



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РЫБИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ П. А. СОЛОВЬЕВА»

ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Методические указания к изучению дисциплины

шей Вер N15

РЫБИНСК
2018

УДК 621.314

Электроснабжение: Методические указания к изучению дисциплины / Сост. А. В. Манин; РГАТУ имени П. А. Соловьева. – Рыбинск, 2018. – 24 с. – (Заочная форма обучения / РГАТУ имени П. А. Соловьева).

Данные методические указания предназначены для выполнения контрольной работы студентами направления 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

СОСТАВИТЕЛЬ

кандидат технических наук, доцент А. В. Манин

ОБСУЖДЕНО

на заседании кафедры

«Электротехника и промышленная электроника»

РЕКОМЕНДОВАНО

Методическим Советом РГАТУ имени П. А. Соловьева

Зав. РИО М. А. Салкова

Подписано в печать 10.01.2018 г.

Формат 60×84 1/16. Уч.-изд. л. 1,5. Тираж 100. Заказ 2.

Множительная лаборатория РГАТУ имени П. А. Соловьева
152934, Рыбинск, ул. Пушкина, 53

© РГАТУ имени П. А. Соловьева, 2018

ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является формирование знаний о структуре системы электроснабжения, качестве электрической энергии, методах расчета распределительных сетей, определение режимов их работы, а также знание принципов построения защиты от аварийных режимов и повышения качества электрической энергии.

МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина «Электроснабжение» относится к циклу дисциплин «Профессиональный».

Необходимыми условиями для освоения дисциплины являются: знание основных понятий и методов дифференциального и интегрального исчисления, функций комплексных переменных, методов численного решения алгебраических и дифференциальных уравнений, основных физических явлений и законов электротехники, умения применять методы математического анализа и информационные технологии при решении инженерных задач, выявлять физическую сущность явлений и процессов в различных устройствах, владение инструментарием при решении математических и физических задач в области электротехники.

Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания дисциплин «Математика», «Физика» и «Информатика» и формирует основу для освоения дисциплин «Электрические машины», «Силовая электроника» и «Электрические и электронные аппараты».

ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины студент должен знать:

- характеристики систем электроснабжения промышленных предприятий;
- отличительные особенности электроснабжения предприятий;
- методы определения и расчета электрических нагрузок в системах электроснабжения;
- сроки службы электротехнического оборудования в зависимости от режимов работы и характеристик внешней среды;

- особенность выбора параметров основного электротехнического оборудования в системах электроснабжения промышленных предприятий;
- структуру схем внешнего и внутривозовского электроснабжения;
- специфику построения систем электроснабжения сетей ниже 1000 вольт;
- особенности расчета токов короткого замыкания в сетях промышленных предприятий;
- показатели качества электроэнергии и способы его обеспечения;
- особенности составления электробаланса предприятия;
- уметь:
- определять и рассчитывать электрические нагрузки;
- выбирать схему электроснабжения;
- выбирать параметры основного электротехнического оборудования;
- выбирать элементы (проводники, силовые трансформаторы, коммутационные аппараты) системы электроснабжения промышленных предприятий;
- выбирать элементы защиты электрических сетей промышленных предприятий;
-
- владеть:
- методами и приемами обеспечения функционирования систем электроснабжения.

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Раздел 1. Основные понятия и определения.

- 1.1 Основные определения: система электроснабжения, потребитель, приемник.
- 1.2 Особенности, требования, характеристики потребителей электрической энергии предприятий.

Раздел 2. Графики электрических нагрузок предприятий.

- 2.1 Характерные графики электрических нагрузок предприятий.
- 2.2 Показатели графиков электрических нагрузок.
- 2.3 Уровни системы электроснабжения.

Раздел 3. Электрические нагрузки. Определение нагрузок.

- 3.1 Основные и вспомогательные методы расчета нагрузок.
- 3.3 Определение расчетных и пиковых нагрузок.

Раздел 4. Распределительные электрические сети предприятий.

- 4.1 Распределение электроэнергии.
- 4.2 Требования, предъявляемые к распределительным сетям.
- 4.3 Схемы электрических сетей.
- 4.4 Проводки, кабели, шинопроводы, кабельная канализация.
- 4.5 Силовые щиты, шкафы, пункты.

Раздел 5. Выбор параметров токоведущих элементов.

- 5.1 Метод выбора сечения.
- 5.2 Нагрев проводников.
- 5.2 Условия прокладки, поправочные коэффициенты.

Раздел 6. Установки наружного и внутреннего освещения.

- 6.1 Современные источники света.
- 6.2 Характеристики, устройство и схемы включения источников света.
- 6.3 Выбор параметров осветительной сети.
- 6.1 Схемы питания, напряжения, расчетная нагрузка осветительной установки.

Раздел 7. Потребительские трансформаторные подстанции.

- 7.1 Выбор количества и мощности силовых трансформаторов.
- 7.2 Конструкция и схемы КТП.
- 7.3 Схемы питания КТП.

Раздел 8. Компенсация реактивной мощности.

- 8.1 Реактивная мощность в электрических сетях.
- 8.2 Источники реактивной мощности.
- 8.3 Баланс и задача компенсации реактивной мощности в цеховой сети.

Раздел 9. Расчет токов короткого замыкания.

