных случаев, порядок расчета режимов для всех характерных случаев в соответствии со схемами замещения любых линий

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

электропередачи и трансформаторов, формулы определения потерь активной и реактивной мощности, падения напряжения и его составляющих;

должен уметь: рассчитать режим в соответствии со схемой замещения любой воздушной или кабельной линии и трансформатора для всех четырех характерных случаев задания исходной информации.

До практического занятия студент должен проработать по конспекту лекций и учебной литературе [1]–[3] материал, касающийся основных соотношений между мощностями и напряжениями начала и конца звена электрической сети, и повторить тему «Схемы замещения и параметры элементов электрической сети».

3.1. Расчет режимов линий электропередачи

Для расчета режима необходима исходная информация о линии (воздушная или кабельная, марка провода или кабеля, длина, номинальное напряжение) и о некоторых параметрах режима (мощность и напряжение в начале или конце ее). Фактически в зависимости от заданной исходной информации расчет режима сводится к определению неизвестных значений мощности и напряжения в начале или конце линии для одного из четырех возможных характерных случаев.

Для случаев, когда заданными являются мощность и напряжение в начале ($\underline{S}_1$ и U_1) или конце ($\underline{S}_2$ и U_2) линии, параметры электрического состояния соответственно в конце ($\underline{S}_2$ и U_2) или начале ($\underline{S}_1$ и U_1) линии определяются в результате прямого расчета. Для случаев, когда заданными являются $\underline{S}_2$ и U_1 или $\underline{S}_1$ и U_2, расчет неизвестных параметров режима выполняется итерационным путем в два этапа. На первом этапе рассчитываются мощности, а на втором – напряжения.

При расчете режима конкретной линии следует обязательно учитывать, что в зависимости от конструктивного исполнения и номинального напряжения полная схема замещения линии (см. рис. 1.1) может быть упрощена.

Программа практического занятия

Задание 1. Для заданного варианта воздушной линии электропередачи напряжением 330–750 кВ и исходных данных о параметрах режима (например, $\underline{S}_2$ и U_1) необходимо:

1) составить схему замещения и определить ее параметры;

2) в зависимости от заданной исходной информации о парамет-

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

рах режима определиться с характерным случаем и в соответствии с принятой для него методикой рассчитать неизвестные параметры режима. Сделать анализ параметров режима, т. е. сравнить активные и реактивные мощности и напряжения в начале и конце линии;

3) приняв $\underline{S}_2 = 0$, т. е. для режима работы линии без нагрузки, и заданном или найденном в п.1 напряжении U_1 рассчитать напряжение в конце линии U_2. Оценить величину $U_2/U_{ном}$, принимая во внимание, что допустимое значение этого отношения 1,1 или 1,05.

Задание 2. Для заданного варианта воздушной линии электропередачи напряжением 110-220 кВ и исходных данных о параметрах режима повторить пункты 1 и 2, и задание 1. Обратить внимание на степень влияния поперечной составляющей падения напряжения на расчетное напряжение. Результаты расчета по всем заданиям нанести на нужную схему замещения (рисунок 3.1).

Задание 3. Для варианта воздушной или кабельной линии электропередачи напряжением 10 кВ повторить программу задания 2. При расчете напряжения не учитывать $\Delta U''$.

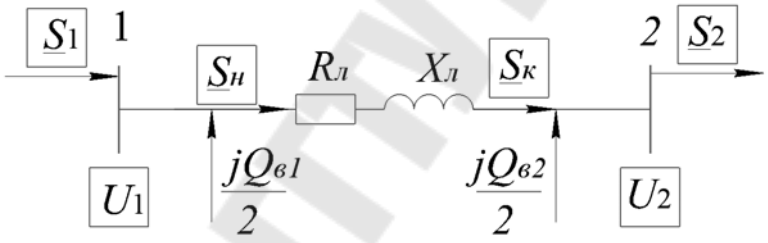


Рис. 3.1. Пример расчета режима ВЛ-110 кВ

Варианты заданий взять из табл. 1.2, приняв P_1 или P_2 равным $P_{нб}$ и $U_1 = 1{,}05 \cdot U_{ном}$ или $U_2 = 1{,}01 \cdot U_{ном}$.

Программа самостоятельной (контролируемой) работы студентов

Проработать задачи с решениями из § 2.1.2 [3] и для самостоятельной работы из § 2.1.3 [3].

Обратить внимание на задачи расчета режимов линий разных номинальных напряжений для характерных случаев, не рассматриваемых на практическом занятии. Оценить влияние поперечной составляющей падения напряжения в них на величину напряжения.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

3.2. Расчет режимов трансформаторов

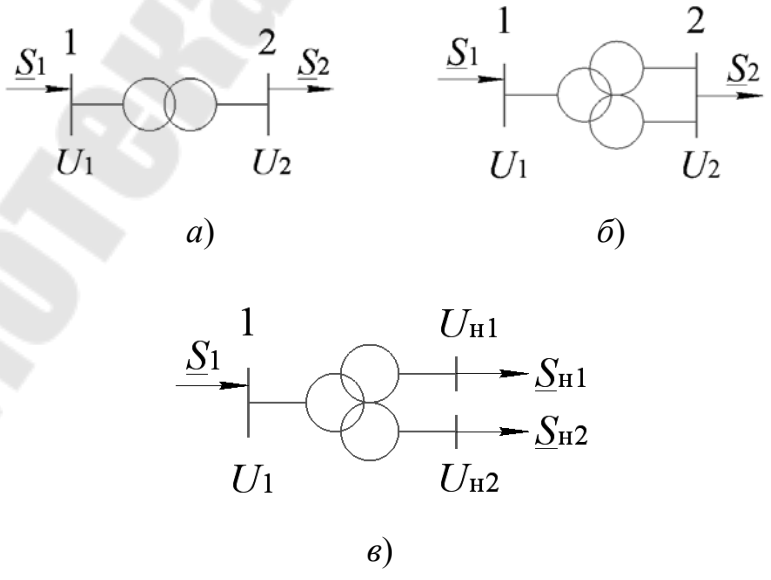
Для расчета режима необходима исходная информация о трансформаторе (марка) и о некоторых параметрах режима. При этом для трансформатора с расщепленной обмоткой при раздельной работе обмоток низшего напряжения, а также для трехобмоточного трансформатора и автотрансформатора известными являются напряжение в одном из узлов и значения мощности в двух узлах из трех. Определение неизвестных параметров режима ведется на основе известных четырех характерных случаев, которые определяют последовательность и формулы расчета потерь мощности в обмотках трансформатора и падений напряжения в них. При расчете напряжений следует также помнить, что трансформатор предназначен для преобразования одного напряжения в другое, т. е. надо учитывать коэффициент трансформации n (см. рис. 1.2).

Программа практического занятия

Задание 1. Для заданного варианта двухобмоточного трансформатора (рис. 3.2, табл. 3.1) необходимо:

1) составить схему замещения и по справочнику найти его расчетные параметры $R_т$ и $X_т$ учитывая, что они даны приведенными к номинальному напряжению обмотки высшего напряжения;

2) на основании известных параметров режима на входе или выходе трансформатора рассчитать неизвестные и результаты расчета нанести на схему замещения (рис. 3.3).



а) *б*)

в)

Рис. 3.2. Схемы двухобмоточных трансформаторов

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Задание 2. Для заданного варианта трехобмоточного трансформатора или автотрансформатора повторить программу задания 1.

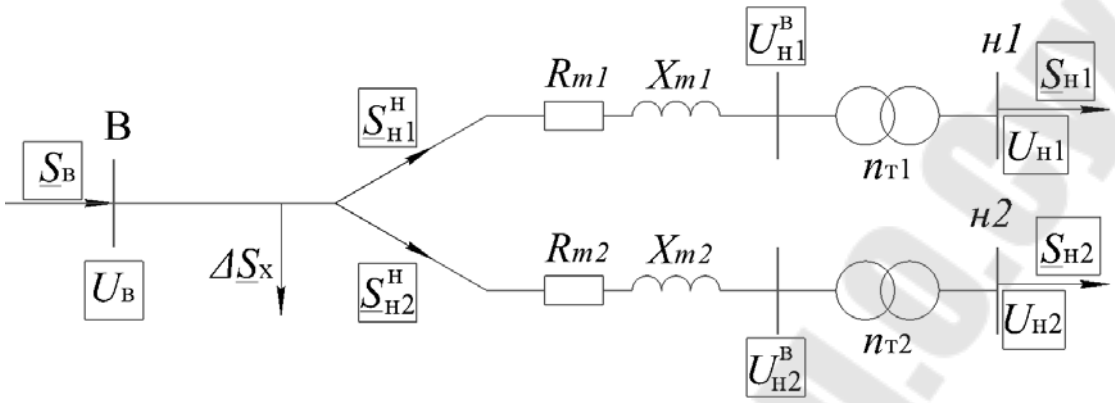


Рис. 3.3. Пример расчета режима трансформатора с расщепленной обмоткой

Таблица 3.1

Примеры вариантов заданий к § 3.2

Номер варианта	Марка трансформатора	Мощность узла, МВА	Напряжение узла, кВ
1	ТМ-630/10	$\underline{S}_2 = 0{,}4 + j0{,}25$	$U_1 = 10{,}3$
2	ТМН-4000/35	$\underline{S}_1 = 3{,}1 + j1{,}8$	$U_2 = 10{,}4$
3	ТД-10000/35	$\underline{S}_1 = 6{,}0 + j3{,}2$	$U_1 = 6{,}4$
4	ТДН-16000/110	$\underline{S}_1 = 12{,}3 + j5{,}4$	$U_2 = 6{,}5$
5	ТД-40000/110	$\underline{S}_1 = 30{,}0 + j12{,}1$	$U_1 = 10{,}6$
6	ТРДН-25000/110	$\underline{S}_2 = 18{,}0 + j13{,}2$	$U_1 = 118$
7	ТРДЦН-63000/110	$\underline{S}_1 = 46{,}0 + j21{,}3$	$U_2 = 10{,}4$
8	ТРДН-32000/220	$\underline{S}_2 = 24{,}2 + j10{,}1$	$U_1 = 232$
9	ТДЦ-80000/220	$\underline{S}_1 = 60{,}0 + j26{,}0$	$U_1 = 10{,}6$
10	ТРДН-100000/220	$\underline{S}_2 = 68{,}0 + j36{,}0$	$U_1 = 234$

Программа самостоятельной (контролируемой) работы студентов

Проработать задачи с решениями из § 2.2.2 [3] и для самостоятельной работы из § 2.2.3 [3]. Обязательно рассмотреть задачи по расчету режимов трансформаторов разных типов и для разных характерных случаев.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

4. РАСЧЕТ РЕЖИМОВРАЗОМКНУТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

В результате изучения темы студент

должен знать: принципы расчета потокораспределения или токораспределения и напряжений в узлах разомкнутой электрической сети любого номинального напряжения, особенности расчета режимов распределительных электрических сетей;

должен уметь: рассчитать режим разомкнутой электрической сети любого номинального напряжения при задании нагрузок в виде мощностей или токов и напряжения источника питания или узла нагрузки.

До практического занятия студент должен по конспекту лекций и учебной литературе [1–3] проработать материал данной темы. При этом надо обратить внимание на следующее.

Разомкнутыми могут быть участки электрической сети любых номинальных напряжений. При этом все сети с номинальным напряжением 35 кВ и ниже всегда работают в разомкнутом режиме, хотя по конфигурации они могут быть замкнутыми. На принципы расчета режимов разомкнутых электрических сетей, в состав которых входят линии разных конструктивных исполнений и трансформаторы любых типов, оказывают влияние представляемые в их схемах замещения параметры и исходная информация о параметрах режима (S_i и U_i).

Следует также помнить об особенностях расчета режимов распределительных сетей напряжением 35 кВ и ниже, основанных на принятых для них допущениях: неучет потерь мощности в линиях и потерь холостого хода трансформаторов при расчете распределения мощностей, расчет напряжений по потере напряжения.

Особенностью расчета режимов сетей нескольких, например двух, номинальных напряжений является переход через идеальный трансформатор в виде коэффициента трансформации, связывающий сети этих двух разных номинальных напряжений, к которым приведены параметры схем замещения их элементов.

Программа практического занятия

Задание 1. Для варианта разомкнутой питающей электрической сети одного номинального напряжения 110 кВ или 220 кВ (рис. 4.1) при заданных характеристиках сети (табл. 4.1), узлов нагрузки и напряжении источника (табл. 4.2) необходимо:

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

1) составить схему замещения сети и определить ее параметры;

2) составить расчетную схему (рис. 4.2, *а*) и определить расчетные нагрузки $\underline{S}_{pi}$;

3) рассчитать потокораспределение и напряжения во всех узлах, включая узлы 2, 3, 5 и 6. Номинальные напряжения в них принять самостоятельно;

4) результаты расчета потоков мощности на участках сети и напряжений в узлах нанести на режимную схему (рис. 4.2, *б*).

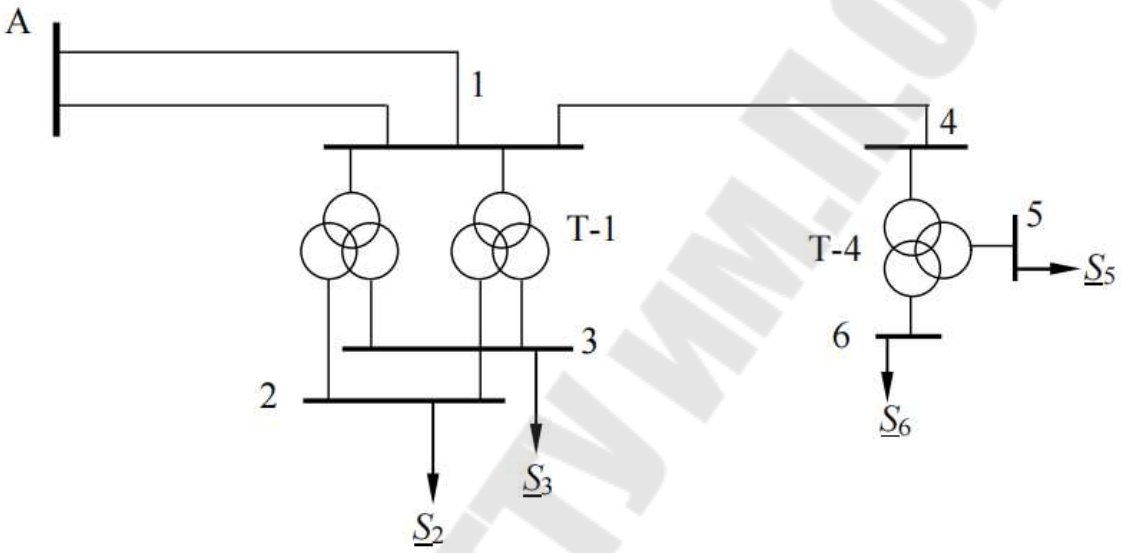


Рис. 4.1. Исходная схема сети для задания 1

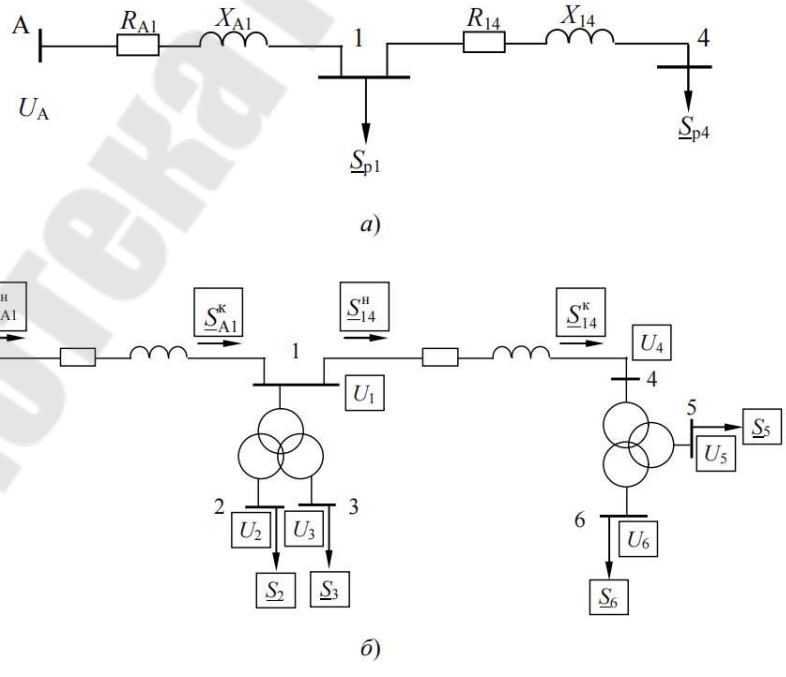


Рис. 4.2. Расчетная (*а*) и режимная (*б*) схемы сети

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Задание 2. Для варианта разомкнутой распределительной сети (рис. 4.3) при заданных характеристиках сети, узлов нагрузки и напряжении источника (табл 4.3, 4.4) необходимо:

1) составить схему замещения и определить ее параметры;

2) рассчитать потоки мощности на участках;

3) определить наибольшую потерю напряжения $\Delta U_{нб}$ и напряжение в узлах 3 и 4;

4) выполнить оценку величины $\Delta U_{нб}$, % от $U_{ном}$.