- 9.1 Виды КЗ; допущения при расчете.
- 9.2 Расчетная схема и схема замещения, параметры схемы замещения.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Задание 1. Выбор числа и мощности трансформаторов связи на электростанции

Основные теоретические сведения

Методика расчета

При отсутствии графиков электрической нагрузки для трансформаторов, подключенных к генераторному распределительному устройству (ГРУ), вычисляют мощности трех режимов и выбирают наибольшую из них.

Режим 1. При минимальном потреблении нагрузки на генераторном напряжении ($S_{1p}, \text{МВ} \cdot \text{А}$):

$$S_{1p} = \sqrt{(P_z n_{\text{ГРУ}} - P_{\text{мин}} - P_{\text{сн}} n_{\text{ГРУ}})^2 + (Q_z n_{\text{ГРУ}} - Q_{\text{мин}} - Q_{\text{сн}} n_{\text{ГРУ}})^2},$$

где $P_z, P_{\text{сн}}$ — активная мощность одного генератора и его собственных нужд, МВт;

$Q_z, Q_{\text{сн}}$ — реактивная мощность одного генератора и его собственных нужд, Мвар;

$P_{\text{мин}}$ — активная минимальная нагрузка на генераторном напряжении, МВт;

$Q_{\text{мин}}$ — реактивная минимальная нагрузка на генераторном напряжении, Мвар;

$n_{\text{ГРУ}}$ — число генераторов, подключенных к ГРУ.

Режим 2. При максимальном потреблении нагрузки на генераторном напряжении ($S_{2p}, \text{МВ} \cdot \text{А}$):

$$S_{2p} = \sqrt{(P_z n_{\text{ГРУ}} - P_{\text{макс}} - P_{\text{сн}} n_{\text{ГРУ}})^2 + (Q_z n_{\text{ГРУ}} - Q_{\text{макс}} - Q_{\text{сн}} n_{\text{ГРУ}})^2},$$

где $P_{\text{макс}}$ — активная максимальная нагрузка на генераторном напряжении, МВт;

$Q_{\text{макс}}$ — реактивная максимальная нагрузка на генераторном напряжении, Мвар.

Режим 3. При отключении одного генератора и максимальном потреблении нагрузки на генераторном напряжении ($S_{3p}, \text{МВ} \cdot \text{А}$):

$$S_{3p} = \sqrt{(P_z n_{\text{ГРУ}} - P_{\text{макс}} - P_{\text{сн}} n_{\text{ГРУ}})^2 + (Q_z n_{\text{ГРУ}} - Q_{\text{макс}} - Q_{\text{сн}} n_{\text{ГРУ}})^2},$$

где $n_{\text{ГРУ}}$ — новое число генераторов, подключенных к ГРУ,

$$n_{\text{ГРУ}} = n_{\text{ГРУ}} - 1.$$

Условие выбора мощности трансформаторов ($S_{\text{т.ГРУ}}$), подключенных к ГРУ:

$$S_{\text{т.ГРУ}} \geq 0,7 S_{\text{т.р}},$$

где $S_{\text{т.р}}$ — максимальная расчетная мощность, МВ·А. Это мощность одного из рассчитанных режимов.

При блочном подключении генераторов и трансформаторов

$$S_{\text{бл.р}} = \sqrt{(P_z - P_{\text{сн}})^2 + (Q_z - Q_{\text{сн}})^2}.$$

Условие выбора мощности блочного трансформатора:

$$S_{\text{т.бл}} \geq S_{\text{бл.р}},$$

где $S_{\text{бл.р}}$ — полная расчетная мощность блочного трансформатора, МВ·А.

Для выбора трансформатора по справочнику нужно знать три величины: полную расчетную мощность, высокое и низкое напряжение.

Высокое напряжение ($V_{\text{вн}}$) ориентировочно определяют из соотношения

$$V_{\text{вн}} = V_{\text{лн}} = (1...10) P_{\text{пер}}$$

где $V_{\text{лн}}$ — напряжение линии электропередачи, кВ;

$P_{\text{пер}}$ — активная мощность передаваемая от электростанции в ЛЭП, МВт,

$$P_{\text{пер}} = P_z n_z - P_{\text{сн}} n_z - P_{\text{мин}},$$

где n_z — количество генераторов на электростанции.

Из полученного промежутка значений напряжения выбирается класс напряжения, соответствующий среднему номинальному значению по шкале напряжений:

$$10,5 - 21 - 36,75 - 115 - 158 - 230 - 247 - 525 - \dots \text{кВ}.$$

Полную передаваемую мощность ($S_{\text{пд}}$) без учета потерь определяют по формуле

$$S_{\text{пер}} = \frac{P_{\text{пер}}}{\cos \varphi_z}; \quad Q_{\text{пер}} = P_{\text{пер}} \operatorname{tg} \varphi_z, \quad \text{МВ} \cdot \text{А}$$

где $\cos \varphi_g$ — коэффициент активной мощности генераторов электростанции.

Полную передаваемую мощность с учетом потерь в трансформаторах ($S_{\text{зпн}}$) определяют как

$$S_{\text{зпн}} = \frac{S_{\text{пер}}}{K_{\text{ном}}}, \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

где $K_{\text{ном}}$ — коэффициент потерь в трансформаторе.