Таблица 4.1

Характеристики элементов сети

Номер варианта	Характеристика линий				Характеристика трансформатора	
	А-1		1-4		Марка	
	Марка провода	Длина, км	Марка провода	Длина, км	Т-1	Т-4
1	АС-300/39	80	АС-300/39	60	ТРДН-40000/220	ТДТН-40000/220
2	АС-120/19	40	АС-150/24	30	ТРДН-25000/110	ТДТН-25000/110
3	АС-240/32	60	АС-240/32	40	ТРДН-32000/220	ТДТН-25000/220

Таблица 4.2

Характеристики узлов нагрузки

Номер варианта	Напряжение узла А, кВ	Мощность узла нагрузки, МВА			
		2	3	5	6
1	236	$30 + j15$	$20 + j8$	$15 + j8$	$20 + j10$
2	120	$13 + j7$	$17 + j9$	$10 + j6$	$11 + j8$
3	232	$16 + j8$	$19 + j9$	$11 + j5$	$9 + j4$

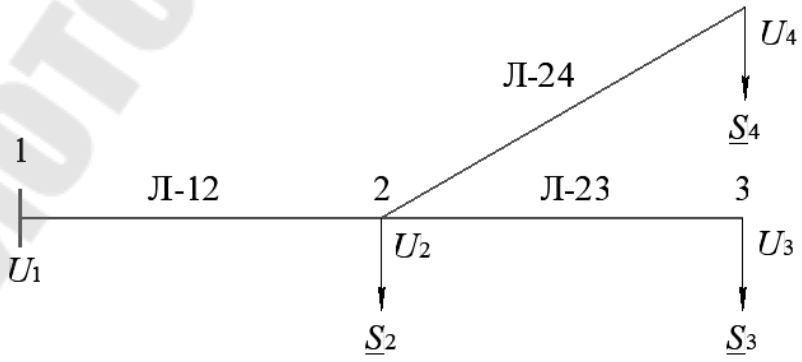


Рис. 4.3. Исходная схема сети для задания 2

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Программа самостоятельной (контролируемой) работы студентов

Проработать задачи с решениями из § 3.1.2 и 3.2.2 [3] и 6.6 [2] и для самостоятельной работы из § 3.1.3 и 3.2.3 [3].

Обратить внимание на примеры расчета режимов распределительных сетей, когда нагрузки заданы в виде токов, а также сетей с двумя разными номинальными напряжениями.

Таблица 4.3

Характеристика линий сети

Номер варианта	Л-12		Л-23		Л-24	
	Марка провода	Длина линии, км	Марка провода	Длина линии, км	Марка провода	Длина линии, км
1	АС-50/8	3,2	АС-35/6	4,1	АС-50/8	2,6
2	АС-70/11	4,6	АС-50/8	3,7	АС-35/6	3,1
3	АС-70/11	5,3	АС-70/11	4,2	АС-50/8	4,3
4	АС-95/16	6,8	АС-50/8	3,4	АС-95/16	5,6
5	АС-120/19	7,6	АС-70/11	4,8	АС-70/11	6,3

Таблица 4.4

Характеристики узлов нагрузки

Номер варианта	Напряжение узла 1, кВ	Мощность узла нагрузки (*P*, *кВт*) и cosφ		
		2	3	4
1	6,5	400/0,9	350/0,92	380/0,87
2	10,5	630/0,92	420/0,89	340/0,9
3	6,4	560/0,89	510/0,92	460/0,89
4	10,6	730/0,91	440/0,88	590/0,91
5	10,8	820/0,92	560/0,89	450/0,9

5. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ПРОСТЕЙШИХ ЗАМКНУТЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

В результате изучения темы студент

должен знать: методы и инженерные методики расчета режимов замкнутых электрических сетей, физическую сущность процессов, связанных с режимом замкнутой сети, особенности расчета режимов однородных замкнутых сетей;

должен уметь: рассчитать режим (потоки мощности на участках и напряжения в узлах) простейшей замкнутой электрической сети,

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

включая и линии с двухсторонним питанием с одинаковыми и разными напряжениями источников питания.

До практического занятия студент должен проработать по конспекту лекций и учебной литературе [1]–[3] материал данной темы. При этом надо обратить внимание на следующее.

Расчет режима простейшей замкнутой сети начинается с определения потокораспределения без учета потерь мощности на участках линий. Результатом этого является нахождение точки (точек) потокораздела, т. е. узла нагрузки, который питается по двум участкам линий. Для однородных замкнутых сетей этот расчет более простой, т. к. не требует операций с комплексными числами (мощностями и сопротивлениями). Дальше электрическая сеть представляется в виде двух разомкнутых, в которых рассчитываются мощности на участках линий с учетом потерь мощности в них и напряжения в узлах нагрузок.

Программа практического занятия

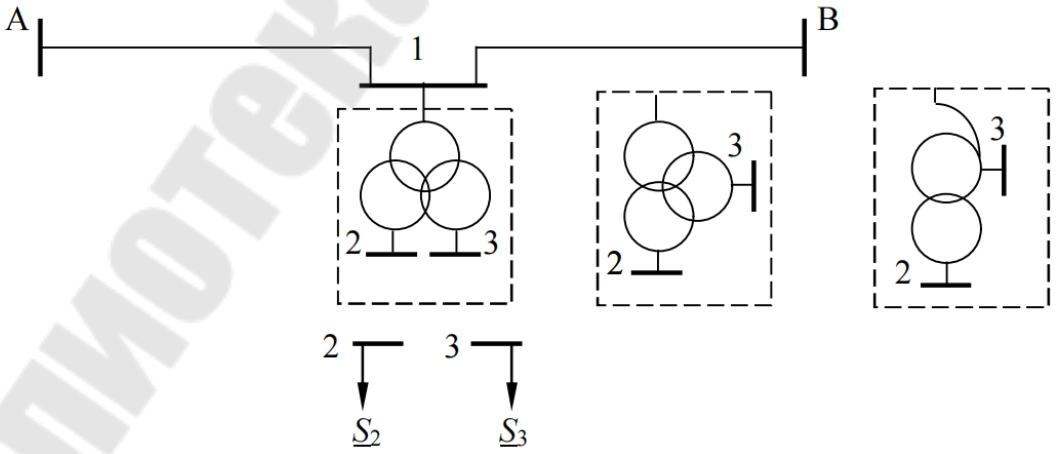
Для варианта линии с двухсторонним питанием номинальным напряжением 110–330 кВ (рис. 5.1) необходимо:

1) составить схему замещения, найти ее параметры;

2) составить расчетную схему и определить расчетную нагрузку (рис. 5.1, *б*);

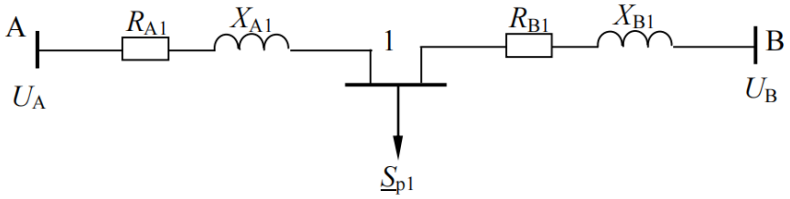
3) найти потоки мощности в линиях без учета потерь мощности в них при равных и неодинаковых напряжениях источников питания.

Сделать то же самое, приняв сеть за однородную. Сравнить результаты расчетов;

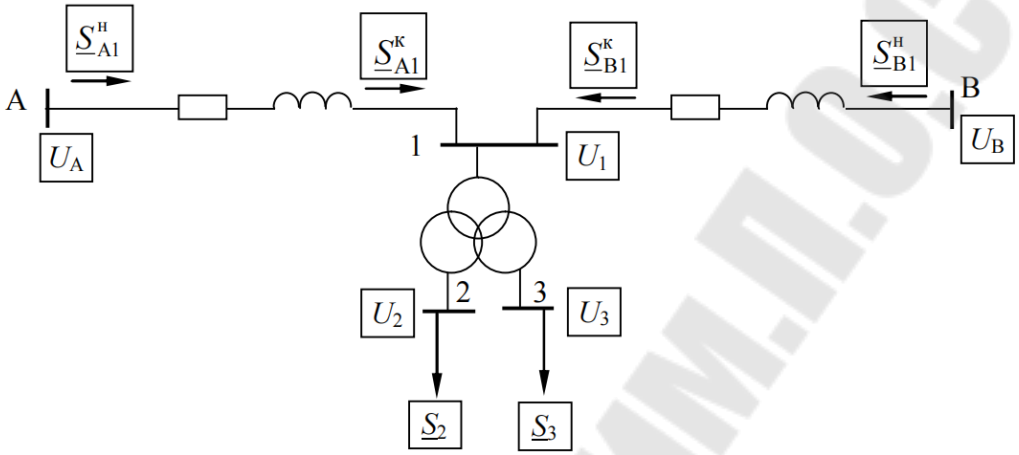


а)

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого



б)



в)

Рис. 5.1. Исходная схема замкнутой сети (*а*),
расчетная схема (*б*) и режимная схема (*в*)

4) определить потокораспределение с учетом потерь мощности в линиях и напряжения во всех узлах сети;

5) результаты расчетов режима нанести на режимную схему (рис. 5.1, *в*).

Исходные данные даны в табл. 5.1. и 5.2.

Таблица 5.1

Характеристики элементов сети

Номер варианта	Характеристика линий				Марка трансформатора
	А-1		В-1		
	Марка провода	Длина, км	Марка провода	Длина, км	
1	АС-300/39	110	2хАС-400/51	80	2хТРДЦН-63000/330
2	АС-400/51	90	2хАС-240/32	130	АТДЦТН-200000/330/110
3	АС-300/39	60	АС-240/32	80	2хТДТН-40000/220
4	АС-240/32	85	АС-400/51	65	АТДЦТН-200000220/110
5	АС-150/24	40	АС-240/32	25	ТРДЦН-63000/110
6	АС-240/32	30	АС-120/19	55	2хТДТН-40000/110

Библиотека ГГТУ им.П.О.Сухого

Таблица 5.2

Характеристики узлов нагрузки и источников

Номер варианта	Мощность узла нагрузки, МВА		Напряжение узла нагрузки, кВ	
	2	3	А	В
1	$50 + j25$	$40 + j20$	330	332
2	$40 + j20$	$130 + j70$	340	336
3	$30 + j15$	$40 + j25$	228	225
4	$20 + j10$	$130 + j50$	229	233
5	$30 + j13$	$20 + j10$	116	114
6	$20 + j10$	$24 + j12$	115	118

Программа самостоятельной (контролируемой) работы студентов

Проработать задачи с решениями из § 3.3.2 [3] и 7.4 [2] и для самостоятельной работы из § 3.3.3 [3].

6. ВЫБОР НОМИНАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ СЕТИ И ТРАНСФОРМАТОРОВ

В результате изучения темы студент:

– должен знать: подходы к выбору номинального напряжения, систематические и аварийные перегрузки трансформаторов разных систем охлаждения, принципы выбора количества и мощности трансформаторов на понижающих подстанциях;

– должен уметь: выбирать номинальное напряжение и силовые трансформаторы в электрических сетях.

Студент обязан до практического занятия проработать материал данной темы по конспекту лекций и учебной литературе [1–3].

При этом он должен обратить внимание на сложившиеся шкалы номинальных напряжений в разных регионах, на сложности эксплуатации замкнутых сетей с разными номинальными напряжениями. При выборе трансформаторов – на преимущества двухобмоточных трансформаторов, на необходимость их загрузки в соответствии с ГОСТ.

6.1. Выбор номинального напряжения

Номинальные напряжения электрических сетей общего назначения установлены действующим стандартом. Величина его определяется главным образом передаваемой мощностью и расстоянием передачи.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Средние и предельные значения дальности передачи и величина пропускной способности воздушных линий напряжением 35–750 кВ приведены в табл. П.1.1 [7].

Известен ряд попыток определить экономические зоны применения электропередач разных напряжений. Наиболее приемлемые результаты для всей шкалы номинальных напряжений от 35 кВ и выше дает эмпирическая формула, предложенная Г.А. Илларионовым:

$$U = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P}}}, \text{кВ}, \qquad (6.1)$$

где P – активная мощность одной цепи электропередачи, МВт; L – длина электропередачи, км.

Известны и другие эмпирические формулы, например, Шнелля:

$$U = 62 \cdot \sqrt[3]{\frac{P \cdot L}{L + 750}}, \text{кВ}, \qquad (6.2)$$

В Беларуси получила распространение система напряжений 110–330–750 кВ. Напряжение 220 кВ чаще применяется в западных районах страны. Напряжение 35 кВ используется преимущественно в сельских сетях и считается малоперспективным. Для распределительных сетей рекомендуется напряжение 10 кВ, которое вытесняет напряжение 6 кВ.

Программа практического занятия

Для заданной схемы сети (рис. 6.1) и исходных данных (табл. 6.1) необходимо выбрать номинальные напряжения для каждого участка сети.

Для решения поставленной задачи необходимо:

– найти мощность в каждой линии; при этом в замкнутой сети распределение мощностей находится в предположении, что сеть является однородной;

– определить напряжения в каждой линии по [7] и формулам (6.1) и (6.2);

– окончательно принять номинальные напряжения в каждой линии. При этом следует учесть, что в замкнутом контуре целесообразно иметь одно номинальное напряжение, так как для связи сетей разных номинальных напряжений потребуются трехобмоточные трансформаторы или автотрансформаторы.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Программа самостоятельной (контролируемой) работы студентов

Проработать задачи с решениями из § 4.1.2 [3] и для самостоятельной работы из § 4.1.3 [3], а также выбрать напряжения для других схем из рис. 6.1.

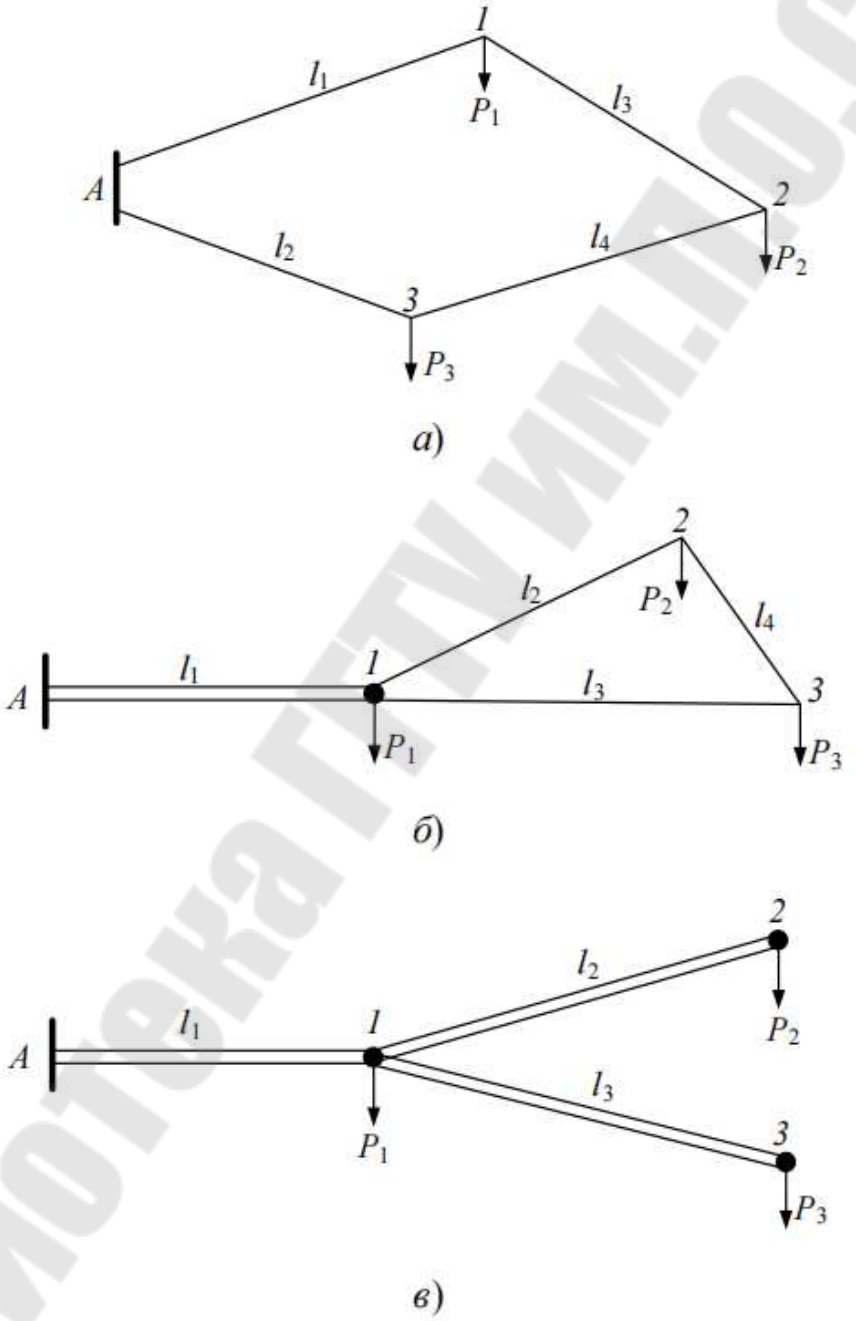


Рис. 6.1. Схемы сети для выбора номинальных напряжений и силовых трансформаторов

Библиотека ГГТУ им.П.О.Сухого

Таблица 6.1

Исходные данные для выбора номинальных напряжений

Номер варианта	Мощность узлов нагрузки, МВт			Длины линий, км			
	1	2	3	l_1	l_2	l_3	l_4
1	30	20	25	20	25	30	29
2	62	40	37	60	43	34	38
3	83	102	94	80	125	94	79
4	16	8	12	15	20	10	10
5	97	38	55	63	45	38	60

6.2. Выбор трансформаторов на понижающих подстанциях

Выбор трансформаторов включает выбор их количества и номинальной мощности.