Зависимость $K_{\text{ном}} = F(\cos \varphi_g)$

$\cos \varphi_g$	1	0,9	0,8	0,7	0,6
$K_{\text{ном}}$	1,02	1,06	1,08	1,085	1,09

Приблизленно потери в трансформаторах можно определить из соотношений

$$\Delta P_m = 0,02 S_{\text{пер}}; \quad \Delta Q_m = 0,1 S_{\text{пер}}$$

Коэффициент загрузки трансформатора (K_z) определяется по формуле

$$K_z = \frac{S_{\phi}}{n S_m}$$

где S_{ϕ} — фактическая нагрузка на трансформаторы, МВ·А;

S_m — номинальная мощность трансформатора, МВ·А;

n — число трансформаторов, на которое распределена фактическая нагрузка.

В таблице 1 представлены варианты индивидуальных заданий.

В конце расчетно-практического задания пишется ответ, где указывается:

- количество и марка трансформаторов;
- значения их коэффициентов загрузки;
- полная передаваемая мощность $S_{\text{зпн}}$.

Пример

Дано:

Тип генератора — ТВФ-63

$V_r = 10,5 \text{ кВ}$

$\cos \varphi_r = 0,8$

$n_{\text{гпу}} = 2$

$P_{\text{мин}} = 50 \text{ МВт}$

$P_{\text{макс}} = 65 \text{ МВт}$

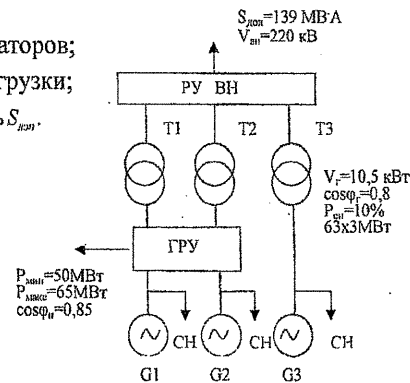


Рис. 1. Структурная схема ЭС

$\cos \varphi_n = 0,85$

Требуется:

- составить структурную схему электростанции (ЭС);
- рассчитать и выбрать трансформаторы;
- определить K_z , $S_{\text{зпн}}$, $V_{\text{лп}}$.

Решение:

- Составляется структурная схема ЭС и наносятся данные (рис. 1).

- Определяется расчетная мощность трансформатора ГРУ:

$$S_{1p} = \sqrt{(P_z n_{\text{гпу}} - P_{\text{мин}} - P_{\text{сн}} n_{\text{гпу}})^2 + (Q_z n_{\text{гпу}} - Q_{\text{мин}} - Q_{\text{сн}} n_{\text{гпу}})^2} = \\ = \sqrt{(63 \cdot 2 - 50 - 6,3 \cdot 2)^2 + (47,3 \cdot 2 - 31 - 4,7 \cdot 2)^2} = 83,4 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

$$Q_z = P_1 \cdot \tan \varphi_z = 63 \cdot 0,75 = 47,3 \text{ Мвар}$$

$$Q_{\text{мин}} = P_{\text{мин}} \cdot \tan \varphi_n = 50 \cdot 0,62 = 31 \text{ Мвар}$$

$$P_{\text{сн}} = 0,1 P_1 = 0,1 \cdot 63 = 6,3 \text{ МВт}$$

$$Q_{\text{сн}} = P_{\text{сн}} \cdot \tan \varphi_1 = 6,3 \cdot 0,75 = 4,7 \text{ Мвар}$$

$$Q_{\text{макс}} = P_{\text{макс}} \cdot \tan \varphi_n = 65 \cdot 0,62 = 40,3 \text{ Мвар}$$

$$S_{2p} = \sqrt{(P_z n_{\text{гпу}} - P_{\text{макс}} - P_{\text{сн}} n_{\text{гпу}})^2 + (Q_z n_{\text{гпу}} - Q_{\text{макс}} - Q_{\text{сн}} n_{\text{гпу}})^2} = \\ = \sqrt{(63 \cdot 2 - 65 - 6,3 \cdot 2)^2 + (47,3 \cdot 2 - 40,3 - 4,7 \cdot 2)^2} = 66 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

$$S_{3p} = \sqrt{(P_z n_{\text{гпу}} - P_{\text{макс}} - P_{\text{сн}} n_{\text{гпу}})^2 + (Q_z n_{\text{гпу}} - Q_{\text{макс}} - Q_{\text{сн}} n_{\text{гпу}})^2} = \\ = \sqrt{(63 - 65 - 6,3)^2 + (47,3 - 40,3 - 4,7)^2} = 8,6 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

Примечание. Знак «минус» в первой скобке подкоренного выражения означает, что недостающая мощность потребляется из ЭНС.

$$S_{\text{пер}} \geq 0,75 S_{1p} = 0,7 \cdot 83,4 = 58,4 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

- Определяется расчетная мощность блочного трансформатора

$$S_{\text{бл}} = \sqrt{(P_z - P_{\text{сн}})^2 + (Q_z - Q_{\text{сн}})^2} = \sqrt{(63 - 6,3)^2 + (47,3 - 4,7)^2} = 79,1 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

$$S_{\text{бл}} \geq S_{\text{бл}} = 79,1 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

- Определяется передаваемая мощность

$$P_{\text{пер}} = P_r n_r + P_{\text{сн}} n_r - P_{\text{мин}} = 63 \cdot 3 - 6,3 \cdot 3 - 50 = 120,1 \text{ МВт};$$

$$S = \frac{S_{\text{пер}}}{K_{\text{ном}} \cos \varphi_g \cdot K_{\text{ном}}} = \frac{120,1}{0,8 \cdot 1,08} = 139 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

$$K_{\text{ном}} = F(\cos \varphi_g) = F(0,8) = 1,08$$

- Определяется напряжение передачи

$$V_{\text{вн}} = V_{\text{лэп}} = (1...10)P_{\text{пер}} = (1...10) \cdot 120,1 = 120,1... 1201 \text{ кВ.}$$

Согласно шкале напряжение принимается $V_{\text{вн}} = 220 \text{ кВ}$.