Выбор количества трансформаторов главным образом зависит от требований к надежности электроснабжения питающихся от них потребителей. В практике проектирования на подстанциях рекомендуется, как правило, установка двух трансформаторов. Применение однотрансформаторных подстанций допускается на первом этапе сооружения двухтрансформаторных подстанций при условии обеспечения на данном этапе резервирования питания потребителей по сетям вторичного напряжения, а также для питания потребителей третьей категории надежности, если возможна замена поврежденного трансформатора в течение суток.

На двухтрансформаторной подстанции мощность трансформаторов выбирается так, чтобы при отключении наиболее мощного из них оставшийся обеспечил питание полной нагрузки с учетом допустимой перегрузки.

Установленная (номинальная) мощность $S_т$ каждого трансформатора должна удовлетворять условиям:

$$S_т \geq \frac{S_{нб}}{n_т};$$

$$S_T \geq \frac{S_{нб} - S_{рез}}{k_{ав}(n_т - n_{отк})}, \qquad (6.3)$$

где $S_{нб}$ – максимальная нагрузка подстанции в нормальном режиме; $n_т$ – количество трансформаторов на подстанции; $n_{отк}$ – количество

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

отключенных трансформаторов в аварийном режиме; $S_{рез}$ – часть нагрузки подстанции, резервируемая по сетям вторичного напряжения в аварийном режиме; $k_{ав}$ – допустимая перегрузка трансформатора в аварийном режиме.

Величины допустимых аварийных перегрузок трансформаторов $k_{ав}$ даны в ГОСТ 14209–97. Трансформаторы класса напряжения до 110 кВ включительно допускают перегрузку величиной 1,4 номинальной мощности. Поэтому из условий (6.3) на двухтрансформаторной подстанции без резервирования по сетям вторичного напряжения мощность каждого трансформатора принимается равной

$$S_T \geq \frac{S_{нб}}{1{,}4}. \qquad (6.4)$$

Заметим, что в соответствии с техническими условиями автотрансформаторы допускают аварийную перегрузку величиной 1,2 от номинальной мощности автотрансформатора. При этом следует помнить, что мощность обмотки низшего напряжения автотрансформатора значительно меньше его номинальной мощности и дана в паспорте автотрансформатора.

Для однотрансформаторных подстанций мощность выбираемого трансформатора должна удовлетворять условию:

$$S_T \geq S_{нб}. \qquad (6.5)$$

Во всех случаях при выборе марки трансформаторов необходимо также помнить, что на подстанциях, связывающих сети напряжением 35 кВ и выше и распределительные сети напряжением 10 кВ и ниже, должны устанавливаться трансформаторы с регулированием напряжения под нагрузкой (с РПН).

Программа практического занятия

Для схемы электрической сети и исходных данных, на основании которых выбраны напряжения линий, с учетом дополнительных исходных данных (табл. 6.2) необходимо выбрать количество, мощности и тип трансформаторов во всех узлах нагрузки, имея в виду, что напряжение обмоток низшего напряжения должно соответствовать номинальному напряжению сети 10 кВ.

Для определения полной мощности S_i узлов нагрузки принять во всех узлах значения $\cos\varphi_i = 0{,}9$.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Таблица 6.2

Исходные данные для выбора трансформаторов

Номер варианта	Категория узла нагрузки по надежности электроснабжения		
	1	**2**	**3**
1	I	II	III
2	II	I	III
3	II	III	I
4	III	I	II
5	I	III	II
6	III	II	I

Для решения поставленной задачи необходимо:

– исходя из категории и мощности узлов нагрузки, питающихся от данной трансформаторной подстанции, выбрать количество трансформаторов;

– исходя из номинальных напряжений линий, необходимо наметить тип трансформатора для установки в каждом узле, оценить мощности, передаваемые по разным обмоткам, и по формулам (6.4) или (6.5) найти расчетную мощность трансформатора;

– по справочнику выбрать трансформаторы с требуемой номинальной мощностью $S_{\text{ном}}$ и нужного типа;

– рассчитать коэффициенты загрузки трансформаторов в нормальном $k_{\text{з.норм}}$ и послеаварийном $k_{\text{з.ав}}$ режимах:

$$k_{\text{з.норм}} \geq \frac{S_{\text{нб}}}{n_{\text{т}} \cdot S_{\text{т}}};$$

$$k_{\text{з.ав}} \geq \frac{S_{\text{нб}}}{(n_T - 1) \cdot S_{\text{ном}}}, \qquad (6.6)$$

где

$$S_{\text{нб}} \geq \frac{P_{\text{нб}}}{\cos\varphi}. \qquad (6.7)$$

Коэффициент мощности cosφ принять равным 0,9.

Программа самостоятельной (контролируемой) работы студентов

Проработать задачи с решениями из § 4.1.2 [3] и для самостоятельной работы из § 4.1.3.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

7. ВЫБОР ПЛОЩАДИ СЕЧЕНИЙ ПРОВОДНИКОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

В результате изучения темы студент:

– **должен знать**: сущность и области применения всех условий выбора площади сечений проводников в линиях любого конструктивного исполнения и номинального напряжения;

– **должен уметь**: выбрать площадь сечения проводника в воздушных линиях разомкнутых и замкнутых электрических сетей любого напряжения, а также в кабельных, воздушных с изолированными и покрытыми проводами линиях напряжением 0,38–10 кВ.

Студент до практических занятий обязан проработать материал данной темы по конспекту лекций и учебной литературе [1–3]. При этом он должен обратить внимание на следующее.

Обычно площадь сечения проводника изначально выбирается по условию экономичности, но при окончательном принятии решения необходимо учитывать технические ограничения и область их распространения.

Условию экономичности отвечает выбор площади сечений проводников по нормированным значениям плотности тока.

К техническим ограничениям при выборе площади сечения проводника относятся нагрев проводников длительно допустимым током, допустимая потеря напряжения, механическая прочность проводника, возникновение короны на проводах воздушных линий, термическая стойкость изолированных проводников.

Рассмотрим принципы и особенности выбора или проверки площади сечений проводников по разным условиям и порядок выбора их в линиях любого конструктивного исполнения и номинального напряжения.

7.1. Выбор проводников по нормированным значениям плотности тока

При выборе проводников по нормированной плотности тока суммарное сечение фазы определяется по формуле

$$F \geq \frac{I_p}{J_н}. \qquad (7.1)$$

Нормированные значения плотности тока приведены в таблице П.1.2 [7].

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

Расчетный ток определяется для нормального режима наибольших нагрузок рассматриваемой сети.

Расчетное значение (7.1) округляется до ближайшего стандартного.

Программа практического занятия

Для заданной схемы электрической сети с воздушными линиями (рис. 7.1) и исходных данных (табл. 7.1) необходимо выбрать провода по нормированной плотности тока.

Для решения поставленной задачи необходимо:

– по заданным мощностям узлов нагрузки найти мощности S_{ij} на каждом участке линии и соответствующие им токи I_{ij};

– для каждого участка линии определить время использования наибольшей нагрузки $T_{\text{нб}ij}$. Например, для линии А1 (рис. 7.1, *б*):

$$T_{нбA1} = \frac{P_1 \cdot T_{нб1} + P_2 \cdot T_{нб2} + P_3 \cdot T_{нб3}}{P_1 + P_2 + P_3};$$

– исходя из материала выбираемого провода и величины $T_{\text{нб}ij}$ по табл. П.1.2 [7] найти нормированное значение плотности тока $J_{\text{н}ij}$ для рассматриваемого участка линии;

– по формуле (7.1) для каждого участка рассчитать площадь сечения проводника фазы F_{ij} и выбрать марку провода из табл. П.1.4 [7].

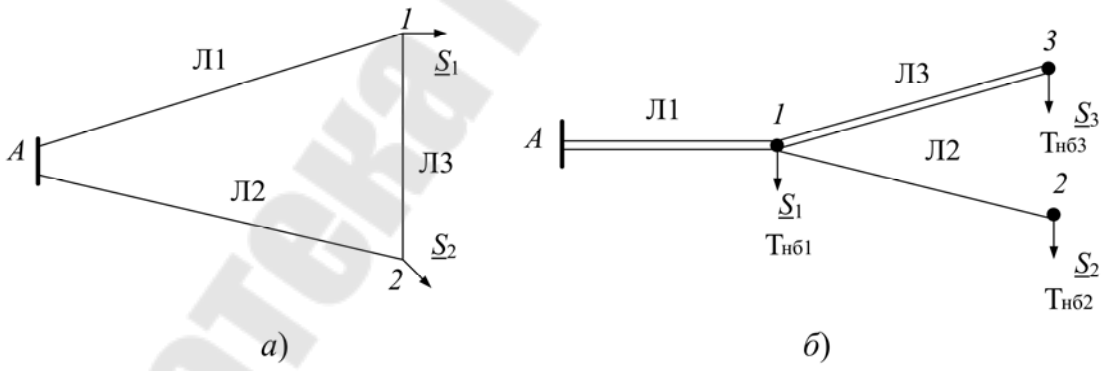


Рис. 7.1. Схемы сети для выбора сечений проводов воздушных линий

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Таблица 7.1

Исходные данные для выбора сечений проводов воздушных линий

Номер варианта	$U_{ном}$, кВ	Схема на рис. 7.1	Характеристика узлов нагрузки $\left(\frac{\underline{S}, \text{МВ}\cdot\text{А}}{T_{нб}, \text{ч}}\right)$			Длины линий, км		
			1	2	3	Л1	Л2	Л3
1	110	а	$\frac{30+j15}{5100}$	$\frac{25+j16}{4600}$	–	30	20	15
2	110	б	$\frac{20+j8}{4100}$	$\frac{21+j11}{3200}$	$\frac{15+j8}{5200}$	18	30	26
3	220	а	$\frac{60+j30}{4400}$	$\frac{100+j40}{5100}$	-	60	80	50
4	220	б	$\frac{80+j30}{3800}$	$\frac{60+j22}{4300}$	$\frac{100+j50}{5100}$	70	60	40

Программа самостоятельной (контролируемой) работы студентов

Выбрать сечение по нормированной плотности тока для другой схемы на рис. 7.1.

7.2. Выбор проводников по условию нагревания длительно допустимым током

Проводники линий электропередачи любого назначения и исполнения должны удовлетворять условию нагревания длительно допустимым током:

$$I_{нб} \le I_{доп}, \qquad (7.2)$$

где $I_{нб}$ – наибольший ток, протекающий по выбираемому проводнику в нормальном или послеаварийном режимах; $I_{доп}$ – длительно допустимый ток для проводника данного вида и условий прокладки.

В зависимости от технических характеристик рассматриваемой сети сечение проводника в ней обязательно должно либо выбираться, либо проверяться по условию нагревания длительно допустимым током.

Во многих случаях сечение проводника изначально выбирается по нормированной плотности тока. Поэтому выбранное по ней сечение проводника должно быть проверено по нагреву длительно допустимым током, т. е. удовлетворять условию (7.2). Если условие не выполняется, то сечение должно быть заменено на большее значение.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

В линиях, например, номинальным напряжением до 1 кВ сечение проводника может изначально выбираться по данному условию.

То есть длительно допустимый ток $I_{доп}$ для выбираемого проводника должен быть не меньше наибольшего тока $I_{нб}$, протекающего по нему в нормальном и послеаварийном режимах.

Величина длительно допустимого тока проводника $I_{доп}$ данного сечения зависит от его вида, изоляции, условий прокладки и дается в справочниках (табл. П.1.8–П.1.15 [7]) для определенных нормированных условий прокладки, охлаждения и температуры проводника. Так, при прокладке в воздухе нормированной принимается температура окружающей среды +25 ºС, а в земле или воде – +15 °С. Допустимая нормированная температура проводника зависит от вида изоляции изолированных проводов и кабелей и способа соединения проводов и не превышает +90 °С.

Если фактические условия прокладки и охлаждения отличаются от нормированных, то это учитывается соответствующими поправочными коэффициентами. Так, чтобы учесть влияние на работу проводника отличия фактической температуры окружающей среды от нормированной, введен поправочный коэффициент на температуру окружающей среды k_t (табл. П.1.16 [7]).

При прокладке нескольких кабелей в земле для учета их взаимного теплового воздействия необходимо учитывать поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле $k_{п}$ (табл. П.1.17 [7]). Этот коэффициент учитывается, как правило, для трехфазных кабелей с бумажной пропитанной изоляцией.

На период ликвидации послеаварийного режима для некоторых кабелей допускается перегрузка, которая может учитываться коэффициентом аварийной перегрузки $k_{ав}$. Так, для кабелей с бумажной изоляцией допускается перегрузка в течение 5 суток в пределах, указанных в табл. П.1.18 [7]. Для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена допускается перегрузка до 17 % при прокладке в земле и до 20 % при прокладке в воздухе, а для кабелей из поливинилхлоридного пластиката и полиэтилена – до 10 %.

Для учета действительных условий охлаждения, прокладки и режимов работы длительно допустимый ток, $I_{доп}$ приведенный в справочных таблицах, должен быть скорректирован названными коэффициентами:

$$I_{доп.р} = I_{доп} \cdot k_t \cdot k_{П} \cdot k_{ав}. \qquad (7.3)$$

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Поэтому формула пригодности проводника по условию нагрева может быть записана в виде:

$$I_{нб} \le I_{доп.р}\,. \qquad (7.4)$$

Отметим некоторые особенности учета коэффициентов k_{t}, $k_{\text{п}}$ и $k_{\text{ав}}$.

Коэффициент $k_{\text{ав}}$ учитывается только при рассмотрении послеаварийных режимов. Коэффициент k_{t}, как правило, не учитывается при выборе голых проводов. Коэффициент $k_{\text{п}}$ учитывается только при прокладке кабелей в земле.

Порядок проверки сечений проводников по условию нагрева длительно допустимым током

Для выбранного сечения проводника в соответствующей ему справочной таблице необходимо найти длительно допустимый ток $I_{\text{доп}}$ для нормированных условий охлаждения и прокладки, который надо привести к фактическим условиям в соответствии с выражением (7.3). При этом выбираемые коэффициенты k_{t}, $k_{\text{п}}$ и $k_{\text{ав}}$ должны строго соответствовать рассматриваемому режиму – нормальному рабочему или послеаварийному.

В итоге должно быть доказано, что выполняется условие (7.4) как в нормальном, так и в послеаварийном режимах:

$$I_{нб}^{норм} \le I_{доп.р}^{норм};$$

$$I_{нб}^{ав} \le I_{доп.р}^{ав}\,. \qquad (7.5)$$

Порядок выбора сечений проводников по условию нагрева длительно допустимым током

При выборе сечения проводника по данному условию надо найти наибольший ток, протекающий по нему в нормальном $I_{\text{нб}}^{\text{норм}}$ и послеаварийном $I_{\text{нб}}^{\text{ав}}$ режимах. Дальше в зависимости от вида выбираемого проводника, условий прокладки и рассматриваемого режима (нормальный или послеаварийный) выбираются поправочные коэффициенты k_{t}, $k_{\text{п}}$ и $k_{\text{ав}}$.

С учетом выражения (7.3) преобразуем формулу (7.4) к виду:

$$I_{\text{доп}} \ge \frac{I_{\text{нб}}}{k_t \cdot k_{П} \cdot k_{ав}}. \qquad (7.6)$$

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

По этой формуле рассчитываем допустимый ток в нормальном $I_{\text{доп}}^{\text{норм}}$ и послеаварийном $I_{\text{доп}}^{\text{ав}}$ режимах и по большему значению в соответствующей справочной таблице выбираем такое сечение, для которого длительно допустимый ток будет не меньше найденного по формуле (7.6).

Программа практического занятия

Задание 1. Проверить выбранное по нормированной плотности тока сечение проводов (рис. 7.1) по условию нагрева длительно допустимым током.

Для решения поставленной задачи необходимо:

– для выбранных сечений в справочной табл. П.1.8 [7] найти значения $I_{\text{доп}}$;

– для каждой линии выбрать наиболее тяжелый послеаварийный режим, рассчитать для него ток $I_{нб}^{ав}$ и убедиться в выполнении условия (7.2). Если оно не выполняется, то надо выбрать провод большего сечения.

Задание 2. Потребитель мощностью $S_{\text{нб}}$ предполагается обеспечить электроэнергией по нескольким кабельным линиям напряжением 10 кВ, выполненным однофазными кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена и проложенными в заданной среде. Выбрать сечения кабелей по условию нагрева длительно допустимым током для одного из вариантов в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Исходные данные к задаче для выбора сечений кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена

Номер варианта	$S_{\text{нб}}$, МВА	Число кабелей	Материал проводника	Среда прокладки	Вид прокладки	cosφ	Длина, км
1	3,0	2	А	земля	горизонтальный	0,85	2,0
2	4,6	3	А	воздух	треугольный	0,9	2,5
3	1,5	2	М	земля	горизонталь-ный	0,87	3,7
4	5,6	3	М	воздух	треугольный	0,89	3,2

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Для решения поставленной задачи необходимо:

– найти ток $I_{нб}$ (из двух режимов – нормального и послеаварийного – большее значение имеет ток в послеаварийном режиме $I_{нб}^{ав}$);

– с учетом поправочных коэффициентов $k_{п}$ и $k_{ав}$ по формуле (7.6) найти $I_{доп}$;

– в справочной табл. П.1.15 [7] выбрать сечение, для которого табличный длительно допустимый ток не меньше найденного по формуле (7.6).