Выбираются трансформаторы согласно таблицам приложения А.1, А.2.

Для ГРУ – два ТРДЦН 63000-220/10,5	Блочный – один ТД 80000- 220/10,5
$V_{\text{вн}} = 230 \text{ кВ}$	$V_{\text{вн}} = 242 \text{ кВ}$
$V_{\text{нн}} = 11-11 \text{ кВ}$	$V_{\text{нн}} = 10,5 \text{ кВ}$
$\Delta P_{\text{xx}} = 70 \text{ кВт}$	$\Delta P_{\text{xx}} = 79 \text{ кВт}$
$\Delta P_{\text{кз}} = 265 \text{ кВт}$	$\Delta P_{\text{кз}} = 315 \text{ кВт}$
$u_{\text{к}} = 11,5 \%$	$u_{\text{к}} = 11 \%$
$i_{\text{кх}} = 0,5 \%$	$i_{\text{кх}} = 0,45 \%$

-
- Определяются коэффициенты загрузки трансформаторов

$$K_{\text{з,гру}} = \frac{S_{\text{ф,гру}}}{2S_{\text{м,гру}}} = \frac{83,4}{2 \cdot 63} = 0,66;$$

$$K_{\text{з,бл}} = \frac{S_{\text{ф,бл}}}{2S_{\text{м,бл}}} = \frac{79,1}{80} = 0,99;$$

- Наносятся необходимые данные ($S_{\text{лэп}}$, $V_{\text{лэп}}$) на структурную схему.

Ответ: На ЭС выбраны трансформаторы связи ГРУ – 2 х ТРДЦН 63000-220/10,5; $K_{\text{з,гру}}$ БЛ–ТДЦ 80000-220/10,5; $K_{\text{з,бл}} = 0,99$; $S_{\text{лэп}} = 139 \text{ МВ·А}$.

Таблица 1. Варианты задания 1

Вариант	Генераторы						Нагрузка ГРУ		
	тип	$V_{\text{г,к}}$ В		$P_{\text{гру}}$	$P_{\text{бл}}$	$P_{\text{снз}}$ %	$P_{\text{минз}}$ МВт	$P_{\text{максз}}$ МВт	$\cos \varphi_{\text{г}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Т-6-2	6,3	0,8	4	2	10	5	10	0,9
2	ТВФ-63-2	6,3	0,8	3	2	10	40	80	0,92
3	ТВФ-160-2	18	0,85	3	1	8	300	400	0,85
4	ТВВ-200-2	15,75	0,85	2	1	8	200	300	0,87
5	ТВВ-800-2	24	0,9	2	1	5	800	1200	0,95
6	ТВВ-320-2	20	0,85	3	1	6	300	400	0,93

7	ТВС-32-2	10,5	0,8	4	2	10	10	15	0,94
8	ТВЗ-220-2	15,75	0,85	2	1	8	200	300	0,9
9	ТВФ-120-2	10,5	0,8	2	2	9	100	200	0,92
10	Т-6-2	10,5	0,8	5	3	10	8	10	0,93
11	ТВВ-165-2	18	0,85	3	1	8	300	400	0,94
12	ТВФ-63-2	6,3	0,8	4	1	10	30	50	0,95
13	ТВС-32-2	10,5	0,8	4	3	10	40	50	0,96
14	ТВМ-300-2	20	0,85	3	1	6	600	700	0,88
15	ТВФ-100-2	10,5	0,85	5	2	9	300	400	0,87
16	ТВВ-220-2	15,75	0,85	3	1	8	400	500	0,93
17	ТВС-32-2	6,3	0,8	3	1	10	4	6	0,9
18	ТВФ-60-2	10,5	0,8	3	2	10	10	20	0,85
19	ТВВ-165-2	18	0,85	2	1	8	200	300	0,86
20	Т-12-2	6,3	0,8	5	2	10	5	10	0,92
21	ТВВ-320-2	20	0,85	2	1	6	300	400	0,93
22	ТВФ-60-2	10,5	0,8	3	3	10	30	100	0,94
23	ТЗВ-800-2	24	0,9	2	1	5	800	1000	0,95
24	ТГВ-300-2	20	0,85	2	1	6	300	600	0,96
25	ТВФ-60-2	6,3	0,8	2	3	10	40	60	0,95
26	Т-12-2	10,5	0,8	3	3	10	5	10	0,94
27	ТВФ-100-2	10,5	0,85	2	2	9	100	200	0,93
28	ТВФ-120-2	10,5	0,8	4	1	9	100	200	0,92
29	ТВВ-200-2	15,75	0,85	3	1	8	400	500	0,9
30	ТВФ-63-2	10,5	0,8	2	1	10	50	65	0,85

Задание 2. Расчет ЛЭП и выбор неизолированных проводов

Основные теоретические сведения

Методика расчета

Рассчитать линию электропередачи (ЛЭП) – это значит определить:

- сечение провода и сформировать марку;
- потери мощности;
- потери напряжения.

- Сечение провода, соответствующее минимальной стоимости передачи электроэнергии (ЭЭ), называют экономическим.

ПУЭ (правила устройства электроустановок) рекомендуют для определения расчетам экономического сечения ($S_{эк}$) метод экономической плотности тока.

$$S_{эк} = \frac{I_{м.р}}{j_{эк}}$$

где $S_{эк}$ – экономическое сечение провода, мм²;

$I_{м.р}$ – максимальный расчетный ток в линии при нормальном режиме работы, А;

Для трехфазной сети

$$I_{м.р} = \frac{S_{пер}}{\sqrt{3}V_{пер}}$$

$j_{эк}$ – экономическая плотность тока, А/мм²; принимается на основании опыта эксплуатации.

$$j_{эк} = F(T_m, \text{вид проводника}),$$

где T_m – время использования максимальной нагрузки за год, час.

Проводник – неизолированные провода	Т _м , час		
	1000... 3000	3000.. 5000	5000... 8700
Медные	2,5	2,1	1,8
Алюминиевые	1,3	1,1	1,0

Полученное расчетное экономическое сечение ($S_{эк}$) приводят к ближайшему стандартному значению.

Если получено большое сечение, то берется несколько параллельных проводов (линий) стандартного сечения так, чтобы суммарное сечение было близко к расчетному.

- Формируется марка провода, указывается допустимый ток.
- Оптимальное расстояние передачи ($L_{эп}$, км) приближенно определяется из соотношения

$$L_{эп} = (0,3...1)V_{пер},$$

- Потери мощности в ЛЭП определяются по формулам

$$\Delta P_{лэп} = \left(\frac{S_{пер}}{n_{лэп} V_{пер}} \right)^2 R_{лэп}; \Delta Q_{лэп} = \left(\frac{S_{пер}}{n_{лэп} V_{пер}} \right)^2 X_{лэп}$$

где $\Delta P_{лэп}$ – потери активной мощности в ЛЭП, МВт;

$\Delta Q_{лэп}$ – потери реактивной мощности в ЛЭП, Мвар;

$S_{пер}$ – полная передаваемая мощность, МВ·А;

$V_{пер}$ – напряжение передачи, кВ;

$R_{лэп}, X_{лэп}$ – полное активное и индуктивное сопротивление, Ом;

$n_{лэп}$ – число параллельных линий.

$$\Delta S_{лэп} = \sqrt{\Delta P_{лэп}^2 + \Delta Q_{лэп}^2}.$$

- Сопротивления в ЛЭП определяются из соотношений

$$R_{лэп} = \frac{1}{n_{лэп}} r_0 L_{лэп}; \quad X_{лэп} = x_0 L_{лэп},$$

где r_0, x_0 – удельные сопротивления, Ом/км.

Значение активного сопротивления на единицу длины определяется для воздушных, кабельных и других линий при рабочей температуре

$$r_0 = \frac{10^3}{\gamma S},$$

где γ – удельная проводимость, м/(Ом·мм²).

Так как чаще всего длительно допустимая температура проводников 65 или 70 °С, то без существенной ошибки принимают

$$\gamma = 50 \text{ м/(Ом·мм}^2\text{)} \text{ для медных проводов,}$$

$$\gamma = 30 \text{ м/(Ом·мм}^2\text{)} \text{ для алюминиевых проводов;}$$

S – сечение проводника (одной жилы кабеля), мм²

Значение индуктивного сопротивления на единицу длины с достаточной точностью принимается равным

$$x_0 = 0,4 \text{ Ом/км для воздушных ЛЭП ВН;}$$

$$x_0 = 0,8 \text{ Ом/км для кабельных ЛЭП ВН.}$$

- Потери напряжения в ЛЭП определяются из соотношения

$$\Delta V_{лэп} = \frac{10^2}{n_{лэп} V_{лэп}^2} P_{пер} L_{лэп} (r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi_{лэп}),$$

где $\Delta V_{лэп}$ – потеря напряжения в одной ЛЭП, %;

$P_{лэп}$ – передаваемая по линии активная мощность, МВт;

$L_{лэп}$ – протяженность ЛЭП, км;

Радел 10. Защита электрических сетей напряжением.

- 10.1 Основные характеристики аппаратов защиты. Маркировка.
- 10.2 Аппараты защиты для цеховых сетей..
- 10.3 Выбор и проверка автоматических выключателей, предохранителей, построение карты селективности..

Радел 11. Качество и учет электроэнергии.

- 11.1 Требования к качеству электроэнергии .
- 11.2 Нормативные документы в области качества электроэнергии.

Радел 12. Молниезащита и заземление электрической сети предприятия.

- 12.1 Режимы работы нейтрали.
- 12.2 Режимы работы нейтрали свыше 1000 В.
- 12.3 Режимы работы нейтрали до 1000 В.

ЛИТЕРАТУРА

а) основная литература

1. Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник / Б.И. Кудрин. -М.: Интермет Инжиниринг, 2007. - 672 с.

б) дополнительная литература

1. Федоров, А. А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: учеб. пособие для вузов / А. А. Федоров, Л. Е. Старкова. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 368 с.
2. Справочник по проектированию электроснабжения / под ред. Ю. Г. Барыбина, Л. Е. Федорова, М. Г. Зименкова. - М. : Энергоатомиздат, 1990. - 576 с. - (Электроустановки промышленных предприятий)
3. Электротехнический справочник: В 4-х т. / Под ред. В.Г Герасимова, А.Ф. Дьякова, Н.Ф. Ильинского. - 8-е изд., испр. и доп. - М.: Изд-во МЭИ, 2003. - ISBN 5-7046-0099-9
4. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. - М.: Форум: Инфра-М, 2005. - 214 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ И ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебный материал дисциплины достаточно полно изложен в учебниках, указанных в списке основной литературы. Дополнительная литература рекомендуется с целью более глубокой проработки отдельных разделов программы.

Изучение дисциплины рекомендуется проводить последовательно в порядке перечисления разделов рабочей программы. После изучения какого-либо раздела по учебнику рекомендуется записать в тетрадь определенные выводы формул, начертить схемы, графики и ответить на вопросы самопроверки. Такой метод даст возможность проверить усвоение материала и запомнить основные элементы прочитанного.

Контрольная работа представляет собой два задания по курсу электроснабжение. Контрольная работа представляется на проверку в полном объеме и не позднее, чем за неделю до экзамена. Работа оценивается положительно, если правильно выполнено не менее 60 % общего объема задания.

СПИСОК ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ ВОПРОСОВ

1. Основные сведения об электрификации страны и ее энергетических системах.
2. Потребители электроэнергии и их классификация.
3. Графики электрических нагрузок и коэффициенты, характеризующие режим работы электроустановок.
4. Основные и вспомогательные методы расчета нагрузок.
5. . Установки наружного и внутреннего освещения.
6. Потребительские трансформаторные подстанции.
7. Выбор параметров токоведущих элементов.
8. Компенсация реактивной мощности.
9. Качество и учет электроэнергии.
- 10 Молниезащита и заземление электрической сети предприятия.

r_0, x_0 – активное и индуктивное сопротивления на единицу длины ЛЭП;

$V_{\text{ЛЭП}}$ – напряжение передачи, кВ.

$$\Delta V'_{\text{ЛЭП}} = V_{\text{пер}} \Delta V_{\text{ЛЭП}} \cdot 10^{-2}.$$

Примечания.

1. Наибольшая допустимая потеря напряжения в ЛЭП ($\Delta V_{\text{доп}}$) не должна превышать 10 % от номинального значения.

2. Приближенно потери активной мощности можно определять по формуле

$$P_{\text{ЛЭП}} = 0,03 S_{\text{ЛЭП}}.$$

В таблице 2 представлены варианты индивидуальных заданий.

В конце расчетно-практического задания пишется ответ, где указывается

- условное обозначение, допустимый ток, протяженность ЛЭП;
- потери полной мощности ($\Delta S_{\text{ЛЭП}}$);
- потери напряжения ($\Delta V_{\text{ЛЭП}}$).

Пример

Дано:

Из задания 1 – принимаем:

$$S_{\text{пер}} = 139 \text{ МВ} \cdot \text{А}$$

$$V_{\text{пер}} = 220 \text{ кВ}$$

Марка провода – А

$$S_{\text{пер}} = 139 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$V_{\text{пер}} = 220 \text{ кВ}$$

$$S_{\text{ЛЭП}} = 137 \text{ МВ} \cdot \text{А};$$

$$V_{\text{ЛЭП}} = 220 \text{ кВ}$$

$$\cos \phi_{\text{ЛЭП}} = 0,85$$

$$T_M = 4000 \text{ ч}$$

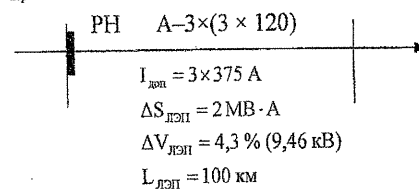


Рис. 2. Структурная схема ЛЭП

Требуется:

- составить структурную схему ЛЭП;

- рассчитать и выбрать проводники;
- определить потери $S_{\text{ЛЭП}}, V_{\text{ЛЭП}}$.

Решение:

• Составляется структурная схема ЛЭП, и наносятся данные (рис. 2).

• По экономической плотности тока определяется расчетное сечение проводов и приводится к стандартному значению.

$$S_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{н.р.}}}{j_{\text{эк}}} = \frac{365,2}{1,1} = 332 \text{ мм}^2;$$

$$I_{\text{н.р.}} = \frac{S_{\text{пер}}}{\sqrt{3} V_{\text{пер}}} = \frac{139 \cdot 10^3}{11,73 \cdot 220} = 365,2 \text{ А};$$

$$j_{\text{эк}} = F(T_M, A_L) = F(4000, A_L) = 1,1 \text{ А/мм}^2.$$

Для ВЛ выбирается провод для наружной прокладки
А-3x(3 x 120), $I_{\text{доп}} = 3 \times 375 \text{ А}$.

- Определяется оптимальная длина ЛЭП

$$L_{\text{ЛЭП}} = (0,3 \dots 1) V_{\text{пер}} = (0,3 \dots 1) \cdot 220 = 66 \dots 220 \text{ км}.$$

Принимается $L_{\text{ЛЭП}} = 100 \text{ км}$.

- Определяется сопротивление ЛЭП
-

$$R_{\text{ЛЭП}} = \frac{1}{n_{\text{ЛЭП}}} r_0 L_{\text{ЛЭП}} = \frac{1}{3} \cdot 0,28 \cdot 100 = 9,3 \text{ Ом};$$

$$r_0 = \frac{10^3}{\gamma S} = \frac{10^3}{30 \cdot 120} = 0,28 \text{ Ом/км};$$

$$\gamma_{\text{Ал}} = 30 \text{ м/(Ом} \cdot \text{мм}^2);$$

$$X_{\text{ЛЭП}} = x_0 L_{\text{ЛЭП}} = 0,4 \cdot 100 = 40 \text{ Ом}.$$

- Определяются потери мощности в ЛЭП

$$\Delta P_{\text{ЛЭП}} = \left(\frac{S_{\text{пер}}}{n_{\text{ЛЭП}} V_{\text{пер}}} \right)^2 R_{\text{ЛЭП}} = \left(\frac{139}{3 \cdot 220} \right)^2 \cdot 9,3 = 0,4 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_{\text{ЛЭП}} = \left(\frac{S_{\text{пер}}}{n_{\text{ЛЭП}} V_{\text{пер}}} \right)^2 X_{\text{ЛЭП}} = \left(\frac{139}{3 \cdot 220} \right)^2 \cdot 40 = 1,8 \text{ Мвар};$$

$$\Delta S_{\text{ЛЭП}} = \sqrt{\Delta P_{\text{ЛЭП}}^2 + \Delta Q_{\text{ЛЭП}}^2} = \sqrt{0,4^2 + 1,8^2} = 1,84 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Принимается $\Delta S_{\text{ЛЭП}} = 2$, тогда с учетом потерь

$$S_{\text{ЛЭП}} = S_{\text{пер}} - \Delta S_{\text{ЛЭП}} = 139 - 2 = 137 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

- Определяются потери напряжения в ЛЭП

$$\Delta V_{\text{ЛЭП}} = \frac{10^2}{n_{\text{ЛЭП}} V_{\text{ЛЭП}}^2} P_{\text{пер}} L_{\text{ЛЭП}} (\tau_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi_{\text{ЛЭП}}) =$$

$$= \frac{10^2}{3 \cdot 220^2} \cdot 118,2 \cdot 100 \cdot (0,28 + 0,4 \cdot 0,62) = 4,3 \%;$$

$$P_{\text{пер}} = S_{\text{пер}} \cos \varphi_{\text{ЛЭП}} = 139 \cdot 0,85 = 118,2 \text{ МВт}.$$

При $\cos \varphi_{\text{ЛЭП}} = 0,85$; $\operatorname{tg} \varphi_{\text{ЛЭП}} = 0,62$

$$\Delta V'_{\text{ЛЭП}} = V_{\text{пер}} \Delta V_{\text{ЛЭП}} \cdot 10^{-2} = 220 \cdot 4,3 \cdot 10^{-2} = 9,46 \text{ кВ}.$$

Ответ:

ВЛ – А–3×(3×120);

$I_{\text{ли}} = 3 \times 375 \text{ А}$; $L_{\text{ЛЭП}} = 100 \text{ км}$; $\Delta S_{\text{ЛЭП}} = 2 \text{ МВ} \cdot \text{А}$; $\Delta V_{\text{ЛЭП}} = 4,3 \%$.

9	АСКП	0,8	5000	125	6,3	0,88	63	35	0,87
10	АСК	0,9	5500	125	10	0,89	630	20	0,86
11	АС	0,85	6000	63	6,3	0,9	125	10	0,85
12	А	0,8	6500	125	35	0,91	80	6,3	0,84
13	АСКП	0,9	7000	200	6,3	0,92	80	35	0,83
14	АСК	0,85	7500	200	10	0,93	400	20	0,82

15	АС	0,8	8000	125	6,3	0,94	80	10	0,81
16	А	0,9	7500	200	35	0,95	63	6,3	0,8
17	АСКП	0,85	7000	250	6,3	0,94	80	35	0,81
18	АСК	0,8	6500	200	10	0,93	400	20	0,82
19	АС	0,9	6000	200	6,3	0,92	80	10	0,83
20	А	0,85	5500	125	35	0,91	80	6,3	0,84
21	АСКП	0,8	5000	200	6,3	0,9	63	35	0,85
22	АСК	0,9	4500	63	10	0,89	630	20	0,86
23	АС	0,85	4000	250	6,3	0,88	125	10	0,87
24	А	0,8	3500	125	35	0,87	80	6,3	0,88
25	АСКП	0,9	3000	250	6,3	0,86	40	35	0,89
26	АСК	0,85	2500	125	10	0,85	630	20	0,9
27	АС	0,8	2000	63	6,3	0,84	125	10	0,91
28	А	0,9	1500	200	35	0,83	80	6,3	0,92
29	АСКП	0,85	1000	250	6,3	0,82	25	35	0,93
30	АСК	0,8	4000	30	35	0,9	50	10	0,85

Таблица 2. Варианты задания 2

Вариант	ЛЭП			Потребитель 1			Потребитель 2		
	марка провода	$\cos \varphi_{\text{ЛЭП}}$	$T_{\text{м}}, \text{ч}$	$P_1, \text{МВт}$	$V_1, \text{кВ}$	$\cos \varphi_1$	$P_2, \text{МВт}$	$V_2, \text{кВ}$	$\cos \varphi_2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	АСКП	0,9	1000	63	6,3	0,8	25	35	0,95
2	АСК	0,85	1500	125	10	0,81	400	20	0,94
3	АС	0,8	2000	250	6,3	0,82	63	10	0,93
4	А	0,9	2500	200	35	0,83	80	6,3	0,92
5	АСКП	0,85	3000	200	6,3	0,84	40	35	0,91
6	АСК	0,8	3500	250	10	0,85	630	20	0,9
7	АС	0,9	4000	125	6,3	0,86	125	10	0,89
8	А	0,85	4500	250	35	0,87	80	6,3	0,88

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица А.1. Трехфазные двухобмоточные трансформаторы классов напряжения 110, 220, 330, 500 кВ

Тип	ВН, кВ	НН, кВ	ΔP_{K3} , кВт	ΔP_{XX} , кВт	η_{K3} , %	i_{KX3} , %
1	2	3	4	5	6	7
ТМН-2500/110	110	6,6 11	22	5,5	10,5	1,5
ТМН-6300/110	115	6,6 11	44	10	10,5	1
ТДН-10000/110	115	6,6 11 16,5 22	58	14	10,5	0,9
ТДН-16000/110	115	6,6 11 16,5 22	85	18	10,5	0,7
ТДН-25000/110	115	38,5	120	25	10,5	0,65
ТДН-40000/110	115	38,5	170	34	10,5	0,55
ТДН-63000/110	115	38,5	245	50	10,5	0,5
ТДН-80000/110	115	38,5	310	58	10,5	0,45
ТДЦ-80000/110	121	6,3 10,5	310	85	11	0,6
ТДЦ-125000/110	121	10,5 13,8	400	120	10,5	0,55
ТДЦ-200000/110	121	13,8 15,75 18	550	170	10,5	0,5
ТДЦ-250000/110	121	15,75	640	200	10,5	0,5
ТДЦ-400000/110	121	20	900	320	10,5	0,45
ТДЦ-80000/220	242	6,3 10,5 13,8	315	79	11	0,45
ТДЦ-125000/220	242	10,5 13,8	380	120	11	0,55
ТДЦ-200000/220	242	13,8 15,75 18	660	130	11	0,4
ТДЦ-250000/220	242	13,8 15,75	600	207	11	0,5
ТДЦ-400000/220	242	15,75 20	870	280	11	0,45
ТНЦ-630000/220	242	15,75 20 24	1200	400	12,5	0,35
ТНЦ-1000000/220	242	24	2200	480	11,5	0,4
ТДЦ-125000/330	347	10,5 13,8	380	125	11	0,55

ТДЦ-200000/330	347	13,8 15,75 18	520	180	11	0,5
ТДЦ-250000/330	347	13,8 15,75	605	214	11	0,5
ТДЦ-400000/330	347	15,75 20	790	300	11,5	0,45
ТНЦ-630000/330	347	24	1300	345	11,5	0,35
ТНЦ-1000000/330	347	24	2200	480	11,5	0,4
ТНЦ-1250000/330	347	24	2200	715	14,5	0,55
ТДЦ-250000/500	525	13,8 15,75 20	590	205	13	0,45
ТДЦ-400000/500	525	13,8 15,75 20	790	315	13	0,45
ТЦ-630000/500	525	15,75 20 24 36,75	1210	420	14	0,4
ТНЦ-1000000/500	525	24	1800	570	14,5	0,4

Таблица А.2. Трехфазные двухобмоточные трансформаторы с расщеплением обмотки НН на две классы напряжения 110, 220, 330, 500, 750 кВ

Тип	ВН, кВ	НН, кВ	$\Delta P_{кз}$, кВт	$\Delta P_{хх}$, кВт	$U_{кз}$, %	$i_{хсз}$, %
1	2	3	4	5	6	7
ТРДН-25000/110	115	6,3- 6,3 6,3- 10,5 10,5-10,5	120	25	10,5	0,65
ТРДН-40000/110	115	6,3- 6,3 6,3- 10,5 10,5-10,5	170	34	10,5	0,55
ТРДН-63000/110	115	6,3- 6,3 6,3- 10,5 10,5-10,5	245	50	10,5	0,5
ТРДН-80000/110	115	6,3- 6,3 6,3- 10,5 10,5-10,5	310	58	10,5	0,45
ТРДЦН-125000/110	115	10,5-10,5	400	105	11	0,55
ТРДН-32000/220	230	6,3-6,3 6,6-6,6 11-11 6,6-11	150	45	11,5	0,65
ТРДНС-40000/220	230	6,3-6,3 6,6-6,6 11-11 6,6-11	170	50	11,5	0,6
ТРДН-63000/220	230	6,3-6,3 6,6-6,6 11-11 6,6-11	265	70	11,5	0,5
ТРДЦН-100000/220	230	11-11	340	102	12,5	0,65
ТРДЦН-160000/220	230	11-11	500	155	12,5	0,6
ТРДНС-40000/330	330	6,3- 6,3 10,5-10,5 6,3- 10,5	180	80	И	0,8
ТРДНС-63000/330	330	6,3- 6,3 10,5-10,5 6,3- 10,5	230	100	11	0,8
ОРЦ-333000/500	525	15,75-15,75 20-20	950	200	11,5	0,3
ОРЦ-417000/500	525/ $\sqrt{3}$	15,75-15,75	1050	210	12,5	0,2
ОРНЦ-533000/500	525/ $\sqrt{3}$	15,75-15,75 24-24	1260	230	13,5	0,15
ОРЦ-417000/750	787/ $\sqrt{3}$	20-20 24-24	800	320	14	0,35
ОРЦ-533000/750	787/ $\sqrt{3}$	15,75-15,75 20-20 24-24	900	350	14	0,3