Программа самостоятельной (контролируемой) работы студентов

Проработать задачи 1–4 и 7 из § 4.2.2 и решить задачи 9 и 10 из § 4.2.3 [3].

7.3. Выбор проводников по допустимой потере напряжения

В электрических сетях напряжением 0,38–10 кВ выбранное или выбираемое сечение проводника должно удовлетворять условию:

$$\Delta U_{нб} \le \Delta U_{доп}, \qquad (7.7)$$

где $\Delta U_{доп}$ – допустимая потеря напряжения; $\Delta U_{нб}$ – потеря напряжения в режиме наибольших нагрузок до наиболее удаленной точки сети.

Необходимость выполнения этого условия вызывается, во-первых, требованием обеспечения отклонений напряжений у подключенных к ним электроприемников и, во-вторых, существенным влиянием величины сечения проводника на потери напряжения из-за того, что, как правило, в этих сетях активное сопротивление больше реактивного.

В сетях напряжением 35 кВ и выше потери напряжения в меньшей степени зависят от сечения проводника, т. к. в них чаще $x_0 > r_0$.

Да и более высокие потери напряжения в них экономически эффективнее компенсировать добавками напряжения трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой (с РПН), которые обязательны к установке между сетями с одной стороны напряжением 35 кВ и выше, а с другой стороны – напряжением 10 кВ и ниже.

Предельная величина допустимой потери напряжения не превышает $\Delta U_{доп} = 10$ %.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

В реальных условиях с учетом дискретности регулирования напряжения трансформаторами этот параметр в сетях напряжением 6–10 кВ составляет $\Delta U_{доп}$ = (6–8) %, а в сетях напряжением 0,38 кВ еще меньше.

Порядок проверки сечений проводников по допустимой потере напряжения

Для выбранных сечений проводников из справочных таблиц надо найти действительные значения x_0 и r_0, рассчитать потери напряжения до наиболее удаленной точки $\Delta U_{нб}$ и убедиться, что условие (7.7) выполняется. В противном случае надо увеличивать сечение на отдельных участках, добиваясь выполнения данного условия.

Порядок выбора сечений проводников по допустимой потере напряжения

При выборе сечений проводников в сетях до 1 кВ по допустимой потере напряжения кроме выполнения основного условия (7.7) в зависимости от назначения сети могут приниматься во внимание дополнительные условия:

– неизменность сечения на всех участках линии $F = const$;

– минимум расхода проводникового материала $m_F = \min$;

– минимум потерь активной мощности $\Delta P_\Sigma = \min$.

Рассмотрим порядок выбора сечений проводников с учетом выполнения как основного, так и дополнительных условий.

Во всех случаях решение начинается с выбора средней величины удельного индуктивного сопротивления $x_{0ср}$, которое зависит от конструктивного исполнения линии и номинального напряжения.

Для разных линий рекомендуются следующие значения $x_{0ср}$, Ом/км: ВЛ 0,38 кВ – 0,29; ВЛ 6–10 кВ – 0,36; ВЛИ 0,38 кВ – 0,09; КЛ 0,38 кВ – 0,06; КЛ 6–10 кВ – 0,09; ВЛП 10 кВ – 0,3.

Определяется реактивная составляющая потери напряжения:

$$\Delta U_p = \frac{x_{0ср} \cdot \sum_{i=1}^{n} (Q_{iл} \cdot l_{iл})}{U_{ном}}, \qquad (7.8)$$

где n – число участков линии; $Q_{iл}$ – реактивная мощность на i-м участке линии; $l_{iл}$ – длина i-го участка линии; $U_{ном}$ – номинальное напряжение линии.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Находится активная составляющая допустимой потери напряжения:

$$\Delta U_{a.доп} = \Delta U_{доп} - \Delta U_{p}. \qquad (7.9)$$

Дальнейший порядок расчета зависит от дополнительного условия. Для дополнительного условия $F = const$ сечение проводника находится по формуле:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(P_{iл} \cdot l_{iл}\right)}{\gamma \cdot \Delta U_{a.доп} \cdot U_{ном}}, \qquad (7.10)$$

где γ – удельная проводимость материала проводника.

Для дополнительного условия $\Delta P_{\Sigma} = \min$ вначале рассчитывается плотность тока, которая принимается одинаковой для всех участков линии:

$$J_{\Delta U} = \frac{\gamma \cdot \Delta U_{a.доп}}{\sqrt{3} \cdot \sum_{i=1}^{n}\left(\cos\varphi_{iл} \cdot l_{iл}\right)}, \qquad (7.11)$$

а затем для каждого участка линии определяется сечение проводника:

$$F_{iл} = \frac{I_{iл}}{J_{\Delta U}}, \qquad (7.12)$$

где $I_{iл}$ – ток i-го участка линии.

Для дополнительного условия $m_{F} = \min$ вначале находится коэффициент расхода материала проводников:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\sqrt{P_{iл}} \cdot l_{iл}\right)}{\gamma \cdot \Delta U_{a.доп} \cdot U_{ном}}, \qquad (7.13)$$

а затем определяется сечение для каждого участка линии:

$$F_{iл} = k \cdot \sqrt{P_{iл}}. \qquad (7.14)$$

Дальше независимо от дополнительных условий расчетные сечения проводников приводятся к стандартным $F_{iл.ст}$. Для них в справочных таблицах находятся действительные значения r_0 и x_0 и рассчитывается фактическая величина наибольшей потери напряжения:

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

$$\Delta U_{нб} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_{iл} \cdot R_{iл}) + \sum_{i=1}^{n}(Q_{iл} \cdot X_{iл})}{U_{ном}}, \qquad (7.15)$$

которая должна удовлетворять условию (7.7).

Программа практического занятия

Задание 1. Проверить сечение кабеля с изоляцией из СПЭ, выбранное в задании 2 § 7.2, по допустимой потере напряжения $\Delta U_{доп} = 6$ %.

Задание 2. Для ВЛИ напряжением 380 В, выполненной проводом СИП-2 с изоляцией из СПЭ, выбрать по допустимой потере напряжения $\Delta U_{доп} = 4$ % сечения алюминиевых проводов для схемы на рис. 7.2 и исходных данных, приведенных в табл. 7.3, с учетом одного из дополнительных условий: $F = const$ или $m_F = \min$.

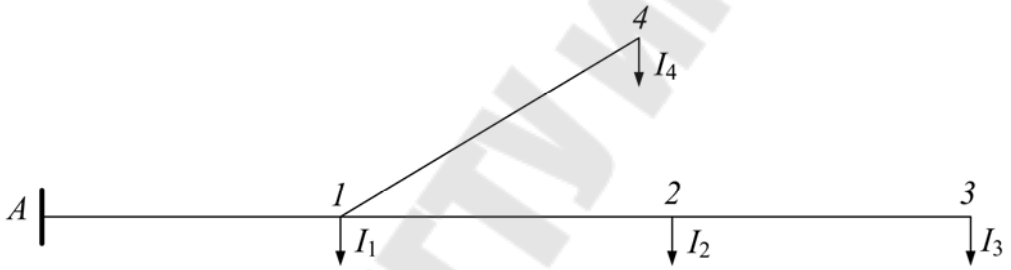


Рис. 7.2. Схема сети для выбора сечений проводов ВЛИ по допустимой потере напряжения

Таблица 7.3

Исходные данные к задаче выбора сечений проводов ВЛИ по допустимой потере напряжения

Номер варианта	Длины участков, м				Токи узлов, А и cosφ			
	A1	12	23	14	1	2	3	4
1	60	80	40	70	16/0,9	14/0,85	8/0,9	10/0,88
2	110	70	80	90	26/0,9	18/0,92	10/0,91	12/0,93

Программа самостоятельной (контролируемой) работы студентов

Проработать задачу 5 из § 4.2.2 [3]. Выбрать сечения проводников для задания 2 из данного параграфа при ином дополнительном условии.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

7.4. Выбор сечений проводников ВЛ по условию короны

По условию короны для ВЛ установлены минимально допустимые сечения проводов и конструкции фаз, которые могут применяться в ВЛ напряжением 110 кВ и выше (табл. П.1.20 [7]). Если сечение проводника первоначально выбранное, например, по нормированной плотности тока, оказалось меньше, то оно должно быть заменено и соответствовать табл. П.1.20 [7].

Программа практического занятия

Для схемы на рис. 7.1 проверить, годятся ли выбранные по нормированной плотности тока и проверенные по нагреву длительно допустимым током провода (§ 7.1 и § 7.2) по условию короны.

7.5. Выбор сечений проводников по механической прочности

Для обеспечения соответствующего уровня надежности работы воздушных линий по условиям механической прочности в зависимости от климатических условий установлены минимально допустимые сечения проводов [8].

Так, в ВЛ напряжением до 1 кВ следует применять провода сечением не менее: алюминиевые – 16 мм^2, сталеалюминиевые – 10 мм^2. Для ВЛ напряжением более 1 кВ, как правило, необходимо применять сталеалюминиевые провода в районах с толщиной стенки гололеда до 10 мм сечением 35 мм^2, 15 и 20 мм – 50 мм^2, более 20 мм – 70 мм^2.

На магистральных участках независимо от толщины стенки гололеда рекомендуется применять сталеалюминиевый провод сечением на менее 70 мм^2.

Для ВЛИ напряжением 380 В по механической прочности в I и II районах по гололеду следует применять СИП с сечением несущего сталеалюминиевого нулевого провода не менее 70 мм^2, на ответвлениях от магистрали в I и II районах по гололеду не менее 35 мм^2, в III и IV районах – 50 мм^2.

Для одноцепных ВЛ напряжением 35 кВ минимальное сечение провода – 70 мм^2, для двухцепных линий – 120 мм^2. Для одно- и двухцепных линий напряжением 110 кВ минимальное сечение провода – 120 мм^2.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Программа практического занятия

Проверить выбранные сечения проводов воздушных линий по условиям § 7.1–§ 7.4 на пригодность по механической прочности.

7.6. Выбор сечений проводников по термической стойкости

Провода ВЛИ, ВЛП и кабельные линии должны проверяться по термической стойкости к действию токов короткого замыкания (КЗ), т. е. выбранная площадь сечения проводников должна удовлетворять условию:

$$F \geq I_{кз} \cdot \frac{\sqrt{t}}{C}, мм^2, \qquad (7.16)$$

где $I_{КЗ}$ – действующее значение установившегося тока КЗ, А; t – время прохождения тока КЗ, с; C – коэффициент, зависящий от термостойкости изоляции.

Значения IКЗ для ВЛИ и ВЛП даны в табл. П.1.9–П.1.11 [7]. Для кабелей с изоляцией из СПЭ – в табл. П.1.19 [7].

Коэффициент C для алюминиевых проводов с изоляцией из термопластичного полиэтилена равен 59, для алюминиевых проводов и кабелей с изоляцией из СПЭ – 97, для кабелей с ПВХ-изоляцией – 75, с полиэтиленовой изоляцией – 62.

Программа практического занятия

Задание 1. Проверить выбранные в § 7.2 кабели с изоляцией из СПЭ на термическую стойкость.

Задание 2. Проверить выбранные в задании 2 § 7.3 провода СИП на термическую стойкость.

Варианты экзаменационных задач

В экзаменационном билете предлагается разомкнутая или замкнутая электрическая сеть (возможные варианты представлены в табл. 8.1), состоящая из линий любого конструктивного исполнения и номинального напряжения и разных типов трансформаторов, с заданными мощностями или токами во всех (или части) узлах нагрузки и (или) источника питания, а также напряжением в узле нагрузки или источника питания.

Библиотека ГГТУ им.П.О.Сухого

В задаче студент должен:

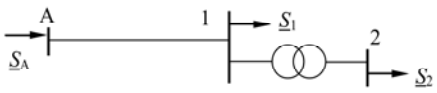
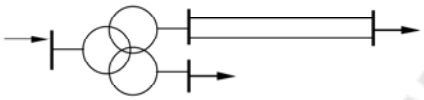
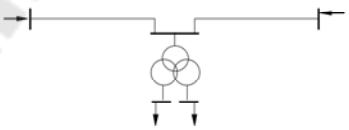
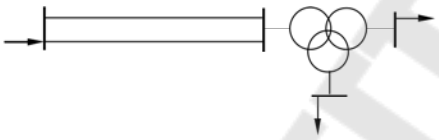
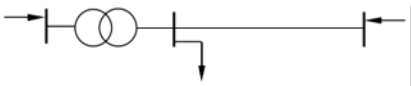
– определить мощность, потребляемую узлом нагрузки или отдаваемую в электрическую сеть источником питания;

– определить напряжения в узлах;

– рассчитать потери электроэнергии в сети или заданном элементе сети.

Таблица 8.1

Возможные варианты электрической сети

Номер варианта	Схема	Номер варианта	Схема
1		4	
2		5	
3		6	

Примеры экзаменационных задач

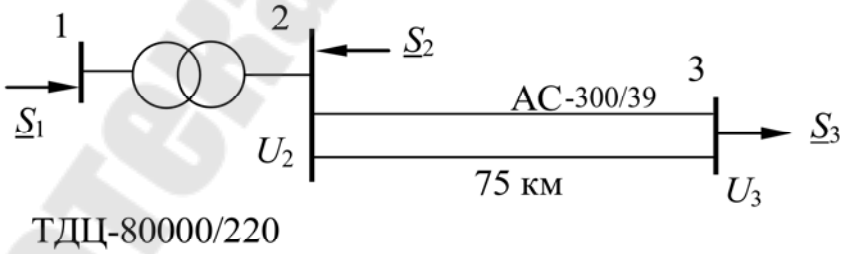


Рис. 8.1. Схема электрической сети

В приведенной схеме электрической сети (рис. 8.1):

1. *Дано*: $S_2 = 40$ МВА; $\cos\varphi_2 = 0{,}9$;

$T_{нб2} = 4800$ ч; $S_3 = 100 + j23$ МВА;

$T_{нб3} = 4900$ ч ; $U_1 = 10{,}4$ кВ.

Найти: $\underline{S}_1$, U_3 , потери электроэнергии в трансформаторе.

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

2. *Дано*: $P_1 = 60$ МВт ; $\cos\varphi_1 = 0{,}9$;
$T_{нб1} = 4200$ ч ; $S_3 = 90$ МВА; $\cos\varphi_3 = 0{,}87$;
$T_{нб3} = 4600$ ч ; $U_3 = 223$ кВ.
Найти: $\underline{S}_2$, U_1, потери электроэнергии в сети.
3. *Дано*: $\underline{S}_2 = 40 + j25$ МВА; $T_{нб2} = 4500$ ч;
$S_1 = 80$ МВА ; $\cos\varphi_1 = 0{,}84$; $U_1 = 6{,}3$ кВ.
Найти: $\underline{S}_3$, U_3, потери электроэнергии в линии.

Библиотека ГГТУ им.П.О.Сухого

Литература

1. Поспелов, Г. Е. Электрические системы и сети : учебник / Г. Е. Поспелов, В. Т. Федин, П. В. Лычев. – Минск : Технопринт, 2004. – 710 с.

2. Герасименко А.А. Передача и распределение электрической энергии : учебное пособие / А. А. Герасименко, В.Т. Федин. – 3-е изд., перераб. — М.: КНОРУС, 2012. — 648 с.

3. Лычев, П. В. Электрические системы и сети. Решение практических задач / П. В. Лычев, В. Т. Федин. – Минск : Дизайн ПРО, 1997. – 192 с.

4. Герасименко А. А. Электроэнергетические системы и сети расчеты, анализ, оптимизация режимов работы и проектных решений электрических сетей, учебное пособие / А. А. Герасименко, В. Т. Федин. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2018. – 471 с.

5. Электроэнергетические системы в примерах и иллюстрациях / Ю. Н. Астахов, В. А. Веников, В. В. Ежков и др. ; под ред. В. А. Веникова – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 504 с.

6. Справочник по проектированию электрических сетей / под. ред. Д. Л. Файбисовича. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : ЭНАС, 2009. – 392 с.

7. Лычев, П. В. Электроэнергетические системы : практикум по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» днев. формы обучения / П. В. Лычев, К. М. Медведев. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. – 46 с.

8. ТКП 339-2022 «Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний».

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Содержание

Общие положения 3
1. Схемы замещения и параметры элементов электрической сети 3
1.1. Воздушные и кабельные линии 3
1.2. Трансформаторы и автотрансформаторы 7
1.3. Характеристики узлов нагрузки и графиков нагрузки 10
2. Определение потерь электроэнергии в электрических сетях 12
3. Расчет режимов линий электропередачи и трансформаторов 15
3.1. Расчет режимов линий электропередачи 16
3.2. Расчет режимов трансформаторов 18
4. Расчет режимовразомкнутых электрических сетей 20
5. Расчет режимов простейших замкнутых электрических сетей 23
6. Выбор номинального напряжения сети и трансформаторов 26
6.1. Выбор номинального напряжения 26
6.2. Выбор трансформаторов на понижающих подстанциях 29
7. Выбор площади сечений проводников линий электропередачи 32
7.1. Выбор проводников по нормированным значениям плотности тока 32
7.2. Выбор проводников по условию нагревания длительно допустимым током 34
7.3. Выбор проводников по допустимой потере напряжения 38
7.4. Выбор сечений проводников ВЛ по условию короны 42
7.5. Выбор сечений проводников по механической прочности 42
7.6. Выбор сечений проводников по термической стойкости 43
Литература 46

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

Практикум
для студентов специальности 7-07-0712-01 «Электроэнергетика и электротехника» дневной формы обучения

Составители: **Лычев** Петр Васильевич
Губатенко Марк Сергеевич

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 06.11.26.

Рег. № 4Е.
http://www.gstu.by

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого