

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Вологодский государственный университет

Кафедра электрооборудования

**ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ,  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

*Учебно-методическое пособие к практическим занятиям,  
контрольной и самостоятельной работе*

Факультеты: электроэнергетический; заочного и дистанционного обучения

Направление бакалавриата – 13.03.02 (140400.62)

«Электроэнергетика и электротехника»

Направление магистратуры – 13.04.02 (140400.68)

«Электроэнергетика и электротехника»

Вологда

2015

УДК 658.26.004.18

**Электрооборудование источников энергии, электрических сетей и промышленных предприятий:** учебно-методическое пособие к практическим занятиям, контрольной и самостоятельной работе для студентов направлений 13.03.02 (140400.62), 13.04.02 (140400.68). – Вологда: ВоГУ, 2015. – 74 с.

Учебно-методическое пособие предназначено для практических занятий, контрольной и самостоятельной работы по дисциплине «Электрооборудование источников энергии, электрических сетей и промышленных предприятий» для студентов очной и заочной форм обучения по направлениям 13.03.02 (140400.62), 13.04.02 (140400.68).

Утверждено редакционно-издательским советом ВоГУ

Составители: И.Ю. Сергиевская, канд. техн. наук, доцент

Л.Ю. Крепышева ст. преподаватель

Рецензент А.С. Крепышев, мастер КИП ООО «ЦентрСтройКомплекс»

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
РАЗДЕЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ .....	5
1.1 Категории надежности электроприемников .....	5
1.2 Режимы работы электроприемников .....	5
РАЗДЕЛ 2 РАСЧЕТ СИЛОВЫХ НАГРУЗОК.....	6
2.1 Расчет силовой нагрузки трехфазных потребителей .....	6
Пример 1 .....	7
Контрольное задание №1 .....	8
2.2 Расчет силовой нагрузки однофазных потребителей.....	9
Пример 2 .....	10
Контрольное задание №2.....	13
2.3 Расчет силовой нагрузки однофазных электроприемников, работающих в ПКР (на примере сварочного цеха).....	13
Пример 3 .....	14
Контрольное задание №3 .....	17
РАЗДЕЛ 3 РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ .....	19
Пример 4 .....	20
Контрольное задание №4.....	20
РАЗДЕЛ 4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ .....	21
4.1 Метод коэффициента использования .....	21
4.2 Точечный метод расчета .....	22
Пример 5 .....	23
Пример 6.....	23
Контрольное задание №5.....	25
РАЗДЕЛ 5 ПАРАМЕТРЫ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ.....	25
Примеры решения задач .....	28
Пример 7.....	28
Пример 8.....	28
Пример 9.....	29
Пример 10.....	30
Контрольное задание №6.....	31
РАЗДЕЛ 6 ПАРАМЕТРЫ РАБОЧИХ РЕЖИМОВ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ.....	34
Примеры решения задач .....	36
Пример 11 .....	36
Пример 12.....	37
Пример 13.....	38
Пример 14.....	38
Контрольное задание № 7.....	39
РАЗДЕЛ 7 РАСЧЕТ РАБОЧИХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ.....	44
Пример 15.....	45
Пример 16.....	47
Пример 17.....	49
Пример 18.....	50
Контрольное задание № 8.....	53
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	60
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	60

## ВВЕДЕНИЕ

Изучение дисциплины «Электрооборудование источников энергии, электрических сетей и промышленных предприятий» невозможно без решения значительного количества задач. Лучшим способом проверки навыков решения таких задач являются контрольные работы с индивидуальным заданием для каждого студента. Настоящее методическое указание облегчит и ускорит проведение этих контрольных работ.

Контрольная работа № 1 (контрольное задание 1, 2, 3) соответствует теме: «Расчет силовых нагрузок». Для успешного выполнения этой контрольной работы необходимо уметь определять силовую нагрузку трехфазных потребителей; однофазных потребителей; однофазных потребителей, работающих в повторно–кратковременном режиме.

Контрольная работа № 2 (контрольное задание 4) соответствует теме: «Расчет осветительных нагрузок». При выполнении этой контрольной работы необходимо знать метод определения осветительной нагрузки.

Контрольная работа № 3 (контрольное задание 5) соответствует теме: «Проектирование освещения производственного помещения». При выполнении контрольной работы необходимо знать методы проектирования осветительной нагрузки (точечный метод расчета и метод коэффициента использования).

Контрольная работа № 4 (контрольное задание 6) соответствует теме : «Параметры схем замещения элементов системы электроснабжения». Для успешного выполнения контрольной работы необходимо знать схемы замещения элементов системы электроснабжения, уметь рассчитывать параметры схем замещения.

Контрольная работа № 5 (контрольное задание 7) соответствует теме : «Параметры рабочих режимов элементов электрических сетей». При выполнении контрольной работы необходимо знать методику определения потерь мощности, потерь и падения напряжения в элементах системы электроснабжения, уметь рассчитывать потери активной и реактивной мощности в линиях и трансформаторах, продольную и поперечную составляющие потерь напряжения, а также напряжение в начале и в конце участка сети.

Контрольная работа № 6 (контрольное задание 8) соответствует теме: «Расчет рабочих режимов электрических сетей». При выполнении контрольной работы необходимо знать методику расчета режима разомкнутых и замкнутых электрических сетей, уметь рассчитывать потокораспределение мощности в разомкнутой и замкнутой (кольцевой) сети.

В приложении приведены справочные значения коэффициентов расчетной нагрузки, коэффициентов приведения, удельной плотности силовой нагрузки, нормы освещенности, технические характеристики ламп ДРЛ, данные по воздушным и кабельным ЛЭП, трансформаторам и автотрансформаторам и другие данные.

## **РАЗДЕЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

### ***1.1 Категории надежности электроприемников***

В отношении обеспечения надежности электроснабжения электроприемники (ЭП) разделяются на следующие три категории:

Электроприемники I категории - ЭП, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой: опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству; повреждение дорогостоящего основного оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства.

Из их состава выделяется особая группа ЭП, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего основного оборудования.

Электроприемники II категории - ЭП, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

3. Электроприемники III категории - все остальные ЭП, не подходящие под определения I и II категорий.

### ***1.2 Режимы работы электроприемников***

По режимам работы ЭП могут быть подразделены на группы по сходству режимов, т.е. по сходству графиков нагрузки.

Различают три характерные группы ЭП:

1) ЭП, работающие в режиме продолжительной или мало меняющейся нагрузки (ДР). В этом режиме электрические машины и аппараты могут работать длительное время без превышения температуры отдельных частей машины или аппарата выше допустимой.

2) ЭП, работающие в режиме кратковременной (КР) нагрузки. В этом режиме рабочий период машины или аппарата не настолько длителен, чтобы температура отдельных частей машины или аппарата могла достигнуть установившегося значения, а период их остановки таков, что они успевают охладиться до температуры окружающей среды.

3) ЭП, работающие в режиме повторно-кратковременной (ПКР) нагрузки. В этом режиме кратковременные рабочие периоды номинальной нагрузки машины или аппарата чередуются с кратковременными периодами отключения (паузами).

## РАЗДЕЛ 2 РАСЧЕТ СИЛОВЫХ НАГРУЗОК

### 2.1 Расчет силовой нагрузки трехфазных потребителей

#### Порядок расчета

1. Определяем среднесменную активную нагрузку ( $P_{см}$ ) группы потребителей, подключенных к узлу питания напряжением до 1кВ с помощью коэффициента использования из выражения

$$P_{см} = \sum_{i=1}^n k_{и,i} \cdot P_{н,i}, \quad (1)$$

где  $P_{н,i}$  - активная номинальная мощность  $i$  - го ЭП;

$k_{и,i}$  - коэффициент использования активной мощности (приложение 6).

Для потребителей, работающих в повторно-кратковременном режиме

$$P_{н} = P_{п} \cdot \sqrt{ПВ}, \quad (2)$$

где  $P_{п}$  - паспортная мощность, кВт;

ПВ - продолжительность включения, в долях единиц.

2. Определяем эффективное число ЭП ( $n_{эф}$ ) (такое число однородных по режиму работы электроприемников одинаковой мощности, которое обуславливает те же значения расчетной нагрузки, что и группа различных по мощности ЭП):

$$n_{эф} = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_{н,i}}{P_{н,max}}, \quad (3)$$

где  $P_{н,max}$  - номинальная мощность наиболее мощного приемника группы.

В случае, когда  $P_{н,max} / P_{н,min} \leq 3$ , принимают  $n_{эф}$  равным  $n$  - действительному числу приемников электроэнергии. Здесь  $P_{н,min}$  - номинальная мощность наименее мощного ЭП.

3. Определяем расчетный коэффициент  $k_p$  (приложение Е)

4. Определяем расчетную активную нагрузку по выражению:

$$P_p = k_p P_{см}. \quad (4)$$

Для электроприемников, работающих в длительном режиме

$$P_p = P_{см}. \quad (5)$$

5. Определяем расчетную реактивную нагрузку в зависимости от эффективного числа приемников  $n_{эф}$

$$\text{при } n_{\text{эф}} \leq 10 \quad Q_p = 1,1 \cdot P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi_i; \quad (6)$$

$$\text{при } n_{\text{эф}} > 10 \quad Q_p = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi_i. \quad (7)$$

6. Полная расчетная мощность определяется

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (8)$$

**Пример 1.** Рассчитать силовую нагрузку механического цеха:

Таблица 1 – Исходные данные для примера 1

№ п/п	Тип станков	Мощность, P <sub>н</sub> , кВт	Коли-во, n, шт.	k <sub>и</sub>	cosφ
1	Токарные станки	12	5	0,2	0,65
		5	16		
2	Строгальные станки	5	11	0,2	0,65
		9	4		
3	Долбежные станки	2,7	10	0,2	0,65
		5,4	5		
4	Фрезерные станки	6	2	0,2	0,65
		12	4		
5	Сверлильные станки	5	4	0,2	0,65
		10	2		
6	Карусельные станки	30	6	0,2	0,65
7	Точильные станки	11	10	0,2	0,65
8	Шлифовальные станки	26	1	0,2	0,65
		31	5		
9	Вентиляторы	7	5	0,7	0,8
		10	4		
10	Кран-балка: ПВ = 40%	P <sub>пасп</sub> = 10 кВт	1	0,1	0,5
		P <sub>пасп</sub> = 22 кВт;	2		

Решение:

1. По формуле (1) определяем среднесменную мощность для ЭП, работающих в одинаковом режиме и с одинаковым k<sub>и</sub>.

1 группа – токарные, строгальные, долбежные, фрезерные, сверлильные, карусельные, точильные, шлифовальные станки (k<sub>и</sub> = 0,2; cosφ = 0,65; tgφ = 1,17);

2 группа - вентиляторы (k<sub>и</sub> = 0,7; cosφ = 0,8; tgφ = 0,75);

3 группа - кран-балка (k<sub>и</sub> = 0,1; cosφ = 0,5; tgφ = 1,73).

$$1 \text{ гр. } P_{\text{см.1}} = 0,2 (12 \cdot 5 + 5 \cdot 16 + 5 \cdot 11 + 9 \cdot 4 + 2,7 \cdot 10 + 5,4 \cdot 5 + 6 \cdot 2 + 12 \cdot 4 + 5 \cdot 4 + 10 \cdot 2 + 30 \cdot 6 + 11 \cdot 10 + 26 \cdot 1 + 31 \cdot 5) = 160 \text{ кВт.}$$

$$2 \text{ гр. } P_{\text{см.3}} = P_p = 0,7 (7 \cdot 5 + 10 \cdot 4) = 52,5 \text{ кВт.}$$

$$3 \text{ гр. } P_{\text{см.4}} = 0,1 \cdot \sqrt{0,4} (10 \cdot 1 + 22 \cdot 2) = 3,42 \text{ кВт.}$$

2. Определяем эффективное число ЭП по группам (формула (3)) в зависимости от отношения  $P_{\text{н, max}} / P_{\text{н, min}}$ .

$$1 \text{ гр. } n_{\text{эф}} = \frac{2 \cdot 800}{31} = 52 \text{ шт.}$$

2 гр. Т.к.  $P_{\text{см.2}} = P_p$ , то  $n_{\text{эф}}$  не определяем.

3 гр. Т.к.  $P_{\text{н, max}} / P_{\text{н, min}} < 3$ , то  $n_{\text{эф}} = n = 3$  шт.

3. Определяем расчетный коэффициент  $k_p$  (по приложению Е)

$$1 \text{ гр. } n_{\text{эф}} = 52 \text{ шт.}; k_p = 1,0.$$

$$3 \text{ гр. } n_{\text{эф}} = 3 \text{ шт.}; k_p = 4,05.$$

4. По формуле (4) определяем расчетную активную мощность

$$1 \text{ гр. } P_{p1} = 1,0 \cdot 160 = 160 \text{ кВт.}$$

$$3 \text{ гр. } P_{p2} = 3,42 \cdot 4,05 = 13,85 \text{ кВт.}$$

Активная суммарная нагрузка по механическому цеху составляет

$$P_{p \Sigma \text{ мех. цеха}} = 160 + 52,5 + 13,85 = 226,35 \text{ кВт.}$$

5. Определяем расчетную реактивную мощность  $Q_p$  по формуле (6) и (7) в зависимости от  $n_{\text{эф}}$

$$1 \text{ гр. } Q_{p1} = 160 \cdot 1,17 = 187,2 \text{ квар.}$$

$$2 \text{ гр. } Q_{p1} = 1,1 \cdot 52,5 \cdot 0,75 = 43,31 \text{ квар.}$$

$$3 \text{ гр. } Q_{p1} = 1,1 \cdot 3,42 \cdot 1,73 = 6,51 \text{ квар.}$$

Реактивная суммарная нагрузка по механическому цеху составляет

$$Q_{p \Sigma \text{ мех. цеха}} = 187,2 + 43,31 + 6,51 = 237,05 \text{ квар.}$$

6. Определяем полную мощность по формуле (8)

$$S_{p \Sigma \text{ мех. цеха}} = \sqrt{226,35^2 + 237,05^2} = 327,76 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

### Контрольное задание №1

Определить силовую нагрузку в механическом цехе. Исходные данные для расчета приведены в приложении А.

## 2.2 Расчет силовой нагрузки однофазных потребителей

Однофазные электроприемники, равномерно распределенные по фазам, учитываются в расчетах как 3-фазные той же суммарной мощности. При включении до 3-х однофазных электроприемников условная эквивалентная активная и реактивная мощности принимаются равными

$$P_{н,у} = 3 \cdot P_{н,о}; \quad (9)$$

$$q_{н,у} = 3 \cdot q_{н,о}, \quad (10)$$

где  $q_{н,о}$ ,  $P_{н,о}$  - активная и реактивная мощность однофазного приемника.

При включении однофазного ЭП на линейное напряжение он учитывается как эквивалентный приемник с номинальными мощностями

$$P_{н,у} = \sqrt{3} \cdot P_{н,о}; \quad (11)$$

$$q_{н,у} = \sqrt{3} \cdot q_{н,о}. \quad (12)$$

При наличии группы однофазных ЭП, которые распределены по фазам с неравномерностью не выше 15% по отношению к общей мощности трехфазных и однофазных ЭП в группе, они могут быть представлены в расчете как эквивалентная группа трехфазных ЭП с той же суммарной номинальной мощностью.

В случае превышения указанной неравномерности номинальная мощность эквивалентной группы трехфазных электроприемников применяется равной утроенному значению мощности наиболее загруженной фазы. За наиболее загруженную фазу принимают фазу, имеющую наибольшую нагрузку от однофазных приемников.

При смешанном включении однофазных приемников, когда часть из них включена на фазное, а часть на линейное напряжение, общую нагрузку определяют суммированием однофазных нагрузок данной фазы (фаза-ноль) и однофазных нагрузок, включенных на линейное напряжение, приведенных к этой фазе и фазному напряжению с помощью коэффициентов приведения (приложение 8). Например, нагрузки  $P_{см}$  и  $Q_{см}$  фазы А будут определяться по формулам

$$P_{см,А} = K_{и,1} \cdot P_{н,АС} \cdot P_{(АС/А)} + K_{и,2} \cdot P_{н,АВ} \cdot P_{(АВ/А)} + K_{и,3} \cdot P_{н,А-0}, \quad (13)$$

$$Q_{см,А} = K_{и,1} \cdot P_{н,АС} \cdot q_{(АС/А)} + K_{и,2} \cdot P_{н,АВ} \cdot q_{(АВ/А)} + K_{и,3} \cdot P_{н,А-0} \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (14)$$

где  $P_{н, АС}$ ,  $P_{н, АВ}$ ,  $P_{н, А-0}$  - номинальные мощности потребителей, подключенных к фазам АС, АВ, А-0;

$K_{и,1}$ ,  $K_{и,2}$ ,  $K_{и,3}$  - коэффициенты использования этих потребителей;

$P_{(АС/А)}$ ,  $P_{(АВ/А)}$  - коэффициенты приведения, активной нагрузки, подключенной к фазам АС и АВ, к фазе А (Приложение Ж);

$q_{(АС/А)}$ ,  $q_{(АВ/А)}$  - коэффициенты приведения, реактивной нагрузки к фазе А (Приложение Ж).

## Порядок расчета

1. Равномерно распределяем однофазные электроприемники по фазам.
2. Определяем наиболее загруженную фазу по выражениям (13) - (14).
3. Находим условную трехфазную активную и реактивную нагрузки для наиболее загруженной фазы по выражениям

$$P_{см,у} = 3 \cdot P_{см,А}, \quad (15)$$

$$Q_{см,у} = 3 \cdot Q_{см,А}, \quad (16)$$

где  $P_{см,А}$ ,  $Q_{см,А}$  - активная и реактивная мощности наиболее загруженной фазы.

4. Определяем условную активную номинальную нагрузку наиболее загруженной фазы по выражению

$$P_{см,А} = P_{н,АС} \cdot P_{(АС/А)} + P_{н,АВ} \cdot P_{(АВ/А)} + P_{н,А-0}. \quad (17)$$

В термическом отделении кроме однофазных потребителей имеются трехфазные потребители - кран-балка и вентиляторы (порядок расчета см. п. 4.1.1).

5. Определяем средневзвешенный коэффициент использования

$$K_{и} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{и,i} \cdot P_{н,i}}{\sum_{i=1}^n P_{и,i}}. \quad (18)$$

Далее расчет проводим так же, как для трехфазных электроприемников.

### Пример 2. Рассчитать силовую нагрузку термического отделения:

Таблица 2– Исходные данные для примера 2

№ п/п	Наименование потребителей	$U_{ном}$ , В	$P_{н}$ , кВт	п, шт.	$k_{и}$	$\cos\varphi$
1	<b>Электродвигатели сопротивления</b> трехфазные однофазные	380	24	2	0,75	0,95
		380	60	4	0,75	0,95
		220	40	3	0,75	0,95
2	<b>Двухкамерная печь сопротивления</b> однофазная	380	19	5	0,75	0,95
3	<b>Муфельная печь</b> (однофазная)	220	2,2	1	0,75	0,95
4	<b>Камерная печь сопротивления</b>	220	6	2	0,75	0,95
5	<b>Индукционная печь</b> однофазная	380	10	4	0,5	0,95
6	Вентиляторы	380	7	2	0,7	0,8
7	Кран-балка: ПВ = 40%	380	$P_{пасп} = 10$ кВт	2	0,1	0,5

Решение:

1. Распределяем равномерно однофазные ЭП по фазам

Равномерное распределение однофазных ЭП по фазам в зависимости от напряжения (220 В между фазой и N, 380 В между двумя фазами).

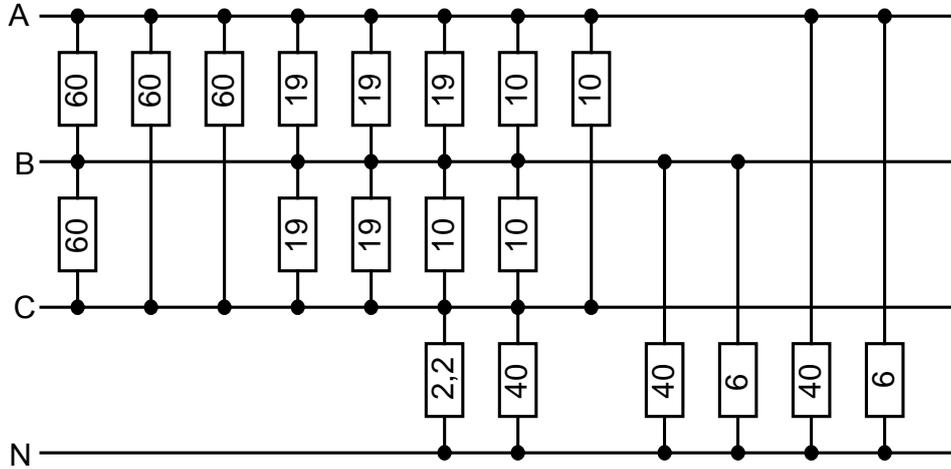


Рисунок 1 – Равномерное распределение однофазных электроприемников по фазам

2. Определяем наиболее загруженную фазу по выражениям (14) - (15).

$$\begin{aligned}
 P_{см,А} &= k_{и} \cdot P_{н АВ} \cdot p_{(АВ/А)} + 3 \cdot k_{и} \cdot P_{н АВ} \cdot p_{(АВ/А)} + k_{и} \cdot P_{н АВ} \cdot p_{(АВ/А)} + \\
 &+ 2 \cdot k_{и} \cdot P_{н АС} \cdot p_{(АС/А)} + k_{и} \cdot P_{н АС} \cdot p_{(АС/А)} + k_{и} \cdot P_{н А-N} + k_{и} \cdot P_{н А-N} = 0,75 \cdot 60 \cdot \\
 &0,57 + 3 \cdot 0,75 \cdot 19 \cdot 0,57 + 0,5 \cdot 10 \cdot 0,57 + 2 \cdot 0,75 \cdot 60 \cdot 0,43 + 0,5 \cdot 10 \cdot 0,43 + \\
 &0,75 (40 + 6) = 128,22 \text{ кВт};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{см,В} &= k_{и} \cdot P_{н АВ} \cdot p_{(АВ/В)} + 3 \cdot k_{и} \cdot P_{н АВ} \cdot p_{(АВ/В)} + k_{и} \cdot P_{н АВ} \cdot p_{(АВ/В)} + \\
 &+ k_{и} \cdot P_{н ВС} \cdot p_{(ВС/В)} + 2 \cdot k_{и} \cdot P_{н ВС} \cdot p_{(ВС/В)} + 2 \cdot k_{и} \cdot P_{н ВС} \cdot p_{(ВС/В)} + k_{и} \cdot P_{н В-N} + \\
 &+ k_{и} \cdot P_{н В-N} = 0,75 \cdot 60 \cdot 0,43 + 3 \cdot 0,75 \cdot 19 \cdot 0,43 + 0,5 \cdot 10 \cdot 0,43 + \\
 &+ 0,75 \cdot 60 \cdot 0,57 + 2 \cdot 0,75 \cdot 19 \cdot 0,57 + \\
 &+ 2 \cdot 0,5 \cdot 10 \cdot 0,57 + 0,75 (40 + 6) = 121,98 \text{ кВт};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{см,С} &= 2 \cdot k_{и} \cdot P_{н АС} \cdot p_{(АС/С)} + k_{и} \cdot P_{н АС} \cdot p_{(АС/С)} + k_{и} \cdot P_{н ВС} \cdot p_{(ВС/С)} + \\
 &+ 2 \cdot k_{и} \cdot P_{н ВС} \cdot p_{(ВС/С)} + 2 \cdot k_{и} \cdot P_{н ВС} \cdot p_{(ВС/С)} + k_{и} \cdot P_{н С-N} + k_{и} \cdot P_{н С-N} = \\
 &= 2 \cdot 0,75 \cdot 60 \cdot 0,57 + 0,5 \cdot 10 \cdot 0,57 + 0,75 \cdot 60 \cdot 0,43 + 2 \cdot 0,75 \cdot 19 \cdot 0,43 + \\
 &+ 2 \cdot 0,5 \cdot 10 \cdot 0,43 + 0,75 (2,2 + 40) = 121,71 \text{ кВт}.
 \end{aligned}$$

Наиболее загруженной является фаза А.

Найдем реактивную нагрузку по наиболее загруженной фазе.

$$\begin{aligned} Q_{см,А} &= k_{и} \cdot P_{н АВ} \cdot q_{(АВ/А)} + 3 \cdot k_{и} \cdot P_{н АВ} \cdot q_{(АВ/А)} + k_{и} \cdot P_{н АВ} \cdot q_{(АВ/А)} + \\ &+ 2 \cdot k_{и} \cdot P_{н АС} \cdot q_{(АС/А)} + k_{и} \cdot P_{н АС} \cdot q_{(АС/А)} + k_{и} \cdot P_{н А-Н} \cdot \operatorname{tg}\varphi + k_{и} \cdot P_{н А-Н} \cdot \operatorname{tg}\varphi \\ &= \\ &= 0,75 \cdot 60 \cdot (-0,17) + 3 \cdot 0,75 \cdot 19 \cdot (-0,17) + 0,5 \cdot 10 \cdot (-0,17) + \\ &+ 2 \cdot 0,75 \cdot 60 \cdot 0,41 + 0,5 \cdot 10 \cdot 0,41 + 0,75 \cdot 0,33 (40 + 6) = 34,57 \text{ квар.} \end{aligned}$$

3. Находим условную трехфазную активную и реактивную нагрузки для наиболее загруженной фазы

$$P_{см,у} = 3 \cdot 128,22 = 384,66 \text{ кВт}, \quad Q_{см,у} = 3 \cdot 34,57 = 103,71 \text{ квар.}$$

4. Определяем  $P_{см}$  для трехфазных ЭП

$$\text{Электродвигатели сопротивления: } P_{см.п} = 0,75 \cdot 24 \cdot 2 = 36 \text{ кВт};$$

$$Q_{см.п} = 36 \cdot 0,33 = 11,88 \text{ квар.}$$

$$\text{Вентиляторы: } P_{см.в} = P_p = 0,7 \cdot 7 \cdot 2 = 9,8 \text{ кВт};$$

$$Q_{см.в} = 9,8 \cdot 0,75 = 7,35 \text{ квар.}$$

$$\text{Кран-балка: } P_{см.к-б} = 0,1 \cdot \sqrt{0,4} \cdot 10 \cdot 2 = 1,26 \text{ кВт};$$

$$Q_{см.к-б} = 1,26 \cdot 1,73 = 2,18 \text{ квар.}$$

$$P_{см\Sigma} = 384,66 + 36 + 9,8 + 1,26 = 431,72 \text{ кВт};$$

$$Q_{см\Sigma} = 103,71 + 11,88 + 7,35 + 2,18 = 125,12 \text{ квар.}$$

5. Определяем условную активную номинальную нагрузку наиболее загруженной фазы

$$\begin{aligned} P_{см,А} &= P_{н АВ} \cdot p_{(АВ/А)} + 3 \cdot P_{н АВ} \cdot p_{(АВ/А)} + P_{н АВ} \cdot p_{(АВ/А)} + 2 \cdot P_{н АС} \cdot p_{(АС/А)} + \\ &+ P_{н АС} \cdot p_{(АС/А)} + P_{н А-Н} + P_{н А-Н} = 60 \cdot 0,57 + 3 \cdot 19 \cdot 0,57 + 10 \cdot 0,57 + \\ &+ 2 \cdot 60 \cdot 0,43 + 10 \cdot 0,43 + 40 + 6 = 174,29 \text{ кВт.} \end{aligned}$$

$$P_{н,у} = 3 \cdot 174,29 = 522,87 \text{ кВт.}$$

6. Определяем суммарную активную номинальную мощность

$$P_{H\Sigma} = 522,87 + 2 \cdot 24 + 2 \cdot 7 + \sqrt{0,4} \cdot 2 \cdot 10 = 597,52 \text{ кВт.}$$

7. Определяем средневзвешенный коэффициент использования

$$K_{И} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{И,i} \cdot P_{H,i}}{\sum_{i=1}^n P_{H,i}} = \frac{431,72}{597,52} = 0,72.$$

8. Определяем эффективное число ЭП и расчетный коэффициент

$$n_{\text{эф}} = \frac{2 \cdot 597,52}{60} = 20 \text{ шт.}; k_p = 1.$$

9. Определяем  $P_p$ ,  $Q_p$ ,  $S_p$ .

$$P_{p \text{ терм. отдел.}} = 1,0 \cdot 431,72 = 431,72 \text{ кВт};$$

$$Q_{p \text{ терм. отдел.}} = 125,12 \cdot 1,0 = 125,12 \text{ квар};$$

$$S_{p \text{ терм. отдел.}} = \sqrt{431,72^2 + 125,12^2} = 449,49 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

## Контрольное задание №2

Определить силовую нагрузку в термическом отделении. Исходные данные для расчета приведены в приложении Б.

### *2.3 Расчет силовой нагрузки однофазных электроприемников, работающих в ПКР (на примере сварочного цеха)*

Однофазные сварочные машины и установки характеризуются малыми временами импульсов и циклов сварки. При выборе сетей по нагреву в качестве расчетной нагрузки принимается эффективная  $S_{\text{эф}}$  (средняя квадратичная) нагрузка. Основными показателями режимов работы электросварочных машин, необходимыми для расчета электрических нагрузок, являются коэффициент загрузки  $K_z$  и фактическая продолжительность включения  $PВ_{\text{ф}}$ , являющиеся справочными величинами (приложение И).

В первую очередь сварочные установки распределяют равномерно по фазам. Если  $PВ_{\text{ф}}$  и  $K_z$  у установок отличается незначительно, то распределение по парам фаз проводят по принципу равенства паспортных мощностей

$$\sum_1^{n_{AB}} S_{\text{пасп}} \approx \sum_1^{n_{BC}} S_{\text{пасп}} \approx \sum_1^{n_{AC}} S_{\text{пасп}}, \quad (19)$$

где  $S_{\text{пасп}}$  - паспортная мощность установок, подключенных на линейное напряжение;

$n_{AB}$ ,  $n_{BC}$ ,  $n_{AC}$  - количество установок, подключенных соответственно к фазам А и В, В и С, А и С.

При резко отличных  $ПВ_{\phi}$  и  $K_3$  распределение установок по фазам следует производить по принципу равенства эффективных мощностей

$$\sum_1^{n_{AB}} S_{\text{эф}} \approx \sum_1^{n_{BC}} S_{\text{эф}} \approx \sum_1^{n_{AC}} S_{\text{эф}}. \quad (20)$$

При небалансе мощности не более 15 % нагрузка наиболее загруженной фазы определяется по формуле

$$S_{\text{эф}}^{(3)} = \sqrt{\left( \sum_{i=1}^n S_{\text{ср},i} \right)^2 + \sum_{i=1}^n \left( S_{\text{эф},i}^2 - S_{\text{ср},i}^2 \right)}, \quad (21)$$

где  $S_{\text{ср},i}$  - средняя мощность одной сварочной машины;

$S_{\text{эф}}$  - эффективная мощность одной сварочной машины;

$n$  - число машин, подключенных к данной паре фаз.

При небалансе мощностей по фазам более 15%  $S_{\text{эф}}^{(3)}$  определяется по формуле

$$S_{\text{эф}}^{(3)} = \sqrt{3} \sqrt{S_{\text{эф},AB}^2 + S_{\text{эф},AC}^2 + S_{\text{эф},AB} \cdot S_{\text{эф},AC}}, \quad (22)$$

где  $S_{\text{эф},AB}$ ,  $S_{\text{эф},AC}$  - эффективная нагрузка наиболее загруженных пар фаз АВ и АС.

Средняя и эффективная мощности сварочных машин определяются:

$$S_{\text{ср}} = K_3 \cdot ПВ_{\phi} \cdot S_{\text{пасп}}; \quad (23)$$

$$S_{\text{эф}} = K_3 \cdot \sqrt{ПВ_{\phi}} \cdot S_{\text{пасп}}. \quad (24)$$

**Пример 3.** Определить расчетную нагрузку сварочного участка

Таблица 3–Исходные данные для примера 3

Тип машин	$U_n, В$	$S_{\text{пасп}}, кВ \cdot А$	$N, шт.$	$K_3$	$ПВ_{\phi},$ от.ед.
<b>1</b>	2	3	4	5	6

<b>1. Точечные машины:</b>					
а) МТ-810; ПВ = 50 %	220	20	3	2,0	0,2
б) МТ-810; ПВ = 50 %	380	20	2	2,0	0,2
в) МТ-1214ПВ = 20 %	220	50	4	0,95	0,05

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6
д) МТ-1220; ПВ = 32 %	380	44	4	2,0	0,2
е) МТ-1614; ПВ = 32 %	220	90	5	2,0	0,2
<b>2. Роликовые машины:</b>					
а) МР-2507; ПВ = 20 %	380	131	3	0,75	0,56
б) МР-4002; ПВ = 20 %	380	310	1	0,75	0,56
<b>3. Стыковые машины:</b>					
а) МС-2008; ПВ=12,5 %	380	150	4	0,5	0,2
б) МС-1602; ПВ=12,5 %	220	96,5	2	0,5	0,2
г) МСО-0801; ПВ = 20 %	380	310	3	0,5	0,2
<b>4. Шовные машины:</b>					
а) МШ-1601; ПВ = 20 %	380	75	5	0,75	0,5
б) МШ-1601; ПВ = 50 %	220	75	3	0,75	0,5
в) МШ-1001; ПВ = 50 %	380	27	2	0,75	0,5
<b>5. Сварочные трансформаторы:</b>					
а) ТД-502У2; ПВ = 60 %	220	26,6	4	0,6	0,5
(трехфазные)					
ТД-500; ПВ = 60 %	380	32	5	0,6	0,5
ТДР-1601; ПВ = 25 %	380	130	2	0,6	0,5

Решение:

1. Определяем среднюю и эффективную мощности по (23), (24) и заносим в таблицу 4.

Таблица 4 – Исходные и расчетные данные

Тип машин	U <sub>н</sub> , В	S <sub>пасп</sub> , кВ·А	N, шт.	K <sub>з</sub>	ПВ <sub>ф</sub> , от.ед.	S <sub>ср</sub> , кВ·А	S <sub>эф</sub> , кВ·А
<b>1. Точечные машины:</b>							
а) МТ-810; ПВ = 50 %	220	20	3	2,0	0,2	8	17,9
б) МТ-810; ПВ = 50 %	380	20	2	2,0	0,2	8	17,9
в) МТ-1214ПВ = 20 %	220	50	4	0,95	0,05	2,4	10,6
д) МТ-1220; ПВ = 32 %	380	44	4	2,0	0,2	17,6	39,4
е) МТ-1614; ПВ = 32 %	220	90	5	2,0	0,2	36	80,5
<b>2. Роликовые машины:</b>							
а) МР-2507; ПВ = 20 %	380	131	3	0,75	0,56	55	73,5
б) МР-4002; ПВ = 20 %	380	310	1	0,75	0,56	130,2	174
<b>3. Стыковые машины:</b>							
а) МС-2008; ПВ=12,5 %	380	150	4	0,5	0,2	15	33,5

б) МС-1602; ПВ=12,5 %	220	96,5	2	0,5	0,2	9,7	21,6
г) МСО-0801; ПВ = 20 %	380	310	3	0,5	0,2	31	69,3
<b>4. Шовные машины:</b>							
а) МШ-1601; ПВ = 20 %	380	75	5	0,75	0,5	28,1	39,8

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8
б) МШ-1601; ПВ = 50 %	220	75	3	0,75	0,5	28,1	39,8
в) МШ-1001; ПВ = 50 %	380	27	2	0,75	0,5	10,1	14,3
<b>5. Сварочные трансформаторы:</b>							
а) ТД-502У2; ПВ = 60 %	220	26,6	4	0,6	0,5	8	11,3
(трехфазные)							
ТД-500; ПВ = 60 %	380	32	5	0,6	0,5	9,6	13,6
ТДР-1601; ПВ = 25 %	380	130	2	0,6	0,5	39	55,2

2. Равномерно распределяем сварочные машины по фазам. Т.к.  $k_3$  и  $PВ_{\phi}$  сильно отличаются друг от друга, то оценку небаланса нагрузок будем производить по  $S_{\text{эф}}$ .

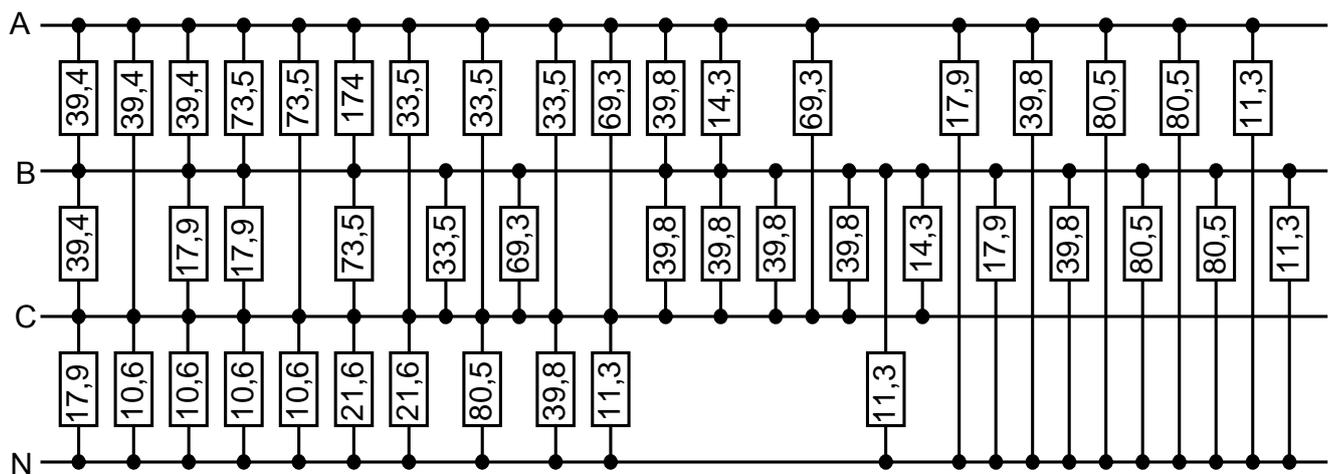


Рисунок 2 – Равномерное распределение сварочных аппаратов по фазам

3. В соответствии с рисунком имеем

$$\sum_1^{n_{AB}} S_{\text{эф}} = 39,4 \cdot 2 + 73,5 + 174 + 39,8 + 14,3 = 380,4 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

$$\sum_1^{n_{AC}} S_{\text{эф}} = 39,4 + 2 \cdot 17,9 + 73,5 + 33,5 + 69,3 + 4 \cdot 39,8 + 14,3 = 425 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

$$\sum_1^{n_{BC}} S_{\text{эф}} = 39,4 + 73,5 + 3 \cdot 33,5 + 69,3 \cdot 2 = 352 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

4. Так как небаланс нагрузки более 15 %, то  $S_{\text{эф}}^{(3)}$  определяем по формуле (22)

$$S_{\text{эф}}^{(3)} = \sqrt{3} \sqrt{380,4^2 + 425^2 + 380,4 \cdot 425} = 1208,7 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

5. Кроме нагрузок, подключенных на напряжение 380 В, есть трехфазная нагрузка и нагрузка, подключенная на напряжение 220 В

В соответствии с рисунком имеем

$$\sum_1^{n_{\text{АН}}} S_{\text{эф}} = 17,9 + 39,8 + 2 \cdot 80,5 + 11,3 = 230 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

$$\sum_1^{n_{\text{ВН}}} S_{\text{эф}} = 2 \cdot 11,3 + 17,9 + 39,8 + 2 \cdot 80,5 = 241,3 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

$$\sum_1^{n_{\text{СН}}} S_{\text{эф}} = 17,9 + 4 \cdot 10,6 + 2 \cdot 21,6 + 80,5 + 39,8 + 11,3 = 235,1 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

6. Определяем условную трехфазную нагрузку

$$S_{\text{эф.у}}^{(3)} = 3 \cdot S_{\text{эф В-N}} = 3 \cdot 241,3 = 723,9 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

7. Суммарная расчетная нагрузка сварочного участка с учетом трехфазных сварочных трансформаторов

$$\begin{aligned} S_{\text{эф.}\Sigma} &= S_{\text{эф.}}^{(3)} + S_{\text{эф.у}}^{(3)} + S_{\text{эф трехф.}} = \\ &= 1208,7 + 723,9 + 5 \cdot 13,6 + 2 \cdot 55,2 = 2111 \text{ кВ} \cdot \text{А}. \end{aligned}$$

### Контрольное задание №3

Определить силовую нагрузку в сварочном цехе. Исходные данные для расчета приведены в приложении В.



### РАЗДЕЛ 3 РАСЧЕТ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

Расчет осветительных нагрузок следует выполнять методом удельных мощностей.

В первую очередь необходимо установить разряд зрительных работ по отраслевым нормам или по СН и П 23-05-95, которые приводятся в справочниках, затем выбирают источник света и тип источника света, тип светильника.

Установленная мощность источника света, в соответствии с методом удельных мощностей, определяется по формуле

$$P_{\text{уст}} = p_{\text{уд}} \cdot F, \quad (25)$$

где  $p_{\text{уд}}$  - удельная мощность осветительных установок ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ );

$F$  - площадь освещаемого помещения цеха, участка ( $\text{м}^2$ ).

$$F = \frac{S_p}{\sigma}, \quad (26)$$

где  $S_p$  - полная расчетная нагрузка;

$\sigma$  - удельная плотность силовой нагрузки на  $1 \text{ м}^2$  площади промышленного здания (приложение К).

Расчетная активная нагрузка  $P_{p,o}$  осветительных установок определяется по формуле

$$P_{p,o} = P_{\text{уст}} \cdot K_c \cdot K_{\text{ПРА}}, \quad (27)$$

где  $K_c$  - коэффициент спроса:

$K_c = 1$  - для групповой сети и всех звеньев сети аварийного освещения, для мелких производственных зданий, торговых помещений, наружного освещения;

$K_c = 0,95$  - производственных зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов;

$K_c = 0,9$  - для библиотек, административных зданий и предприятий общественного питания;

$K_c = 0,8$  - для производственных зданий, состоящих из большого числа отдельных помещений;

$K_c = 0,6$  - для складских зданий и электростанций, состоящих из большого числа отдельных помещений;

$K_{\text{ПРА}}$  - коэффициент, учитывающий потери мощности в пускорегулирующей аппаратуре:

$K_{\text{ПРА}} = 1,1$  - для ламп типов ДРЛ и ДРИ;

$K_{\text{ПРА}} = 1,2 \dots 1,35$  - для люминесцентных ламп включения.

Расчетная реактивная нагрузка осветительных установок определяется по формуле:

$$Q_{p,o} = P_{p,o} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (28)$$

где  $\operatorname{tg} \varphi$  соответствует  $\cos \varphi$  осветительных установок ( $\cos \varphi$  ЛЛ = 0,92 ... 0,95,  $\cos \varphi$  ДРЛ = 0,5 ... 0,65).

**Пример 4.** Определить осветительную нагрузку механического цеха

Дано:  $S_p = 328$  кв·А;  $p_{уд} = 14,1$  Вт/м<sup>2</sup>. Освещение выполнено лампами ДРЛ.

Решение:

1. Определяем площадь помещения по формуле (26)

$$F_{\text{пом.}} = \frac{328}{0,25} = 1312 \text{ м}^2.$$

2. Определяем  $P_{\text{уст}}$

$$P_{\text{уст.}} = 14,1 \cdot 1312 = 18,5 \text{ кВт.}$$

3. Определяем  $P_{p, \text{осв.}}$ ,  $Q_{p, \text{осв.}}$

$$P_{p, \text{осв.}} = 0,8 \cdot 1,1 \cdot 18,5 = 16,28 \text{ кВт};$$

$$Q_{p, \text{осв.}} = 16,28 \cdot 1,33 = 21,65 \text{ квар.}$$

$$S_{p, \text{осв.}} = \sqrt{16,28^2 + 21,65^2} = 27,09 \text{ кв·А.}$$

#### Контрольное задание №4

Определить осветительную нагрузку. Исходные данные для расчета приведены в приложении Д.

## РАЗДЕЛ 4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ

### 4.1 Метод коэффициента использования

Суть метода состоит в том, что определяется световой поток (расчетный) для выбранного источника света. Для характеристики использования светового потока вводится понятие коэффициента использования  $\eta$ .

#### Порядок расчета

1. Определяем коэффициенты отражения  $\rho_{\text{п}}$ ,  $\rho_{\text{ст}}$ ,  $\rho_{\text{р}}$  (см. таблицу 5).

2. Определяем индекс помещения:

$$i = \frac{F}{h(A+B)}, \quad (29)$$

где  $F$  - площадь помещения;

$h$  - расчетная высота;

$A, B$  - длина и ширина помещения.

3. По индексу помещения находим коэффициент использования  $\eta$  (Приложение Н).

4. Определяем световой поток по выражению

$$\Phi_{\text{р}} = \frac{E_{\text{н}} \cdot F \cdot K_{\text{зап}} \cdot Z}{N \cdot \eta}, \quad (30)$$

где  $E_{\text{н}}$  - нормируемая освещенность;

$K_{\text{зап}}$  - коэффициент запаса;

$Z$  - коэффициент минимальной освещенности ( $Z = 1,1$  для ЛЛ;  $Z = 1,15$  для ЛН и ДРЛ);

$N$  - число светильников.

По расчетному значению  $\Phi_{\text{р}}$  выбирается стандартная лампа так, чтобы ее поток отличался от номинального значения  $\Phi_{\text{н}}$  на  $-10 \div +20\%$ . При невозможности выбора источника света с таким приближением корректируется число светильников.

Таблица 5 – Коэффициенты отражения поверхностей

Характер отражающей поверхности	Коэффициент отражения, %
Побеленный потолок, побеленные стены с окнами, закрытыми белыми шторами	70
Бетонный потолок в грязных помещениях; бетонные стены с окнами	30
Стены и потолки с большим количеством пыли; сплошное остекление без штор; красный кирпич неоштукатуренный	10

## 4.2 Точечный метод расчета

Точечный метод расчета служит для расчета освещения как угодно расположенных поверхностей и при любом распределении источников света.

Создаваемая от каждого светильника освещенность называется *условной* и обозначается  $e$ . Освещенность  $e$ , зависит от светораспределения светильников и геометрических размеров  $d$  и  $h$  ( $d$  - расстояние от проекции светильника на расчетную поверхность до контрольной точки, определяется обмером по масштабному плану). Характерные контрольные точки (точки, для которых ведется расчет или в которых проверяется освещенность) следует принимать такие, где освещенность создает в контрольной точке условную освещенность  $\sum e$ . В качестве контрольных выбираются те точки освещаемой плоскости, в которых  $\sum e$  имеет наименьшее значение.

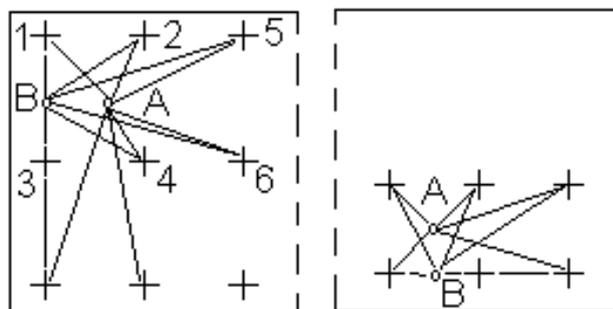


Рисунок 3 – Выбор характерных контрольных точек

следует принимать такие, где освещенность создает в контрольной точке условную освещенность  $\sum e$ . В качестве контрольных выбираются те точки освещаемой плоскости, в которых  $\sum e$  имеет наименьшее значение.

### Порядок расчета

1. В масштабе чертим план цеха, наносим светильники с соблюдением всех размеров.
2. Выбираем контрольные точки (не менее двух).
3. Определяем расстояние  $d$  обмером по масштабному плану (значения заносим в таблицу 5).
4. Находим значение условной освещенности  $e$  (по пространственным изолюксам, из Приложения М) в зависимости от расчетной высоты  $h$  и расстояния  $d$ , и заносим значения в таблицу 6.

Таблица 6– Определение условной освещенности

Точка	Номера светильников	$d$ , м	$e$ , лк	$n \cdot e$ , лк
А				
				$\sum n \cdot e$ , лк
Б				
				$\sum n \cdot e$ , лк

5. Определяем контрольную точку, в которой наименьшая освещенность. Для нее находим фактическую освещенность

$$E_p = \frac{\Phi \cdot \mu \cdot \sum e}{1000 \cdot k_{зап}}, \quad (31)$$

где  $\mu = 1,1 \div 1,2$  - коэффициент, учитывающий действия наиболее удаленных источников света и отраженную составляющую освещенность.

6. Сравниваем полученное значение  $E_p$  с нормируемой освещенностью  $E_n$  (см. расчет методом коэффициента использования). Нормируемая освещенность может отличаться от расчетной на  $-10 \dots +20\%$ . При несовпадении этих значений с соответствующим допуском корректируется расположение контрольных точек.

**Пример 5.** Спроектировать освещение механического цеха размером  $68 \times 48 \times 10$  м;  $h_p = 0,8$  м;  $h_c = 1,2$  м, которое выполнено лампами типа ДРЛ в светильниках РСП 05/Г03. Количество ламп – 170 шт. Нормируемая освещенность  $E_n = 300$  лк, коэффициент запаса  $k_{зап} = 1,5$ . Расстояние между светильниками по длине - 4 м, по ширине - 5 м (расстояние от стены до светильника по длине - 2 м, по ширине – 1,5 м).

Решение.

1. Определяем коэффициенты отражения от потолка, стен и рабочей поверхности по таблице 5

$$\rho_{п} = 0,3; \rho_{с} = 0,3; \rho_{р} = 0,1.$$

2. Определяем индекс помещения по формуле (29)

$$i = \frac{68 \cdot 48}{8 \cdot (68 + 48)} = 3,5,$$

где  $h = H - h_p - h_c = 10 - 0,8 - 1,2 = 8$  м.

3. По Приложению Н для  $i = 3,5$  и коэффициентов  $\rho_{п} = 0,3; \rho_{с} = 0,3; \rho_{р} = 0,1$  определяем коэффициент использования  $\eta = 0,74$ .

4. Определяем световой поток по формуле (30)

$$\Phi_p = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 68 \cdot 48 \cdot 1,15}{170 \cdot 0,74} = 13427 \text{ лм.}$$

По значению  $\Phi_p$  в Приложение Л подбираем лампу типа ДРЛ мощностью 250 Вт со световым потоком  $\Phi_{ном} = 13200$  лм.  $\Phi_p > \Phi_{ном}$  на 1,7 %.

**Пример 6.** Проверить решение предыдущей задачи точечным методом.

1. В масштабе чертим план цеха, наносим светильники с соблюдением всех размеров (рис.4).

2. Выбираем контрольные точки А и Б.

3. Определяем расстояние  $d$  обмером по масштабному плану (значения заносим в таблицу 7).

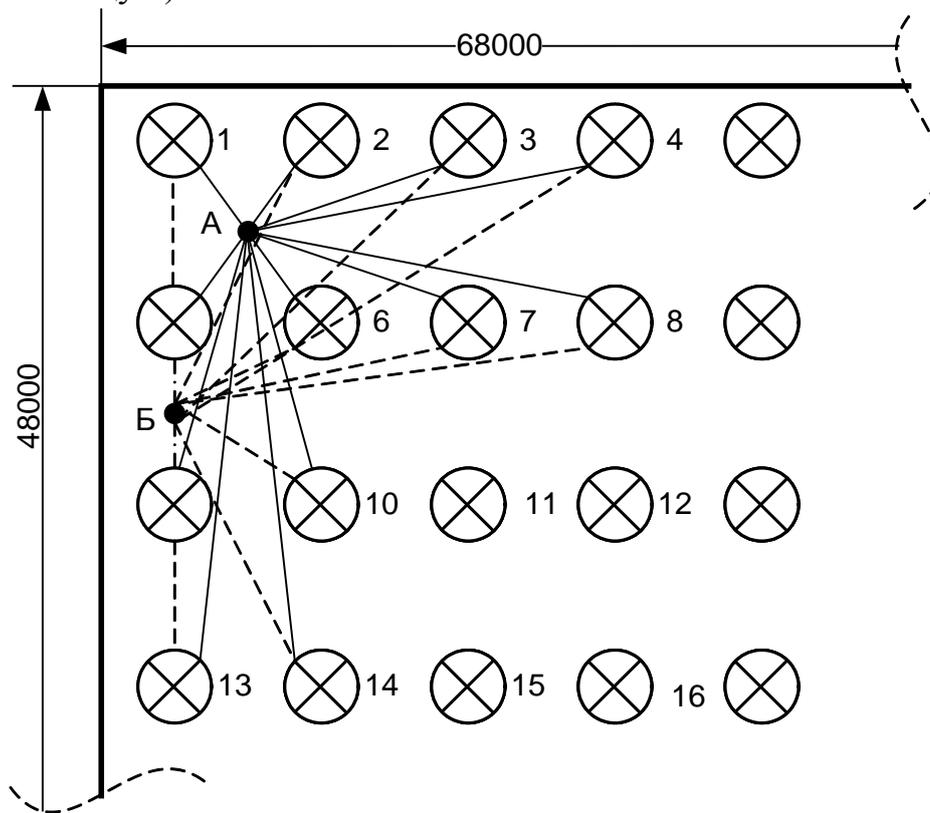


Рисунок 4 – План расположения светильников для примера 6

4. Находим значение условной освещенности  $e$  (по пространственным изолюксам, из Приложения М) при расчетной высоте  $h = 8$  м и расстояний  $d$ , и заносим значения в таблицу 7.

Таблица 7– Определение условной освещенности

Точка	Номера светильников	$d$ , м	$e$ , лк	$n \cdot e$ , лк
А	1, 2, 5, 6	3	7	28
	3, 7	6,5	1,5	3
	4, 8	10,3	0,2	0,4
	9, 10	7,8	0,6	1,2
	13, 14	12,6	0,1	0,2
				$\Sigma n \cdot e = 32,8$ лк
Б	5, 9	2,5	8,5	17
	1, 13	7,5	0,7	1,4
	2, 14	8,5	0,45	0,9
	3	11	0,15	0,15
	4	14	0	0
	6, 10	4,7	3,5	7
	7	8,2	0,5	0,5
	8	12,2	0,1	0,1
				$\Sigma n \cdot e = 27,05$ лк

5. В точке Б освещенность наименьшая, поэтому для нее определяем фактическую освещенность

$$E_p = \frac{13200 \cdot 1,1 \cdot 27,05}{1000 \cdot 1,5} = 262 \text{ лк.}$$

6. Полученное значение  $E_p < E_n$  на 12,6 %, что соответствует норме.

### Контрольное задание №5

1. Спроектировать освещение цеха, которое выполнено лампами типа ДРЛ в светильниках РСП 05/Г03. Высота подвеса светильников  $h_c = 1,2$  м; высота рабочей поверхности  $h_p = 0,8$  м. Исходные данные для расчета приведены в приложении Г.

2. Проверить решение предыдущей задачи точечным методом.

## РАЗДЕЛ 5 ПАРАМЕТРЫ СХЕМ ЗАМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

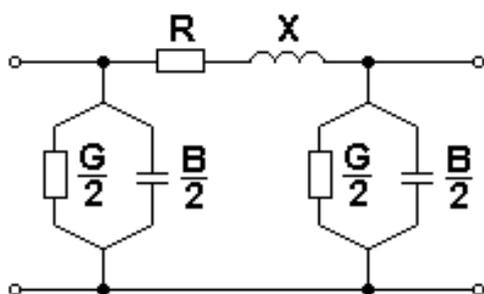


Рисунок 5 – Схема замещения ЛЭП

Схема замещения линии электропередач (ЛЭП) представлена на рисунке 5.

Активное сопротивление воздушной и кабельной ЛЭП (Ом) определяется по выражению:

$$R_{Л} = r_0 \cdot \ell, \quad (32)$$

где  $r_0$  – погонное активное сопротивление воздушной ЛЭП, Ом/км;  $\ell$  – длина линии, км.

Индуктивное сопротивление ЛЭП (Ом):

$$X_{Л} = x_0 \cdot \ell, \quad (33)$$

где  $x_0$  – погонное индуктивное сопротивление воздушной ЛЭП, Ом/км.

Активная проводимость ЛЭП (См):

$$G_{Л} = g_0 \cdot \ell, \quad (34)$$

где  $g_0$  – погонная активная проводимость ЛЭП, Ом/км.

Емкостная проводимость ЛЭП (См):

$$B_{Л} = b_0 \cdot \ell, \quad (35)$$

где  $b_0$  – погонная индуктивная проводимость ЛЭП, Ом/км.

Наличие емкостной проводимости в ЛЭП приводит к образованию зарядных токов, а следовательно, и реактивной мощности, генерируемой линией, которая определяется по выражению

$$Q_c = U_{\text{НОМ}}^2 \cdot b_0 \cdot l, \quad (36)$$

где  $U_{\text{НОМ}}$  – номинальное напряжение, кВ.

На рис. 6 представлена схема замещения двухобмоточного трансформатора.

Активное сопротивление двухобмоточного трансформатора (Ом) определяется на основании каталожных данных:

$$R_{\text{Тр}} = \frac{\Delta P_{\text{К}} \cdot U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.тр}}^2} \cdot 10^3, \quad (37)$$

где  $\Delta P_{\text{К}}$  - потери активной мощности в режиме короткого замыкания (КЗ), кВт;  
 $U_{\text{НОМ}}$  - номинальное напряжение, кВ;  
 $S_{\text{НОМ.тр}}$  - номинальная мощность трансформатора, кВ·А.

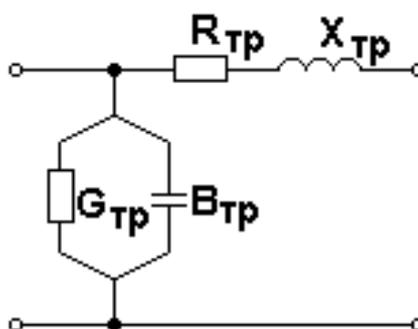


Рисунок 6 – Схема замещения двухобмоточного трансформатора

Реактивное (индуктивное) сопротивление трансформатора определяется по формуле:

$$X_{\text{Тр}} = \frac{u_{\text{К}}}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.тр}}} \cdot 10^3, \quad (38)$$

где  $u_{\text{К}}$  - напряжение КЗ трансформатора, %.

Активная проводимость (См):

$$G_{\text{Тр}} = \frac{\Delta P_{\text{Х}}}{U_{\text{НОМ.тр}}^2} \cdot 10^{-3}, \quad (39)$$

где  $\Delta P_{\text{Х}}$  – потери активной мощности в режиме холостого хода (ХХ), кВт.

Реактивная проводимость трансформатора (См):

$$B_{\text{Тр}} = \frac{\Delta Q_{\text{Х}}}{U_{\text{НОМ.тр}}^2} \cdot 10^{-3}, \quad (40)$$

где  $\Delta Q_{\text{Х}}$  - потери реактивной мощности в режиме ХХ, квар:

$$\Delta Q_{\text{Х}} = \frac{I_{\text{Х}}}{100} \cdot S_{\text{НОМ.тр}}, \quad (41)$$

где  $I_{\text{Х}}$  - ток холостого хода, отнесенный к номинальному току, %.

Схема замещения двухобмоточного трансформатора с расщепленной обмоткой низшего напряжения, трехобмоточного трансформатора и автотрансформатора приведена на рисунке 7.

Общее активное сопротивление обмоток двухобмоточного трансформатора с расщепленной обмоткой низшего напряжения, трехобмоточного трансформатора и автотрансформатора определяется по выражению (37), а общее индуктивное – по (38).

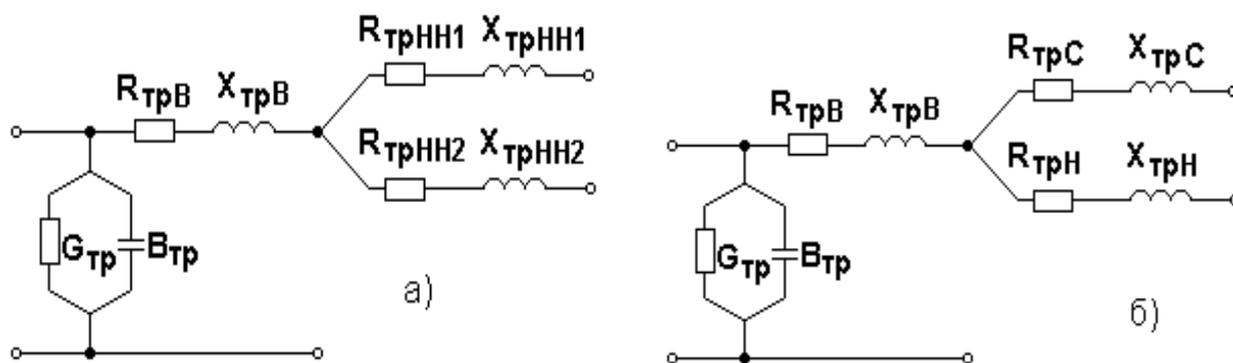


Рисунок 7 – Схема замещения трансформатора:  
 а) двухобмоточного с расщепленной обмоткой низшего напряжения;  
 б) трехобмоточного и автотрансформатора

Индуктивные сопротивления лучей звезды в схеме замещения трансформатора с расщепленной обмоткой низшего напряжения составляют

$$\begin{aligned}
 x_B &= 0,125 \cdot \frac{u_K}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.тр}}} \cdot 10^3; \\
 x_{H1} &= x_{H2} = 1,75 \cdot \frac{u_K}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.тр}}} \cdot 10^3
 \end{aligned}
 \tag{42}$$

Индуктивное сопротивление трехобмоточного трансформатора и автотрансформатора определяется по следующим выражениям:

$$\begin{aligned}
 x_B &= \frac{0,5 \cdot (u_{KBC} + u_{BH} - u_{CH})}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.тр}}} \cdot 10^3; \\
 x_C &= \frac{0,5 \cdot (u_{KBC} + u_{CH} - u_{BH})}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.тр}}} \cdot 10^3; \\
 x_H &= \frac{0,5 \cdot (u_{KBH} + u_{CH} - u_{BC})}{100} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.тр}}} \cdot 10^3.
 \end{aligned}
 \tag{43}$$

Индуктивное сопротивление обмотки СН благодаря взаимному влиянию соседних обмоток обычно близко к нулю, либо имеет небольшое отрицательное значение, соответствующее емкостному сопротивлению и принимаемое при расчетах равным нулю.

Проводимости двухобмоточного трансформатора с расщепленной обмоткой низшего напряжения, трехобмоточного трансформатора и автотрансформатора определяются по выражениям (39 - 41).

### Примеры решения задач

#### Пример 7.

Определить параметры схемы замещения ЛЭП напряжением 110 кВ, выполненной проводом АС-95 протяженностью 55 км. Подвеска проводов горизонтальная.

Решение:

По таблице Приложения Р определяем каталожные данные ЛЭП:

$$r_0 = 0,306 \text{ Ом/км}; x_0 = 0,434 \text{ Ом/км}; b_0 = 0,0261 \cdot 10^{-4} \text{ См/км.}$$

1. Активное сопротивление ЛЭП определяем по формуле (32):

$$R_{\text{Л}} = 0,306 \cdot 55 = 16,83 \text{ Ом.}$$

2. Индуктивное сопротивление ЛЭП определяем по формуле (33):

$$X_{\text{Л}} = 0,434 \cdot 55 = 23,87 \text{ Ом.}$$

3. Активную проводимость определяем по формуле (34):

$$G_{\text{Л}} = 5,79 \cdot 10^{-6} \cdot 55 = 318,45 \cdot 10^{-6} \text{ См.}$$

4. Реактивную проводимость определяем по формуле (35):

$$B_{\text{Л}} = 2,61 \cdot 10^{-6} \cdot 55 = 143,55 \cdot 10^{-6} \text{ См}$$

5. Реактивную мощность, генерируемую линией определяем по формуле (36):

$$Q_c = 110^2 \cdot 143,55 \cdot 10^{-3} = 1,74 \text{ Мвар.}$$

#### Пример 8.

Определить параметры схемы замещения трехобмоточного трансформатора типа ТДТН -16000/110, отнесенные к высшему напряжению трансформатора.

Решение:

По таблице Приложения Ч определяем каталожные данные трансформатора:

$$S_{\text{ном.тр.}} = 16000 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

$$U_{\text{ном.В}} = 110 \text{ кВ};$$

$$u_{\text{кВ-С}} = 10,5 \% ; u_{\text{кВ-Н}} = 17 \% ; u_{\text{кС-Н}} = 6 \% ;$$

$$\Delta P_{\text{к}} = 100 \text{ кВт}; I_{\text{х}} = 1,0 \% ; \Delta P_{\text{х}} = 23 \text{ кВт}.$$

1. Определяем общее активное сопротивление трансформатора по выражению (37)

$$R_{\text{общ.тр}} = \frac{100 \cdot 110^2}{16000^2} \cdot 10^3 = 4,73 \text{ Ом}.$$

2. Определяем индуктивные сопротивления по выражениям (43)

$$x_{\text{В}} = \frac{0,5 \cdot (10,5 + 17 - 6)}{100} \cdot \frac{110^2}{16000} \cdot 10^3 = 81,3 \text{ Ом};$$

$$x_{\text{С}} = \frac{0,5 \cdot (10,5 + 6 - 17)}{100} \cdot \frac{110^2}{16000} \cdot 10^3 = 0;$$

$$x_{\text{Н}} = \frac{0,5 \cdot (17 + 6 - 10,5)}{100} \cdot \frac{110^2}{16000} \cdot 10^3 = 43,7 \text{ Ом}.$$

3. Активная проводимость по (39)

$$G_{\text{тр}} = \frac{23}{110^2} \cdot 10^{-3} = 1,9 \cdot 10^{-6} \text{ См}.$$

4. Реактивная проводимость (41)

$$B_{\text{тр}} = \frac{1,0 \cdot 16000}{100 \cdot 110^2} \cdot 10^{-3} = 13,2 \cdot 10^{-6} \text{ См}.$$

### Пример 9.

При какой длине  $\ell$  воздушной ЛЭП-220 кВ, выполненной проводами АС-400, ее индуктивное сопротивление равно индуктивному сопротивлению трансформатора ТРДЦН-160000/220, работающего по схеме двухобмоточного трансформатора?

Решение:

По таблице Приложения Ш определяем каталожные данные трансформатора, которые необходимы для расчетов:

$$S_{\text{ном.тр.}} = 160000 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

$$U_{\text{ном}} = 220 \text{ кВ};$$

$$u_k = 12 \text{ \%}.$$

По таблице Приложения Р определяем каталожные данные воздушной ЛЭП:

$$x_0 = 0,42 \text{ Ом/км}.$$

1. Определяем общее индуктивное сопротивление трансформатора по выражению (38)

$$x_{\text{тр}} = \frac{12}{100} \cdot \frac{220^2}{160000} \cdot 10^3 = 36,3 \text{ Ом}.$$

2. Определяем индуктивное сопротивление воздушной ЛЭП по (33)

$$X_{\text{Л}} = 0,42 \cdot \ell \text{ Ом}.$$

3. Согласно условию задачи  $X_{\text{Л}} = X_{\text{тр}}$ , поэтому

$$X_{\text{Л}} = 0,42 \cdot \ell = 36,3.$$

$$\ell = \frac{36,3}{0,42} = 86,4 \text{ км}.$$

### Пример 10.

При какой длине  $\ell$  воздушной ЛЭП-220 кВ, выполненной проводами АС-240, генерация реактивной мощности проводимостью ЛЭП компенсирует потери реактивной мощности в стали двухобмоточного трансформатора ТРДЦН-63000/220?

Решение:

По таблице Приложения Х определяем каталожные данные трансформатора, которые необходимы для расчетов:

$$S_{\text{ном.тр.}} = 63000 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

$$U_{\text{ном}} = 220 \text{ кВ};$$

$$I_x = 0,8 \text{ \%}.$$

По таблице Приложения Р определяем каталожные данные воздушной ЛЭП:

$$b_0 = 0,026 \cdot 10^{-4} \text{ См/км}.$$

1. Определяем потери мощности в стали двухобмоточного трансформатора по выражению (41)

$$\Delta Q_x = \frac{0,8}{100} \cdot 6300 = 504 \text{ квар}.$$

2. Реактивную мощность генерируемую проводимостью ЛЭП определяем по выражению (36)

$$Q_c = 220^2 \cdot 10^6 \cdot 0,026 \cdot 10^{-4} \cdot \ell = 125,84 \cdot \ell \text{ квар.}$$

3. Так как генерация реактивной мощности ЛЭП компенсирует потери реактивной мощности в стали двухобмоточного трансформатора, то

$$Q_c = \Delta Q_x ,$$

тогда  $\ell = \frac{504 \cdot 10^3}{125,84 \cdot 10^3} = 4 \text{ км.}$

### Контрольное задание №6

Вариант 1. При какой длине  $\ell$  воздушной ЛЭП-110 кВ, выполненной проводами АС-240, ее индуктивное сопротивление равно индуктивному сопротивлению трансформатора ТРДЦН-63000/110, работающего по схеме двухобмоточного трансформатора?

Вариант 2. Определить параметры схемы замещения ЛЭП напряжением 220 кВ, выполненной проводом АС-240 протяженностью 32 км. Подвеска проводов горизонтальная.

Вариант 3. При какой длине  $\ell$  воздушной ЛЭП-35 кВ, выполненной проводами АС-150, ее индуктивное сопротивление равно индуктивному сопротивлению трансформатора ТМН-10000/35?

Вариант 4. Составить схему замещения ЛЭП напряжением 35 кВ, выполненной проводом АС-50 протяженностью 5 км и определить параметры схемы.

Вариант 5. При какой длине  $\ell$  воздушной ЛЭП-220 кВ, выполненной проводами АС-400, ее активное сопротивление равно активному сопротивлению трансформатора ТРДЦН-160000/220, работающего по схеме двухобмоточного трансформатора?

Вариант 6. При какой длине  $\ell$  воздушной ЛЭП-110 кВ, выполненной проводами АС-120, генерация реактивной мощности проводимостью ЛЭП компенсирует потери реактивной мощности в стали двухобмоточного трансформатора ТРДН-25000/110?

Вариант 7. Составить схему замещения трехфазного двухобмоточного трансформатора с расщепленными обмотками типа ТРДН -25000/110 и определить ее параметры.

Вариант 8. Составить схему замещения трехфазного двухобмоточного трансформатора типа ТДН -10000/110/10 и определить ее параметры для обоих номинальных напряжений.

Вариант 9. При какой длине  $\ell$  воздушной ЛЭП-110 кВ, выполненной проводами АС-240, ее индуктивное сопротивление равно суммарному индуктивному сопротивлению обмоток высокого и низкого напряжений трехобмоточного трансформатора ТДТН-63000/110?

Вариант 10. При какой длине  $\ell$  воздушной ЛЭП-220 кВ, выполненной проводами АС-240, ее индуктивное сопротивление составит 25 % от индуктивного сопротивления трансформатора ТРДН-40000/220?

Вариант 11. Составить схему замещения трехфазного трехобмоточного трансформатора типа ТДТН -63000/110 и определить ее параметры.

Вариант 12. Воздушная ЛЭП-110 кВ выполнена проводами АС-240 длиной  $\ell = 70$  км. При какой номинальной мощности трансформатора ТРДН- $S_{\text{ном}}/110$ , работающего по схеме двухобмоточного трансформатора, его индуктивное сопротивление будет меньше индуктивного сопротивления ЛЭП? Напряжение короткого замыкания трансформатора  $U_{\text{к}} = 10,5\%$ .

Вариант 13. Принимая  $\Delta P_{\text{к}} = 0,01S_{\text{ном}}$ , определить, при какой максимальной мощности  $S_{\text{ном}}$  двухобмоточного трансформатора ( $U_{\text{ВН}} = 110$  кВ), его активное сопротивление будет больше активного сопротивления воздушной ЛЭП-110 кВ длиной  $\ell = 20$  км, выполненной проводами АС-120?

Вариант 14. Составить схему замещения автотрансформатора типа АТДЦТН -250000/220 и определить ее параметры.

Вариант 15. Принимая  $U_{\text{к}} = 10,5\%$ , определить, при какой максимальной мощности  $S_{\text{ном}}$  двухобмоточного трансформатора ( $U_{\text{ВН}} = 110$  кВ), его индуктивное сопротивление будет больше трехкратного индуктивного сопротивления воздушной ЛЭП-110 кВ длиной  $\ell = 30$  км, выполненной проводами АС-120?

Вариант 16. При какой длине  $\ell$  воздушной ЛЭП-10 кВ, выполненной проводами АС-35, ее активное сопротивление составит десятую часть от активного сопротивления трансформатора ТМ-25/10?

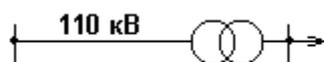


Рисунок 8

Вариант 17. Составить схему замещения электрической сети, показанной на рис.8 и состоящей из ЛЭП напряжением 110 кВ, выполненной проводами АС-120 длиной 20 км, и трансформатора типа ТДН - 16000/110. Определить параметры схемы замещения сети.

Вариант 18. При какой длине  $\ell$  воздушной ЛЭП-10 кВ, выполненной проводами АС-35, ее индуктивное сопротивление составит 1% от полного сопротивления трансформатора ТМ-25/10?

Вариант 19. При какой длине  $\ell$  кабельной ЛЭП-10 кВ, выполненной кабелем с алюминиевыми жилами сечением  $10 \text{ мм}^2$ , ее активное сопротивление составит 5% от активного сопротивления трансформатора ТМ-40/10?

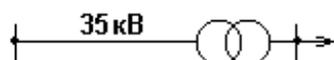


Рисунок 9

Вариант 20. Составить схему замещения электрической сети, показанной на рис.9 и состоящей из ЛЭП напряжением 35 кВ, выполненной проводами АС-50 длиной 16 км, и трансформатора типа ТМН -2500/35. Определить параметры схемы замещения сети.

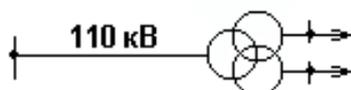


Рисунок 10

Вариант 21. Составить схему замещения электрической сети, показанной на рис.10 и состоящей из ЛЭП напряжением 110 кВ, выполненной проводами АС-185 длиной 24 км, и трансформатора типа ТРДН -40000/110. Определить параметры схемы замещения сети.

Вариант 22. Кабельная ЛЭП выполнена кабелем с алюминиевыми жилами. При каком минимальном сечении жил кабеля отношение активного к индуктивному сопротивлений ( $r_k / x_k$ ) больше соотношения индуктивного к активному сопротивлений трансформатора ТМ-100/10? Погонное индуктивное сопротивление кабеля можно принять равным  $x_0 = 0,08 \text{ Ом/км}$  независимо от сечения.

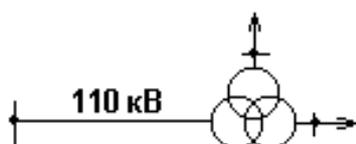


Рисунок 11

Вариант 23. Составить схему замещения электрической сети, показанной на рис.11 и состоящей из ЛЭП напряжением 110 кВ, выполненной проводами АС-185 длиной 17 км, и трансформатора типа ТДТН -40000/110. Определить параметры схемы замещения сети.

Вариант 24. При какой длине  $\ell$  кабельной ЛЭП-10 кВ, выполненной кабелем с алюминиевыми жилами сечением  $70 \text{ мм}^2$ , генерация реактивной мощности кабеля будет равна потерям реактивной мощности в стали трансформатора ТМ-1000/10?

Вариант 25. Составить схему замещения электрической сети, показанной на рис.12 и состоящей из ЛЭП напряжением 220 кВ, выполненной проводами АС-240 длиной 14 км, и трансформатора типа ТДТН -40000/220. Определить параметры схемы замещения сети.



Рисунок 12

## РАЗДЕЛ 6 ПАРАМЕТРЫ РАБОЧИХ РЕЖИМОВ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

*Потери активной мощности* на участке ЛЭП обусловлены активными сопротивлениями проводов и кабелей, а также несовершенством их изоляции.

$$\Delta P_{\text{Л}} = \frac{P^2 + Q^2}{U_{\text{НОМ}}^2} \cdot R_{\text{Л}} = \frac{S^2}{U_{\text{НОМ}}^2} \cdot R_{\text{Л}}, \quad (44)$$

где  $P, Q$  – активная и реактивная мощность нагрузки, кВт, квар;

$U_{\text{НОМ}}$  – номинальное напряжение, кВ;

$R_{\text{Л}}$  – активное сопротивление линии, Ом.

*Потери реактивной мощности* на участке ЛЭП обусловлены индуктивными сопротивлениями проводов и кабелей.:

$$\Delta Q_{\text{Л}} = \frac{P^2 + Q^2}{U_{\text{НОМ}}^2} \cdot X_{\text{Л}} = \frac{S^2}{U_{\text{НОМ}}^2} \cdot X_{\text{Л}}, \quad (45)$$

где  $X_{\text{Л}}$  – индуктивное сопротивление, Ом.

*Потери энергии* в линиях определяются путем умножения потерь мощности в ней на время их действия

$$\Delta A_{\text{Л}} = \sum_{i=1}^n \Delta P_i \cdot t_i, \quad (46)$$

где  $\Delta P_i$  – потери мощности за промежуток времени  $t_i$ .

Передача мощности через трансформатор сопровождается потерями мощности в активном и реактивном сопротивлениях обмоток, а также потерями, связанными с намагничиванием стали.

$$\Delta P_{\text{тр}} = \frac{P^2 + Q^2}{U_{\text{НОМ}}^2} \cdot R_{\text{тр}} + \Delta P_{\text{Х}} = \Delta P_{\text{К}} \left( \frac{S}{S_{\text{НОМ.тр}}} \right)^2 + \Delta P_{\text{Х}}; \quad (47)$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = \frac{P^2 + Q^2}{U_{\text{НОМ}}^2} \cdot X_{\text{тр}} + \Delta Q_{\text{Х}} = \frac{u_{\text{К}} \cdot S^2}{100 \cdot S_{\text{НОМ.тр}}} + \Delta Q_{\text{Х}}, \quad (48)$$

где  $P, Q, S$  – активная, реактивная и полная мощность нагрузки, кВт, квар, кВА;  
 $S_{\text{НОМ.тр}}$  – номинальная мощность трансформатора, кВ · А;  
 $R_{\text{тр}}, X_{\text{тр}}$  – активное и индуктивное сопротивление трансформатора, Ом.

При параллельной работе  $n$  одинаковых трансформаторов их эквивалентное сопротивление уменьшается в  $n$  раз, тогда как потери на намагничивание во столько же раз увеличиваются. При этом

$$\Delta P'_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\text{К}}}{n} \left( \frac{S}{S_{\text{НОМ.тр}}} \right)^2 + n \cdot \Delta P_{\text{Х}}; \quad (49)$$

$$\Delta Q'_{\text{тр}} = \frac{u_{\text{К}} \cdot S^2}{n \cdot 100 \cdot S_{\text{НОМ.тр}}} + n \cdot \Delta Q_{\text{Х}}. \quad (50)$$

*Потери энергии* в трансформаторах состоят из двух частей: 1) не зависящей от нагрузки  $\Delta P_{\text{Х}} \cdot T$ ; 2) зависящей от нагрузки  $\Delta P_{\text{К}} \cdot \tau$ :

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{Х}} \cdot T + \Delta P_{\text{К}} \cdot \left( \frac{S}{S_{\text{НОМ.тр}}} \right)^2 \cdot \tau, \quad (51)$$

где  $T$  – время работы (если трансформатор включен весь год, то  $T = 8760$  ч).  
 $\tau$  – время максимальных потерь, ч.

При параллельной работе  $n$  одинаковых трансформаторов

$$\Delta \mathcal{E}'_{\text{тр}} = n \Delta P_{\text{Х}} \cdot T + \Delta P_{\text{К}} \frac{1}{n} \cdot \left( \frac{S}{S_{\text{НОМ.тр}}} \right)^2 \cdot \tau. \quad (52)$$

Падение напряжения в линии можно представить состоящим из продольной и поперечной составляющих.

Продольная составляющая определяется по формуле:

$$\Delta U_{\text{Л}} = \frac{P \cdot r_0 + Q \cdot x_0}{U_{\text{НОМ}}} \cdot \ell_{\text{Л}}, \quad (53)$$

а поперечная составляющая – по формуле:

$$\delta U_{\text{Л}} = \frac{P \cdot x_0 - Q \cdot r_0}{U_{\text{ном}}} \cdot \ell_{\text{Л}}, \quad (54)$$

где  $r_0, x_0$  – погонные активное и индуктивное сопротивления линии, Ом/км;  
 $\ell_{\text{Л}}$  – длина участка линии, км.

Напряжения в начале и в конце линии связаны с продольной и поперечной составляющими падения напряжения в линии соотношениями:

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + \Delta U)^2 + (\delta U)^2}; \quad (55)$$

$$U_2 = \sqrt{(U_1 - \Delta U)^2 + (\delta U)^2}. \quad (56)$$

В ЛЭП местных сетей поперечная составляющая падения напряжения очень мала. Так что

$$U_1 = U_2 + \Delta U; \quad (57)$$

$$U_2 = U_1 - \Delta U. \quad (58)$$

Потери напряжения в трансформаторе:

$$\Delta U_{\text{тр}} = \frac{P \cdot r_{\text{тр}} + Q \cdot x_{\text{тр}}}{U_{\text{ном}}}. \quad (59)$$

где  $r_{\text{тр}}, x_{\text{тр}}$  – активное и индуктивное сопротивления трансформатора, Ом.

## Примеры решения задач

### Пример 11

Воздушная ЛЭП-110 кВ выполнена проводами АС-120. Мощность нагрузки ЛЭП составляет  $S_2 = 25 + j10$  МВ·А.

а) При какой длине  $\ell_1$  ЛЭП потери активной мощности составят 3% от полной передаваемой мощности  $S_2$ ?

б) При какой длине  $\ell_2$  ЛЭП потери реактивной мощности составят 5% от полной передаваемой мощности  $S_2$ ?

Решение:

По таблице Приложения Р определяем каталожные данные воздушной ЛЭП:

$$r_0 = 0,249 \text{ Ом/км}; \quad x_0 = 0,427 \text{ Ом/км}.$$

1. Потери активной мощности на участке ЛЭП определяем по (44)

$$\Delta P_{\text{Л}} = \frac{25^2 + 10^2}{110^2} \cdot 0,249 \cdot \ell_1 = 0,015 \cdot \ell_1 \text{ кВт}.$$

Так как  $\Delta P_{л} = 0,03 \cdot S_2$ , тогда  
 $0,015 \cdot \ell_1 = 0,03 \cdot S_2$ ;  $S_2 = 26,9$  МВА;  
 $\ell_1 = \frac{0,03 \cdot 26,9}{0,015} = 54$  км.

2. Потери реактивной мощности определяем по выражению (45)

$$\Delta Q_{л} = \frac{25^2 + 10^2}{110^2} 0,427 \cdot \ell_2 = 0,026 \cdot \ell_2 \text{ квар.}$$

Так как  $\Delta Q_{л} = 0,05 \cdot S_2$ , тогда

$$\ell_2 = \frac{0,05 \cdot 26,9}{0,026} = 52 \text{ км.}$$

### Пример 12

Активная мощность нагрузки трансформатора ТРДН-40000/110, работающего по схеме двухобмоточного трансформатора, составляет  $P_2 = 24$  МВт.

а) При каком коэффициенте мощности нагрузки трансформатора ( $\cos\varphi_2$ ) потери активной мощности в нем составят  $\Delta P_{тр} = 120$  кВт?

б) Для тех же условий определить потери реактивной мощности в трансформаторе.

Решение:

По таблице Приложения Ф определяем каталожные данные трансформатора, которые необходимы для расчетов:

$$S_{ном.тр.} = 40000 \text{ кВ} \cdot \text{А}; U_{ном} = 110 \text{ кВ};$$

$$I_x = 0,65 \%; \Delta P_x = 36 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_k = 172 \text{ кВт}; u_k = 10,5\%.$$

1. Потери активной мощности в трансформаторе определяем по (47)

$$\Delta P_{тр} = 172 \cdot \frac{S^2}{40^2} + 36 = 120.$$

Отсюда  $S_2 = 28$  МВА.

$$\text{Так как } S = \frac{P}{\cos\varphi}, \text{ тогда } \cos\varphi = \frac{24}{28} = 0,86$$

2. Потери реактивной мощности в трансформаторе определяем по (48)

$$\Delta Q_{тр} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{28^2}{40^2} + \frac{0,65}{100} \cdot 40 = 311 \text{ квар.}$$

### Пример 13

Воздушная ЛЭП напряжением 220 кВ протяженностью 80 км выполнена на проводе АС-240 и питает нагрузку  $(72 + j 54)$  МВ·А. Определить напряжение в начале участка линии, если в конце участка напряжение 218 кВ.

Решение:

По таблице Приложения Р определяем каталожные данные воздушной ЛЭП:

$$r_0 = 0,12 \text{ Ом/км}; x_0 = 0,435 \text{ Ом/км}; b_0 = 0,026 \cdot 10^{-4} \text{ См/км}.$$

1. Сопротивления ЛЭП определяем по выражениям (32) и (33), а по (36) - реактивную мощность, генерируемую линией:

$$R_{\text{л}} = 0,12 \cdot 80 = 9,6 \text{ Ом}; X_{\text{л}} = 0,435 \cdot 80 = 34,8 \text{ Ом};$$
$$Q_c = 220^2 \cdot 0,026 \cdot 10^{-4} \cdot 80 = 10,1 \text{ Мвар}.$$

2. Нагрузка в конце участка линии с учетом реактивной мощности  $(0,5 \cdot jQ_c)$ , генерируемой реактивной проводимостью, включенной в конце схемы замещения линии составляет

$$S'_2 = P'_2 + jQ'_2 - 0,5 \cdot jQ_c = 72 + j 54 - 0,5 \cdot j 10 = 72 + j 49 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

3. Продольную и поперечную составляющие падения напряжения на участке линии определяем по выражению (53) и (54)

$$\Delta U = \frac{72 \cdot 9,6 + 49 \cdot 34,8}{220} = 10,9 \text{ кВ}; \delta U = \frac{72 \cdot 34,8 - 49 \cdot 9,6}{220} = 9,3 \text{ кВ}.$$

4. Напряжение в начале участка линии определяем по выражению (55)

$$U_1 = \sqrt{(218 + 10,9)^2 + 9,3^2} = 229,01 \text{ кВ}.$$

При расчете по упрощенной формуле (57)

$$U_1 = 218 + 10,9 = 228,9 \text{ кВ}.$$

### Пример 14

Трансформатор типа ТМ -1000/10 питает нагрузку, потребляющую мощность  $(720 + j 540)$  кВ·А при  $\cos \varphi = 0,8$ . Определить потери напряжения в трансформаторе, если при максимальной нагрузке напряжение на стороне ВН трансформатора равно 10,6 кВ.

Решение:

1. По таблице Приложения Т определяем каталожные данные трансформатора:

$$S_{\text{ном.тр.}} = 1000 \text{ кВ}\cdot\text{А}; U_{\text{ном.В}} = 10 \text{ кВ};$$

$$u_{\text{к}} = 5,5\%; \Delta P_{\text{к}} = 12,2 \text{ кВт};$$

$$I_{\text{х}} = 1,4\%; \Delta P_{\text{х}} = 2,1 \text{ кВт}.$$

1. По выражениям (37), (38) определяем сопротивления трансформатора

$$R_{\text{тр}} = \frac{12,2 \cdot 10^2}{1000^2} \cdot 10^3 = 1,22 \text{ Ом}; X_{\text{тр}} = \frac{5,5 \cdot 10^2}{100 \cdot 1000} \cdot 10^3 = 5,5 \text{ Ом}.$$

2. Поскольку напряжение известно на стороне ВН, а нагрузка - на стороне НН трансформатора, необходимо привести нагрузку к стороне ВН, для чего определяем потери мощности в трансформаторе по (47) и (48):

$$\Delta P_{\text{тр}} = \frac{720^2 + 540^2}{10^2} \cdot 1,22 + 2,1 = 12 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = \frac{720^2 + 540^2}{10^2} \cdot 5,5 + \frac{1,4 \cdot 1000}{100} = 58,6 \text{ квар}.$$

3. Нагрузка на стороне ВН трансформатора составляет

$$P_{\text{тр}} + jQ_{\text{тр}} = 720 + j540 + 12 + j58,6 = 732 + j598,6 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

4. Потери напряжения в трансформаторе определяем по (59)

$$\Delta U_{\text{тр}} = \frac{732 \cdot 1,22 + 598,6 \cdot 5,5}{10,6} = 395 \text{ В}.$$

или в % от номинального напряжения

$$\Delta U_{\text{тр}} = \frac{\Delta U_{\text{тр}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100 = \frac{395}{10^4} \cdot 100 = 3,95\%.$$

### Контрольное задание № 7

Вариант 1. Воздушная ЛЭП-220 кВ выполнена проводами АС-300. Мощность нагрузки ЛЭП составляет  $S_2 = 100 + j50 \text{ МВ}\cdot\text{А}$ .

а) При какой длине  $\ell_1$  ЛЭП потери активной мощности составят 1% от полной передаваемой мощности  $S_2$ ?

б) При какой длине  $\ell_2$  ЛЭП потери реактивной мощности составят 5% от полной передаваемой мощности  $S_2$ ?

Вариант 2. Кабельная ЛЭП-10 кВ выполнена кабелем с алюминиевыми жилами  $3 \times 150 \text{ мм}^2$ . Мощность нагрузки составляет  $S_2 = 3 + j1,4 \text{ МВ}\cdot\text{А}$ .

- а) При какой длине  $\ell_1$  ЛЭП потери активной мощности в ней составят 5% от активной передаваемой мощности  $P_2$ ?
- б) При какой длине  $\ell_2$  ЛЭП потери реактивной мощности в ней составят 1% от полной передаваемой мощности  $S_2$ ?

Вариант 3. Кабельная ЛЭП-0,38 кВ выполнена кабелем с алюминиевыми жилами  $3 \times 70 \text{ мм}^2$ . Мощность нагрузки ЛЭП составляет  $S_2 = 0,8 + j0,6 \text{ МВ} \cdot \text{А}$

- а) При какой длине  $\ell_1$  ЛЭП потери активной мощности в ней составят 50% от полной передаваемой мощности  $S_2$ ?
- б) При какой длине  $\ell_2$  ЛЭП потери реактивной мощности в ней составят 5% от полной передаваемой мощности  $S_2$ ?

Вариант 4. Воздушная ЛЭП-110 кВ выполнена проводами АС-150. Мощность нагрузки ЛЭП составляет  $S_2 = 24 + j12 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ .

- а) При какой длине  $\ell_1$  ЛЭП потери активной мощности составят 3% от полной передаваемой мощности  $S_2$ ?
- б) При какой длине  $\ell_2$  ЛЭП потери реактивной мощности составят 5% от полной передаваемой мощности  $S_2$ ?

Вариант 5. Воздушная ЛЭП-35 кВ, длиной  $\ell = 10 \text{ км}$ , выполнена проводами АС - 70. Коэффициент мощности нагрузки  $\cos\varphi_2 = 0,8$ .

- а) При какой передаваемой мощности  $S_2$  потери активной мощности в ЛЭП составят 3% от передаваемой активной мощности  $P_2$ ?
- б) При какой передаваемой мощности  $S_2$  потери реактивной мощности составят 5% от передаваемой реактивной мощности  $Q_2$ ?

Вариант 6. Воздушная ЛЭП напряжением 220 кВ протяженностью 100 км выполнена проводом АС-300 и питает нагрузку  $(102 + j88) \text{ МВ} \cdot \text{А}$ . Определить напряжение в начале участка линии, если в конце участка напряжение 218 кВ.

Вариант 7. Кабельная ЛЭП-10 кВ длиной  $\ell = 0,6 \text{ км}$  выполнена алюминиевыми жилами  $3 \times 150 \text{ мм}^2$ . Коэффициент мощности нагрузки ЛЭП  $\cos\varphi_2 = 0,9$ .

- а) При какой передаваемой мощности  $S_2$  потери активной мощности в ЛЭП составят 0,5% от передаваемой активной мощности  $P_2$ ?
- б) При какой передаваемой мощности  $S_2$  потери реактивной мощности в ЛЭП составят 0,1% от передаваемой реактивной мощности  $Q_2$ ?

Вариант 8. Кабельная ЛЭП-0,38 кВ, длиной  $\ell = 70$  м выполнена кабелем с алюминиевыми жилами  $3 \times 95 \text{ мм}^2$ . Коэффициент мощности нагрузки ЛЭП  $\cos\varphi_2 = 0,8$ .

а) При какой передаваемой мощности  $S_2$  потери активной мощности в ЛЭП составят 1% от передаваемой активной мощности  $P_2$ ?

б) При какой передаваемой мощности  $S_2$  потери реактивной мощности в ЛЭП составят 0,1% от передаваемой реактивной мощности  $Q_2$ ?

Вариант 9. Воздушная ЛЭП-110 кВ, длиной  $\ell = 27$  км, выполнена проводами АС-185,  $\cos\varphi_2 = 0,9$ .

а) При какой передаваемой мощности  $S_2$  потери активной мощности в ЛЭП составят 18% от передаваемой активной мощности  $P_2$ ?

б) При какой передаваемой мощности  $S_2$  потери реактивной мощности в ЛЭП составят 15 % от передаваемой реактивной мощности  $Q_2$ ?

Вариант 10. Кабельная ЛЭП-10 кВ длиной  $\ell = 1$  км выполнена кабелем с алюминиевыми жилами  $3 \times 150 \text{ мм}^2$ ,  $\cos\varphi_2 = 0,85$ .

а) При какой передаваемой мощности  $S_2$  потери активной мощности в ЛЭП составят 1% от передаваемой активной мощности  $P_2$ ?

б) При какой передаваемой мощности  $S_2$  потери реактивной мощности в ЛЭП составят 0,2% от передаваемой реактивной мощности  $Q_2$ ?

Вариант 11. Трансформатор ТРДН-25000/110/10 работает по схеме двухобмоточного трансформатора. Активная мощность нагрузки  $P_2 = 15$  МВт.

а) При каком коэффициенте мощности нагрузки трансформатора ( $\cos\varphi_2$ ) потери активной мощности в нем составят  $\Delta P_{\text{тр}} = 90$  кВт?

б) Для тех же условий определить потери реактивной мощности в трансформаторе.

Вариант 12. Реактивная мощность нагрузки трансформатора ТМ-2500/10/0,4 составляет  $Q_2 = 1000$  квар.

а) При какой активной мощности нагрузки трансформатора  $P_2$  потери активной мощности в нем составят  $\Delta P_{\Sigma} = 20$  кВт?

б) Для тех же условий определить потери реактивной мощности в трансформаторе.

Вариант 13. Реактивная мощность нагрузки трансформатора ТРДЦН-63000/110 составляет  $Q_2 = 20$  Мвар.

а) При какой активной мощности нагрузки трансформатора  $P_2$  потери активной мощности в нем составят  $\Delta P_{\Sigma} = 250$  кВт?

б) Для тех же условий определить потери реактивной мощности в трансформаторе.

Вариант 14. Трансформатор ТРДН-25000/110/10 работает по схеме двухобмоточного трансформатора активная мощность нагрузки  $P_2 = 16$  МВт. При каком коэффициенте мощности нагрузки ( $\cos\varphi_2$ ) потери напряжения в трансформаторе составят  $\Delta U = 5$  кВ?

При той же мощности нагрузки определить длину  $\ell$  ЛЭП-110 кВ, выполненную проводами АС-120, при которой потери напряжения в ней составят также  $\Delta U = 5$  кВ?

Вариант 15. Трансформатор ТРДЦН-63000/110/10 работает по схеме двухобмоточного трансформатора. Активная мощность нагрузки  $P_2 = 50$  МВт. При какой реактивной мощности нагрузки  $Q_2$  потери напряжения в трансформаторе составят  $\Delta U = 6$  кВ?

Воздушная ЛЭП-110 кВ выполнена проводами АС-240, работает с той же мощностью нагрузки. При какой длине  $\ell$  ЛЭП потери напряжения в ней составят  $\Delta U = 6$  кВ?

Вариант 16. Трансформатор ТДН-16000/110/10 работает с коэффициентом мощности нагрузки  $\cos\varphi_2 = 0,8$ . Определить, при какой мощности нагрузки потери напряжения в трансформаторе составят  $\Delta U = 6$  кВ.

Воздушная ЛЭП-110 кВ выполнена проводами АС-95 и работает с той же мощностью нагрузки. При какой длине  $\ell$  ЛЭП потери напряжения в ней составят  $\Delta U = 6$  кВ?

Вариант 17. Трансформатор типа ТМ -2500/10 питает нагрузку потребляющую мощность  $(1600 + j 1200)$  кВ·А. Определить потери напряжения в трансформаторе, если при максимальной нагрузке напряжение на стороне ВН трансформатора равно 10,5 кВ.

Вариант 18. Трансформатор ТРДН-40000/110/10 работает по схеме двухобмоточного трансформатора. Активная мощность нагрузки  $P_2 = 30$  МВт. При какой реактивной мощности нагрузки  $Q_2$  потери напряжения в трансформаторе составят  $\Delta U = 4$  кВ?

Воздушная ЛЭП-110 кВ выполнена проводами АС-185 и работает с той же мощностью нагрузки. При какой длине  $\ell$  ЛЭП потери напряжения в ней составят так же  $\Delta U = 5$  кВ?

Вариант 19. Трансформатор ТМ-1000/10/0,4 работает по схеме двухобмоточного трансформатора. Реактивная мощность нагрузки  $Q_2 = 750$  квар.

При каком коэффициенте мощности нагрузки ( $\cos\varphi_2$ ) потери напряжения в трансформаторе составят  $\Delta U = 0,6$  кВ?

Кабельная ЛЭП-10 кВ выполнена кабелем с алюминиевыми жилами  $3 \times 70$  мм<sup>2</sup> и работает с той же мощностью нагрузки. При какой длине  $\ell$  ЛЭП потери напряжения в ней составят  $\Delta U = 0,1$  кВ?

Вариант 20. Трансформатор типа ТМ -1600/10 питает нагрузку потребляющую мощность  $(980 + j 730)$  кВ·А. Определить потери напряжения в трансформаторе, если при максимальной нагрузке напряжение на стороне ВН трансформатора равно 10,5 кВ.

Вариант 21. Трансформатор ТДТН-63000/110/35/10 работает с суммарной активной мощностью нагрузки  $P_\Sigma = 40$  МВт. При какой суммарной реактивной мощности нагрузки  $Q_\Sigma$  потери напряжения в обмотке высокого напряжения составят  $\Delta U = 5$  кВ?

Воздушная ЛЭП-110 кВ выполнена проводами АС-240 и работает с той же мощностью нагрузки. При какой длине  $\ell$  ЛЭП потери напряжения в ней составят  $\Delta U = 5$  кВ?

Вариант 22. Трансформатор ТРДН-25000/110/10 работает по схеме двухобмоточного трансформатора. Активная мощность нагрузки  $P_2 = 16$  МВт. При какой реактивной мощности нагрузки  $Q_2$  продольная составляющая падения напряжения в трансформаторе совпадает с поперечной?

Воздушная ЛЭП-110 кВ выполнена проводами АС-120 и работает с той же мощностью нагрузки. При какой длине  $\ell$  ЛЭП потери напряжения в ней будут такие же как и в трансформаторе?

Вариант 23. Воздушная ЛЭП напряжением 110 кВ протяженностью 45 км выполнена проводом АС-120 и питает нагрузку  $(22 + j 16)$  МВ·А. Определить напряжение в начале участка линии, если в конце участка напряжение 109 кВ.

Вариант 24. Трансформатор ТРДЦН-63000/110 работает по схеме двухобмоточного трансформатора. Реактивная мощность нагрузки  $Q_2 = 30$  Мвар. При каком коэффициенте мощности нагрузки ( $\cos\varphi$ ) продольная составляющая падения напряжения в трансформаторе равна поперечной составляющей?

Воздушная ЛЭП-110 кВ выполнена проводами АС-240 и работает с той же мощностью нагрузки. При какой длине  $\ell$  ЛЭП потери напряжения в ней равны потерям напряжения в трансформаторе?

Вариант 25. Трансформатор ТРДЦН-63000/220/10 работает по схеме двухобмоточного трансформатора. Активная мощность нагрузки  $P_2 = 40$  МВт. При какой реактивной мощности нагрузки  $Q_2$  потери напряжения в трансформаторе составят  $\Delta U = 5$  кВ?

Воздушная ЛЭП-220 кВ выполнена проводами АС-240 и работает с той же мощностью нагрузки. При какой длине  $\ell$  ЛЭП потери напряжения в ней составят так же  $\Delta U = 5$  кВ?

## РАЗДЕЛ 7 РАСЧЕТ РАБОЧИХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Определение значений токов и напряжений в различных точках сети начинают с построения картины распределения полной мощности в сети, называемой *потокораспределением*, т.е. определения мощностей в начале и в конце каждого элемента сети.

*Разомкнутыми сетями* называются такие, в которых энергия подается потребителям с *одной стороны*. В большинстве случаев такими сетями являются сети до 110 кВ, подающие энергию потребителям на расстояния, не превышающие 20- 30 км.

Простейшим видом замкнутой сети является сеть с двухсторонним питанием, т.е. такая сеть, в которой энергия подается потребителям с двух сторон. Частным случаем сети с двухсторонним питанием является кольцо (рис.13).

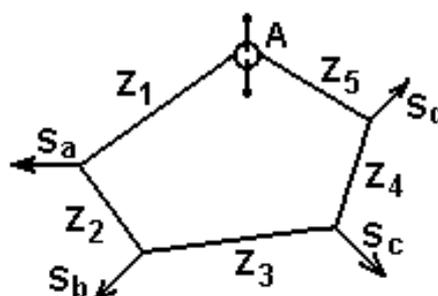


Рисунок 13 – Схема сети с двухсторонним питанием

Прежде чем приступить к расчету сети с двухсторонним питанием, необходимо условно «разрезать» питающий пункт и получить сеть с двумя пунктами  $A_1$  и  $A_2$  (рис.14).

Существуют два вида расчета сетей с двухсторонним питанием.

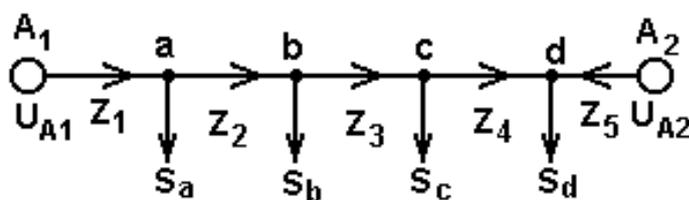


Рисунок 14 – Схема сети с двухсторонним питанием в «разрезанном» виде

1. При одинаковых напряжениях питающих пунктов  $A_1$  и  $A_2$ , т.е. при  $U_{A1} = U_{A2}$ . Задача состоит в том, чтобы при заданных сопротивлениях участков и мощностях нагрузок рассчитать мощности на участках и найти точки токораздела. Т.к.  $U_{A1} = U_{A2}$ , можно составить уравнение по второму закону Кирхгофа: сумма падений напряжений между пунктами  $A_1$  и  $A_2$  равна нулю.

Мощность, вытекающая из питающего пункта  $A_1$ , определяется по формуле:

$$S_1 = \frac{S_a(Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5) + S_b(Z_3 + Z_4 + Z_5) + S_c(Z_4 + Z_5) + S_d Z_5}{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5}, \quad (60)$$

где  $S_a, S_b, S_c, S_d$  – мощности нагрузок, МВ·А.

$Z_2, Z_3, Z_4, Z_5$  – полные сопротивления участков линии до питающего пункта  $A_2$ .

Аналогично, мощность, вытекающая из питающего пункта  $A_2$ :

$$S_{A2} = \frac{S_d(Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4) + S_c(Z_1 + Z_2 + Z_3) + S_b(Z_1 + Z_2) + S_a Z_1}{Z_\Sigma}. \quad (61)$$

Зная мощность, вытекающую из любого питающего пункта, можно аналогично определить мощности каждого участка. В результате расчета мощности отдельных участков могут оказаться положительными или отрицательными, т.е. протекающими в направлении, указанном стрелками, или в противоположном направлении.

**Точками токораздела** называются точки, в которых подтекающая со всех сторон мощность полностью потребляется нагрузкой. Точек токораздела в сетях с двухсторонним питанием может быть две: по активным мощностям и реактивным. Во многих случаях эти точки могут совпадать.

Если сечения всех участков сети одинаковы, то сеть является *однородной* и при расчете можно пренебречь активным и реактивным сопротивлениями и расчет вести с использованием длины участков линии.

### Пример 15

Четыре электропотребителя питаются от замкнутой линии напряжением 10 кВ (рис.15, а). Кольцевая линия выполнена проводом АС-70, а ответвления – проводом АС-50.

Мощности потребителей:  $S_c = 1500 + j1200$  кВ·А;  $S_d = 500 + j300$  кВ·А;  $S_e = 800 + j600$  кВ·А;  $S_f = 400 + j300$  кВ·А.

Длины участков линий:

Аа -  $\ell_1 = 2$  км; аб -  $\ell_2 = 4$  км;

bc -  $l_3 = 3$  км; Ac -  $l_4 = 2$  км;

bd -  $l_5 = 1$  км; ae -  $l_6 = 3$  км;

ef -  $l_7 = 5$  км.

Определить мощность на всех участках линии и максимальную потерю напряжения в ней.

Решение:

1. Сделав разрез по источнику питания, кольцевая линия преобразуется в линию с двухсторонним питанием (рис.15 б).

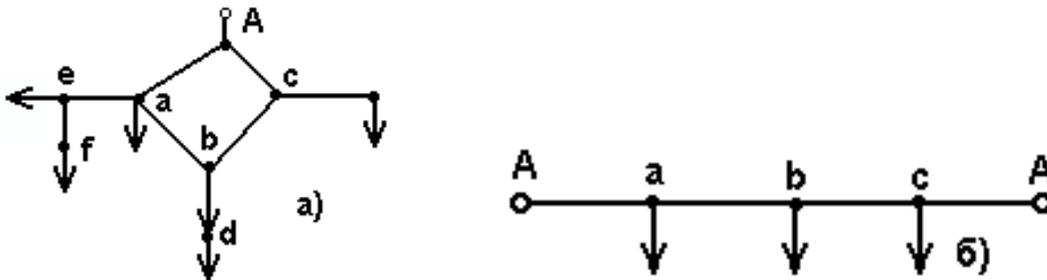


Рисунок 15 – Расчетная схема

2. Напряжения источников питания и сечения проводов одинаковы, поэтому расчет мощности на головных участках линии можно проводить по длинам участков.

$$S_a = S_e + S_f = 800 + j600 + 400 + j300 = 1200 + j900 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_b = S_d = 500 + j300 = \text{кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{Aa} = \frac{S_a(l_2 + l_3 + l_4) + S_b(l_3 + l_4) + S_c l_4}{l_1 + l_2 + l_3 + l_4} =$$

$$= \frac{(1200 + j900) \cdot (4 + 3 + 2) + (500 + j300) \cdot (3 + 2) + (1500 + j1200) \cdot 2}{2 + 4 + 3 + 2} = 1482 + j1091 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$S_{cA'} = \frac{S_a l_1 + S_b(l_1 + l_2) + S_c(l_1 + l_2 + l_3)}{l_1 + l_2 + l_3 + l_4} =$$

$$= \frac{(1200 + j900) \cdot 2 + (500 + j300) \cdot (2 + 4) + (1500 + j1200) \cdot (2 + 4 + 3)}{2 + 4 + 3 + 2} = 1718 + j1309 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Мощность на втором участке

$$S_2 = S_1 - S_a = 1482 + j1091 - (1200 + j900) = 282 + j191 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Потокораздел приходится в точку b, т.к. нагрузка  $S_b$  больше мощности  $S_2$  и поэтому получает питание и от источника А.

3. Погонные сопротивления проводов определяем по таблице Приложения А, а сопротивления по (32) и (33):

$$AC - 50 \text{ r}_0 = 0,6 \text{ Ом / км}; x_0 = 0,388 \text{ Ом / км};$$

$$AC - 70 \text{ r}_0 = 0,428 \text{ Ом / км}; x_0 = 0,376 \text{ Ом / км}.$$

$$R_1 = 0,428 \cdot 2 = 0,856 \text{ Ом}; X_1 = 0,376 \cdot 2 = 0,752 \text{ Ом};$$

$$R_2 = 0,428 \cdot 4 = 1,712 \text{ Ом}; X_2 = 0,376 \cdot 4 = 1,504 \text{ Ом};$$

$$R_3 = 0,428 \cdot 3 = 1,284 \text{ Ом}; X_3 = 0,376 \cdot 3 = 1,128 \text{ Ом};$$

$$R_4 = 0,428 \cdot 2 = 0,856 \text{ Ом}; X_4 = 0,376 \cdot 2 = 0,752 \text{ Ом};$$

$$R_5 = 0,6 \cdot 1 = 0,6 \text{ Ом}; X_5 = 0,388 \cdot 1 = 0,388 \text{ Ом};$$

$$R_6 = 0,6 \cdot 3 = 1,8 \text{ Ом}; X_6 = 0,388 \cdot 3 = 1,164 \text{ Ом}.$$

$$R_7 = 0,6 \cdot 5 = 3,0 \text{ Ом}; X_7 = 0,388 \cdot 5 = 1,94 \text{ Ом}.$$

4. Чтобы определить максимальную потерю напряжения в линии, рассчитаем потери напряжения до точки потокораздела b и до наиболее удаленных точек (d, f) ответвленной линии

$$\Delta U_{Ab} = \Delta U_{Aa} + \Delta U_{ab} = \frac{P_1 \cdot R_1 + Q_1 \cdot X_1 + P_2 \cdot R_2 + Q_2 \cdot X_2}{U_H} =$$

$$= \frac{1482 \cdot 0,856 + 1091 \cdot 0,752 + 282 \cdot 1,712 + 191 \cdot 1,504}{10} = 286 \text{ В}.$$

$$\Delta U_{Af} = \Delta U_{Aa} + \Delta U_{ae} + \Delta U_{ef} = \frac{P_1 \cdot R_1 + Q_1 \cdot X_1 + P_6 \cdot R_6 + Q_6 \cdot X_6}{U_H} +$$

$$+ \frac{P_7 \cdot R_7 + Q_7 \cdot X_7}{U_H} = \frac{1482 \cdot 0,856 + 1091 \cdot 0,752 + 1200 \cdot 1,8 + 900 \cdot 1,164}{10} +$$

$$+ \frac{400 \cdot 3,0 + 300 \cdot 1,94}{10} = 708 \text{ В};$$

$$\Delta U_{Ad} = \Delta U_{Ab} + \Delta U_{bd} = 286 + \frac{500 \cdot 0,6 + 300 \cdot 0,388}{10} = 328 \text{ В}.$$

### Пример 16

Определить наибольшую потерю напряжения в ЛЭП 10 кВ, (рис.16), участка которой выполнены проводами:

$$Oa: AC - 95, \ell_1 = 5 \text{ км}; \quad ab: AC - 35, \ell_2 = 12 \text{ км}; \quad ac: AC - 70, \ell_3 = 3 \text{ км};$$

$$cd: AC - 35, \ell_4 = 6 \text{ км}; \quad ce: AC - 50, \ell_5 = 5 \text{ км}; \quad ef: AC - 35, \ell_6 = 7 \text{ км}.$$

Нагрузки линий:  $S_b = 240 + j180$  кВ·А;  $S_d = 280 + j210$  кВ·А;  
 $S_e = 240 + j180$  кВ·А;  $S_f = 240 + j180$  кВ·А.

Решение:

1. Погонные сопротивления проводов определяем по таблице Приложения П

АС - 95  $r_0 = 0,306$  Ом / км;  $x_0 = 0,366$  Ом / км;

АС - 70  $r_0 = 0,428$  Ом / км;  $x_0 = 0,376$  Ом / км;

АС - 50  $r_0 = 0,6$  Ом / км;  $x_0 = 0,388$  Ом / км;

АС - 35  $r_0 = 0,79$  Ом / км;  $x_0 = 0,394$  Ом / км.

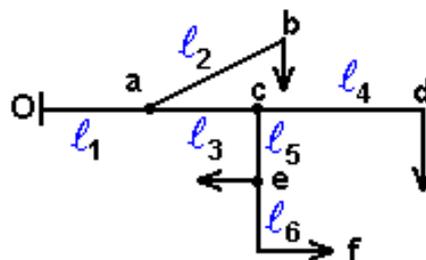


Рисунок 16 – Расчетная схема

2. Сопротивления отдельных участков линии определяем по (32) и (33)

$$R_1 = 0,306 \cdot 5 = 1,53 \text{ Ом}; X_1 = 0,366 \cdot 5 = 1,83 \text{ Ом};$$

$$R_2 = 0,79 \cdot 12 = 9,48 \text{ Ом}; X_2 = 0,394 \cdot 12 = 4,73 \text{ Ом};$$

$$R_3 = 0,428 \cdot 3 = 1,28 \text{ Ом}; X_3 = 0,376 \cdot 3 = 1,13 \text{ Ом};$$

$$R_4 = 0,79 \cdot 6 = 4,74 \text{ Ом}; X_4 = 0,394 \cdot 6 = 2,36 \text{ Ом};$$

$$R_5 = 0,6 \cdot 5 = 3,0 \text{ Ом}; X_5 = 0,388 \cdot 5 = 1,94 \text{ Ом};$$

$$R_6 = 0,79 \cdot 7 = 5,53 \text{ Ом}; X_6 = 0,394 \cdot 7 = 2,76 \text{ Ом}.$$

3. Линейные мощности участков

$$S_6 = S_f = 240 + j180 \text{ кВ·А};$$

$$S_5 = S_6 + S_e = 240 + j180 + 240 + j180 = 480 + j360 \text{ кВ·А};$$

$$S_4 = S_d = 280 + j210 \text{ кВ·А};$$

$$S_3 = S_4 + S_5 = 280 + j210 + 480 + j360 = 760 + j570 \text{ кВ·А};$$

$$S_2 = S_b = 240 + j180 \text{ кВ·А};$$

$$S_1 = S_2 + S_3 = 240 + j180 + 760 + j570 = 1000 + j750 \text{ кВ·А}.$$

4. Потери напряжения до точек b, d, f.

$$\Delta U_{Ob} = \frac{P_1 \cdot R_1 + Q_1 \cdot X_1 + P_2 \cdot R_2 + Q_2 \cdot X_2}{U_H} =$$

$$\frac{1000 \cdot 1,53 + 750 \cdot 1,83 + 240 \cdot 9,48 + 180 \cdot 4,73}{10} = 603 \text{ В};$$

$$\Delta U_{Od} = \frac{P_1 \cdot R_1 + Q_1 \cdot X_1 + P_3 \cdot R_3 + Q_3 \cdot X_3 + P_4 \cdot R_4 + Q_4 \cdot X_4}{U_H} =$$

$$\frac{1000 \cdot 1,53 + 750 \cdot 1,83 + 760 \cdot 1,28 + 570 \cdot 1,13 + 280 \cdot 4,74 + 210 \cdot 2,36}{10} = 634 \text{ В};$$

$$\Delta U_{Of} = \frac{P_1 \cdot R_1 + Q_1 \cdot X_1 + P_3 \cdot R_3 + Q_3 \cdot X_3 + P_4 \cdot R_4 + Q_4 \cdot X_4}{U_H} + \frac{P_6 \cdot R_6 + Q_6 \cdot X_6}{U_H} = \frac{1000 \cdot 1,53 + 750 \cdot 1,83 + 760 \cdot 1,28 + 570 \cdot 1,13 + 480 \cdot 3,0 + 360 \cdot 1,94 + 240 \cdot 5,53 + 180 \cdot 2,76}{10} = 848 \text{ В.}$$

5. Наибольшая потеря напряжения в линии до точки f

$$\Delta U_{Of} = \frac{848}{10000} \cdot 100 \% = 8,48 \%$$

### Пример 17

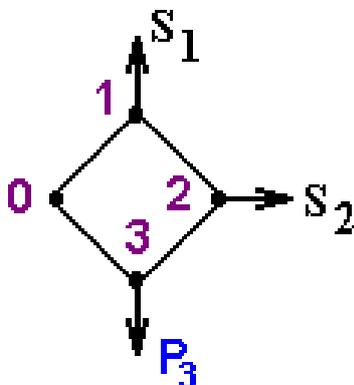


Рисунок 17

Для схемы кольцевой электрической сети (рис.17)  $U_H = 110 \text{ кВ}$  определить:

- при какой длине  $\ell$  участка 0-1 активная мощность на этом участке составит  $P_{01} = 45 \text{ МВт}$ ?

- при каком значении коэффициента мощности нагрузки  $\cos \varphi_3$  реактивная мощность на участке 0-1 составит  $Q_{01} = 20 \text{ Мвар}$ ?

Кольцевая сеть выполнена следующими проводами:

0-1 АС-240; 1-2 АС -95; 2-3 АС-70; 0-3 АС-185.  $\ell_{12} = 10 \text{ км}$ ;  $\ell_{23} = 20 \text{ км}$ ;  $\ell_{30} = 20 \text{ км}$ ;  $S_1 = 30 + j10 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ;  $S_2 = 20 + j10 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ;  $P_3 = 30 \text{ МВт}$ .

Решение:

Кольцевая линия неоднородна, поэтому находим по таблице Приложения Б каталожные данные воздушной ЛЭП:

Участок линии 01:  $r_0 = 0,12 \text{ Ом/км}$ ;  $x_0 = 0,405 \text{ Ом/км}$ .

Участок линии 12:  $r_0 = 0,306 \text{ Ом/км}$ ;  $x_0 = 0,434 \text{ Ом/км}$ .

Участок линии 23:  $r_0 = 0,428 \text{ Ом/км}$ ;  $x_0 = 0,444 \text{ Ом/км}$ .

Участок линии 03:  $r_0 = 0,162 \text{ Ом/км}$ ;  $x_0 = 0,4135 \text{ Ом/км}$ .

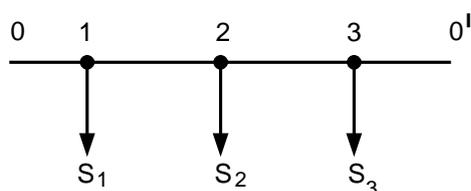


Рисунок 18

1. Сделав разрез по источнику питания, кольцевая линия преобразуется в линию с двухсторонним питанием (рис.18).

2. По формулам (32) и (33) находим сопротивления участков линии

$$01: r_{01} = 0,12 \cdot \ell_{01} \text{ Ом}; x_{01} = 0,405 \cdot \ell_{01} \text{ Ом.}$$

$$12: r_{12} = 0,306 \cdot 10 = 3,06 \text{ Ом}; x_{12} = 0,434 \cdot 10 = 4,34 \text{ Ом.}$$

$$23: r_{23} = 0,428 \cdot 20 = 8,56 \text{ Ом}; x_{23} = 0,444 \cdot 20 = 8,88 \text{ Ом.}$$

$$30: r_{30} = 0,162 \cdot 20 = 3,24 \text{ Ом}; x_{30} = 0,413 \cdot 20 = 8,26 \text{ Ом.}$$

3. Активную мощность на участке 01 определяем по формуле

$$P_{01} = \frac{P_1 \cdot (r_{12} + r_{23} + r_{30}) + P_2 \cdot (r_{23} + r_{30}) + P_3 \cdot r_{30}}{r_{01} + r_{12} + r_{23} + r_{30}}.$$

Подставив значения, получаем

$$P_{01} = \frac{30 \cdot (3,06 + 8,56 + 3,24) + 20 \cdot (8,56 + 3,24) + 30 \cdot 3,24}{0,12 \cdot \ell_{01} + 3,06 + 8,56 + 3,24} = 45,$$

получаем  $\ell_{01} = 20$  км, тогда  $r_{01} = 0,12 \cdot 20 = 2,4$  Ом;  $x_{01} = 0,405 \cdot 20 = 8,1$  Ом.

4. Реактивная мощность на участке 01 определяется по формуле

$$Q_{01} = \frac{Q_1 \cdot (x_{12} + x_{23} + x_{30}) + Q_2 \cdot (x_{23} + x_{30}) + Q_3 \cdot x_{30}}{x_{01} + x_{12} + x_{23} + x_{30}}.$$

Подставив значения, находим  $Q_3$ .

$$Q_{01} = \frac{10 \cdot (4,34 + 8,88 + 8,26) + 10 \cdot (8,88 + 8,26) + Q_3 \cdot 8,26}{8,1 + 4,34 + 8,88 + 8,26} = 20 \text{ Мвар,}$$

получаем  $Q_3 = 25$  Мвар.

$$\text{Тогда } S_3 = \sqrt{P_3^2 + Q_3^2} = \sqrt{30^2 + 25^2} = 39 \text{ МВА.}$$

$$\text{Отсюда } \cos \varphi = \frac{P_3}{S_3} = \frac{30}{39} = 0,77.$$

### Пример 18

Для схемы однородной кольцевой электрической сети  $U_H = 110$  кВ определить, при какой мощности  $S_H$  активная мощность на участке 0 - 3 будет равна  $P_{03} = 40$  МВт, если коэффициент мощности всех нагрузок  $\cos \varphi = 0,8$ ? Определить реактивную мощность на участке 0-1  $Q_{01}$ .

$$\ell_{01} = 30 \text{ км}; \ell_{12} = 15 \text{ км}; \ell_{23} = 10 \text{ км}; \ell_{30} = 20 \text{ км.}$$

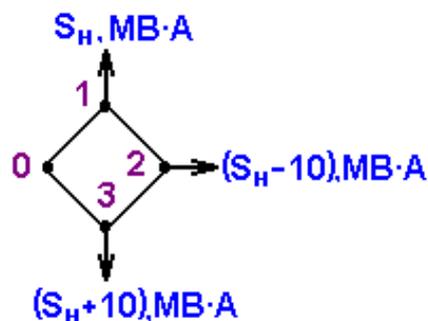


Рисунок 19

Решение:

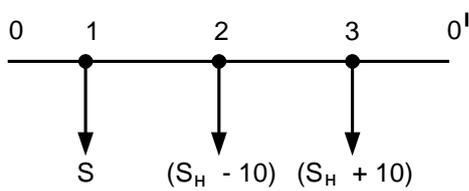


Рисунок 20

1. Сделав разрез по источнику питания, кольцевая линия преобразуется в линию с двухсторонним питанием (рис.20).

2. Т.к. кольцевая линия однородна, то пренебрегаем сопротивлениями и расчет ведем

с использованием длины линии.

Активную мощность на участке 03 определяем по формуле

$$P_{03} = \frac{S_H \cdot \cos \varphi \cdot l_{01} + (S_H - 10) \cdot \cos \varphi \cdot (l_{01} + l_{12}) + (S_H + 10) \cdot \cos \varphi \cdot (l_{01} + l_{12} + l_{23})}{l_{01} + l_{12} + l_{23} + l_{30}}$$

Подставив значения, получаем

$$P_{03} = \frac{S_H \cdot 0,8 \cdot 30 + (S_H - 10) \cdot 0,8 \cdot (30 + 15) + (S_H + 10) \cdot 0,8 \cdot (30 + 15 + 10)}{30 + 15 + 10 + 20} = 40,$$

получаем  $S_H = 28$  МВА;  $(S_H - 10) = 18$  МВА;  $(S_H + 10) = 38$  МВА.

3. Реактивная мощность на участке 01 определяется по формуле

$$Q_{01} = \frac{Q_1 \cdot (l_{12} + l_{23} + l_{30}) + Q_2 \cdot (l_{23} + l_{30}) + Q_3 \cdot l_{30}}{l_{01} + l_{12} + l_{23} + l_{30}}$$

Подставив значения, получаем

$$Q_{01} = \frac{28 \cdot 0,6 \cdot (15 + 10 + 20) + 18 \cdot 0,6 \cdot (10 + 20) + 38 \cdot 0,6 \cdot 20}{30 + 15 + 10 + 20} = 20,5 \text{ Мвар.}$$

### Пример 19

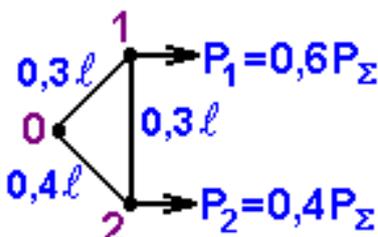


Рисунок 21

Для схемы однородной кольцевой электрической сети (рис.21)  $U_H = 110$  кВ,  $\cos \varphi = 0,8$ , выполненной проводами АС-185 определить:

- при какой мощности  $P_\Sigma$  активная мощность на участке 0-1 составит  $P_{01} = 40$  МВт?

- при какой суммарной длине  $\ell$  воздушной ЛЭП суммарные потери активной мощности в

сети составят  $\Delta P_{\Sigma} = 0,01(P_1 + P_2)$ ?

Решение:

По таблице Приложения Р находим каталожные данные воздушной ЛЭП АС–185:  $r_0 = 0,162$  Ом/км.

1. Сделав разрез по источнику питания, кольцевая линия преобразуется в линию с двухсторонним питанием (рис.22).

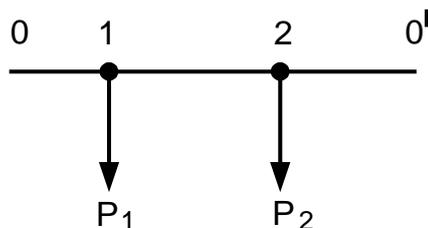


Рисунок 22

2. Так как кольцевая линия однородна, то пренебрегаем сопротивлениями и расчет ведем с использованием длины линии.

3. Активную мощность на участке 01 определяем по формуле

$$P_{01} = \frac{P_1 \cdot (\ell_{12} + \ell_{20}) + P_2 \cdot \ell_{20}}{\ell_{01} + \ell_{12} + \ell_{20}}.$$

Подставив значения, получаем

$$P_{01} = \frac{0,6P_{\Sigma} \cdot (0,3\ell + 0,4\ell) + 0,4P_{\Sigma} \cdot 0,4\ell}{0,3\ell + 0,3\ell + 0,4\ell} = 40,$$

получаем  $P_{\Sigma} = 69$  МВт.

$$P_1 = 0,6 \cdot P_{\Sigma} = 0,6 \cdot 69 = 41,4 \text{ МВт};$$

$$P_2 = 0,4 \cdot P_{\Sigma} = 0,4 \cdot 69 = 27,6 \text{ МВт};$$

4. Потеря активной мощности в ЛЭП определяется по выражению (44). Чтобы определить суммарную потерю мощности в кольцевой сети необходимо определить потери активной мощности на участках кольцевой сети 1–2 и 2–0, а для этого активную мощность на участках сети.

$$P_{20} = \frac{P_2 \cdot (\ell_{01} + \ell_{12}) + P_1 \cdot \ell_{01}}{\ell_{01} + \ell_{12} + \ell_{20}} = \frac{27,6 \cdot (0,3\ell + 0,3\ell) + 41,4 \cdot 0,3\ell}{0,3\ell + 0,3\ell + 0,4\ell} = 29 \text{ МВт.}$$

$$P_{12} = P_{20} - P_2 = 29 - 27,6 = 1,4 \text{ МВт.}$$

$$S_{01} = \frac{P_{01}}{\cos\varphi} = \frac{40}{0,8} = 50 \text{ МВА}; S_{12} = \frac{P_{12}}{\cos\varphi} = \frac{1,4}{0,8} = 1,75 \text{ МВА};$$

$$S_{20} = \frac{P_{20}}{\cos\varphi} = \frac{29}{0,8} = 36,25 \text{ МВА}.$$

$$\Delta P_{01} = \frac{S_{01}^2}{U_H^2} \cdot r_{01} \cdot \ell_{01} = \left(\frac{50}{110}\right)^2 \cdot 0,162 \cdot 0,3\ell \cdot 10^3 = 12,15\ell \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{12} = \frac{S_{12}^2}{U_H^2} \cdot r_{12} \cdot \ell_{12} = \left(\frac{1,75}{110}\right)^2 \cdot 0,162 \cdot 0,3\ell \cdot 10^3 = 0,012\ell \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{20} = \frac{S_{20}^2}{U_H^2} \cdot r_{20} \cdot \ell_{20} = \left(\frac{36,25}{110}\right)^2 \cdot 0,162 \cdot 0,4\ell \cdot 10^3 = 7,04\ell \text{ кВт}.$$

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{01} + \Delta P_{12} + \Delta P_{20} = 12,15\ell + 0,012\ell + 7,04\ell = 19,202\ell.$$

Согласно исходным данным  $\Delta P_{\Sigma} = 0,01(P_1 + P_2) = 0,69 \text{ МВт}$ , отсюда

$$\ell = 36 \text{ км}.$$

### Контрольное задание № 8

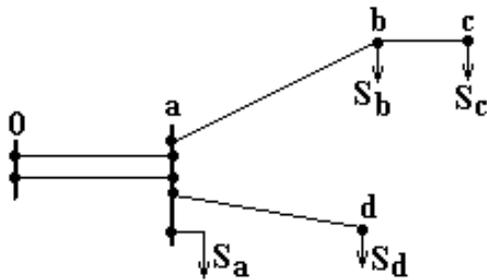


Рисунок 23

Вариант 1. Линия электропередачи напряжением 35 кВ питает понижающие подстанции от источника, находящегося в точке 0 (рис.23). Найти потокораспределение и наибольшую потерю напряжения в линии при максимальной нагрузке, когда напряжение в точке 0 поддерживается равным 37,5 кВ.

0a:  $\ell = 5 \text{ км}$ ; АС-120; ab:  $\ell = 8 \text{ км}$ ; АС-120;

bc:  $\ell = 4 \text{ км}$ ; АС-50; ad:  $\ell = 8 \text{ км}$ ; АС-70.

$S_a = 1,2 + j1,5 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ;  $S_b = 2 + j2,5 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ;

$S_c = 1,8 + j1,0 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ;  $S_d = 1,5 + j2 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ .

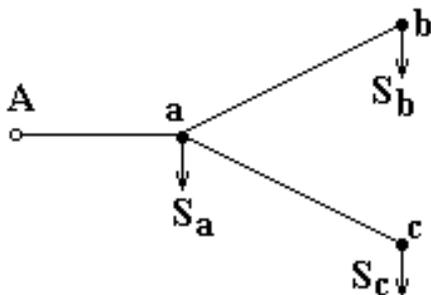


Рисунок 24

Вариант 2. Определить наибольшую потерю напряжения и потери мощности в ЛЭП напряжением 35 кВ (рис.24), если желательно, чтобы в точке с напряжение было не ниже 36 кВ.

Aa:  $\ell = 10 \text{ км}$ ; АС-150; ab:  $\ell = 15 \text{ км}$ ; АС-35;

ac:  $\ell = 12$  км; АС-70.

$S_a = 3,1 + j1,2$  МВ · А;  $S_b = 1,2 + j0,9$  МВ · А;

$S_c = 3,2 + j2,4$  МВ · А.

Вариант 3. Определить наибольшую потерю напряжения в ЛЭП напряжением 6 кВ (рис.25).

Aa:  $\ell = 3$  км; АС-95; ab:  $\ell = 2$  км; АС-35;

ac:  $\ell = 1$  км; АС-35.

$S_a = 180 + j120$  кВ · А;  $S_b = 250 + j180$  кВ · А;

$S_c = 320 + j200$  кВ · А.

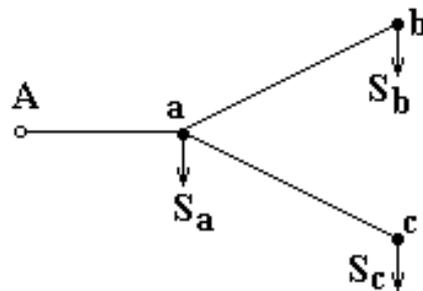


Рисунок 25

Вариант 4. Определить наибольшую потерю напряжения и потери мощности в ЛЭП напряжением 6 кВ, участки которой выполнены проводами (рис.26):

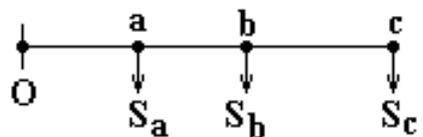


Рисунок 26

Oa:  $\ell = 4$  км; АС-95; ab:  $\ell = 5$  км; АС-70;

bc:  $\ell = 10$  км АС-50.

$S_a = 250 + j200$  кВ · А;  $S_b = 290 + j210$  кВ · А;

$S_c = 200 + j150$  кВ · А.

Вариант 5. Определить наибольшую потерю напряжения в ЛЭП напряжением 6 кВ, участки которой выполнены проводами (рис.27):

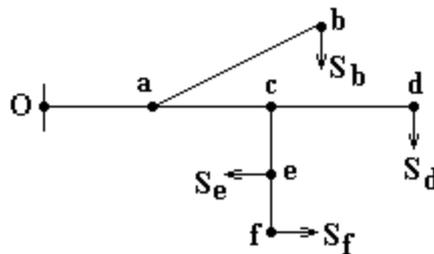


Рисунок 27

Oa:  $\ell = 6$  км; АС-95; ab:  $\ell = 15$  км; АС-35;

ac:  $\ell = 4$  км; АС-70; cd:  $\ell = 8$  км; АС-35;

ce:  $\ell = 6$  км; АС-50; ef:  $\ell = 10$  км; АС-35.

$S_b = 240 + j180$  кВ · А;  $S_d = 280 + j210$  кВ · А;

$S_e = 240 + j180$  кВ · А;  $S_f = 240 + j180$  кВ · А.

Вариант 6. Определить наибольшую потерю напряжения в ЛЭП напряжением 10 кВ, участки которой выполнены проводами (рис.28):

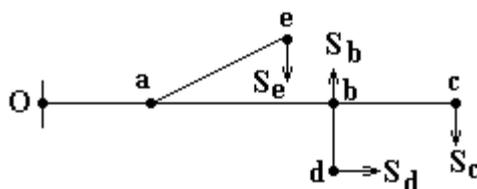


Рисунок 28

Oa:  $\ell = 2$  км; АС-95; ab:  $\ell = 6$  км; АС-70;

bc:  $\ell = 4$  км; АС-35; bd:  $\ell = 3$  км; АС-35;

ae:  $\ell = 5$  км; АС-35.

$S_b = 170 + j130$  кВ · А;  $S_c = 220 + j170$  кВ · А;

$S_d = 150 + j110$  кВ · А;  $S_e = 280 + j210$  кВ · А.

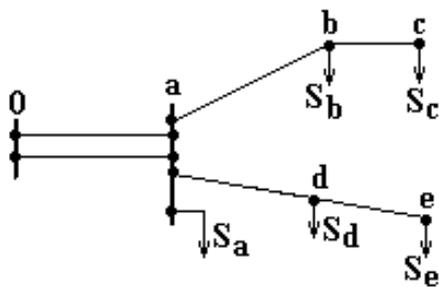


Рисунок 29

**Вариант 7.** Определить наибольшую потерю напряжения в ЛЭП напряжением 35 кВ (рис.29). Напряжение в центре питания (точка 0) поддерживается на уровне 37 кВ. Участки выполнены проводами:

Oa:  $\ell = 15$  км; АС-95; ab:  $\ell = 3$  км; АС-35;

bc:  $\ell = 2$  км; АС-35; ad:  $\ell = 2$  км; АС-35;

de:  $\ell = 1$  км; АС-35.

$S_a = 6,4 + j4,8$  МВ·А;  $S_b = 0,7 + j0,71$  МВ·А;

$S_c = 0,3 + j0,4$  МВ·А;  $S_d = 0,4 + j0,3$  МВ·А;

$S_e = 0,6 + j0,8$  МВ·А.

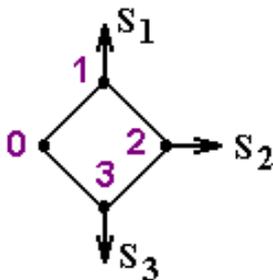


Рисунок 30

**Вариант 8.** Для схемы кольцевой электрической сети  $U_H = 110$  кВ (рис.30) определить, при какой длине  $\ell$  участка 0-3 активная мощность на участке 0-1 будет равна  $P_{01} = 35$  МВт? Определить реактивную мощность на участке 3-0  $Q_{30}$ .

Кольцевая сеть выполнена следующими проводами:

0-1: АС-185; 1-2: АС-120; 2-3: АС-95; 3-0: АС-70.

$\ell_{01} = 30$  км;  $\ell_{12} = 10$  км;  $\ell_{23} = 15$  км.

$S_1 = 30 + j10$  МВ·А;  $S_2 = 20 + j10$  МВ·А;  $S_3 = 25 + j10$  МВ·А.

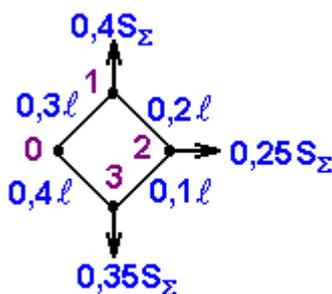


Рисунок 31

**Вариант 9.** Для схемы однородной кольцевой электрической сети  $U_H = 110$  кВ (рис.31) суммарной длиной  $\ell$  определить:

- при какой мощности нагрузок  $S_\Sigma$  мощность на участке 0-1 составит  $S_{01} = 30$  МВ·А?

- при какой длине  $\ell$  потери мощности в сети составят  $\Delta P_\Sigma = 0,005 S_\Sigma$ ?

Все линии выполнены сталеалюминиевыми проводами АС-150.

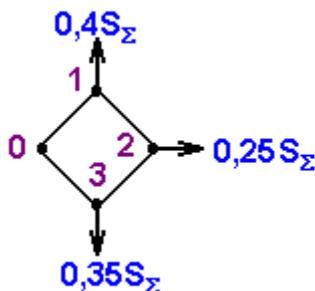


Рисунок 32

**Вариант 10.** Для схемы однородной кольцевой электрической сети  $U_H = 110$  кВ (рис.32), определить, при какой суммарной мощности нагрузок  $S_\Sigma$  активная мощность на участке 0-1 составит  $P_{01} = 20$  МВт? Определить реактивную мощность на участке 3-0  $Q_{30}$ .

$\cos \varphi_1 = 0,8$ ;  $\cos \varphi_2 = 0,9$ ;  $\cos \varphi_3 = 0,85$ .

$l_{01} = 30$  км;  $l_{12} = 5$  км;  $l_{23} = 15$  км;  $l_{30} = 20$  км.

**Вариант 11.** Для схемы однородной кольцевой электрической сети  $U_H = 110$  кВ (рис.33) определить:

- при какой длине  $l$  участка 0-1 активная мощность на участке 0 - 3 составит  $P_{03} = 40$  МВт?

- при каком коэффициенте мощности нагрузки  $\cos \varphi_3$  реактивная мощность на участке 0-1 составит  $Q_{01} = 30$  Мвар ?

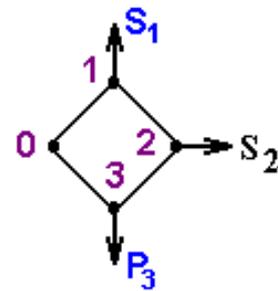


Рисунок 33

$l_{12} = 10$  км;  $l_{23} = 5$  км;  $l_{30} = 15$  км.

$S_1 = 50$  МВ·А;  $\cos \varphi_1 = 0,8$ ;  $S_2 = 10 + j5$  МВ·А;  $P_3 = 25$  МВт.

**Вариант 12.** Для схемы однородной кольцевой электрической сети  $U_H = 110$  кВ (рис.34) определить:

- при какой длине  $l$  участка 0-1 реактивная мощность на участке 0-2 составит  $Q_{02} = 15$  Мвар?

- при каком коэффициенте мощности нагрузок  $\cos \varphi$  активная мощность на участке 0-1 составит  $P_{01} = 32$  МВт?

Коэффициент мощности всех нагрузок  $\cos \varphi$  принять одинаковым.

$l_{12} = 10$  км;  $l_{20} = 15$  км;  $Q_1 = 15$  Мвар;  $Q_2 = 30$  Мвар

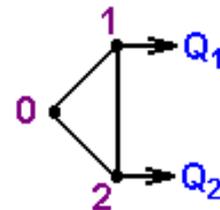


Рисунок 34

**Вариант 13.** Для схемы однородной кольцевой электрической сети  $U_H = 110$  кВ (рис.35), выполненной проводами АС-150, определить:

- при каких значениях суммарной мощности нагрузки  $S_\Sigma$  и коэффициенте мощности нагрузок  $\cos \varphi$  мощность на участке 0-2 составит  $S_{02} = 40 + j30$  МВ·А?

- при какой длине  $l$  суммарные потери активной мощности в сети составят  $\Delta P_\Sigma = 0,01 S_\Sigma$ ?

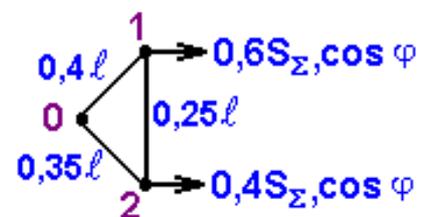


Рисунок 35

**Вариант 14.** Для схемы однородной кольцевой электрической сети  $U_H = 110$  кВ (рис.36), выполненной проводами АС-150, определить:

- при каких значениях коэффициентов мощности  $\cos \varphi_1$  и  $\cos \varphi_2$  мощность на участке 0-1 составит  $S_{01} = 40 + j30$  МВ·А?

- при какой длине  $l$  суммарные потери активной

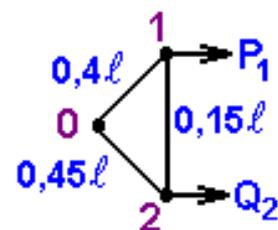


Рисунок 36

мощности составят  $\Delta P_{\Sigma} = 0,03(P_1 + P_2)$ ?

$P_1 = 20 \text{ МВт}$ ;  $Q_2 = 30 \text{ Мвар}$ .

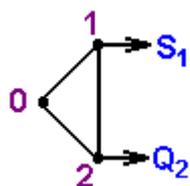


Рисунок 37

$l_{01} = 30 \text{ км}$ ;  $l_{12} = 15 \text{ км}$ ;  $S_1 = 50 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ,  $\cos \varphi_1 = 0,8$ ;

$Q_2 = 20 \text{ Мвар}$ .

**Вариант 15.** Для схемы однородной кольцевой электрической сети  $U_H = 110 \text{ кВ}$  (рис.37) определить:

- при какой длине  $l$  участка 0-2 реактивная мощность на участке 0-1 составит  $Q_{01} = 20 \text{ Мвар}$ ?

- при каком коэффициенте мощности нагрузки  $\cos \varphi_2$  активная мощность на участке 0-1 составит  $P_{01} = 30 \text{ Мвар}$ ?

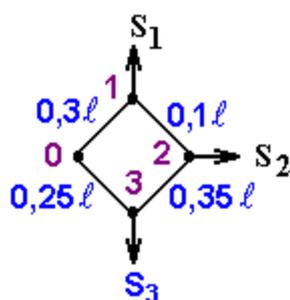


Рисунок 38

**Вариант 16.** Для схемы однородной кольцевой электрической сети  $U_H = 110 \text{ кВ}$  (рис.38), выполненной проводами АС-185, определить:

- при какой мощности нагрузки  $S_1$  мощность на участке 0-3 составит  $S_{03} = 38 + j25 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ?

- при какой длине  $l$  суммарные потери активной мощности составят  $\Delta P_{\Sigma} = 0,02(P_1 + P_2 + P_3)$ ?

$S_2 = 20 + j10 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ;  $S_3 = 30 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ;  $\cos \varphi_2 = 0,9$ ;

$\cos \varphi_3 = 0,8$

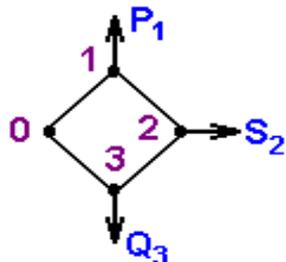


Рисунок 39

**Вариант 17.** Для схемы однородной кольцевой электрической сети  $U_H = 110 \text{ кВ}$  (рис.39) определить

при каких значениях коэффициентов мощности нагрузок  $\cos \varphi_1$  и  $\cos \varphi_3$  мощность на участке 0-1 составит  $S_{01} = 30 + j20 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ?

$l_{01} = 25 \text{ км}$ ;  $l_{12} = 15 \text{ км}$ ;  $l_{23} = 10 \text{ км}$ ;  $l_{30} = 10 \text{ км}$ ;

$P_1 = 30 \text{ МВт}$ ;  $S_2 = 20 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ,  $\cos \varphi_2 = 0,9$ ;  $Q_3 = 15 \text{ Мвар}$ .

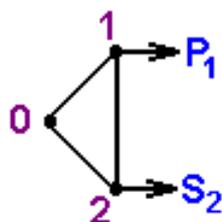


Рисунок 40

**Вариант 18.** Для схемы однородной кольцевой электрической сети  $U_H = 110 \text{ кВ}$  (рис.40) определить, при каких значениях мощности нагрузки  $S_1$  мощность на участке 0-2 составит  $S_{02} = 35 + j20 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ ?

$l_{01} = 30 \text{ км}$ ;  $l_{12} = 15 \text{ км}$ ;  $l_{20} = 25 \text{ км}$ .

$S_2 = (P_1 + 10) + j(Q_1 + 5) \text{ МВ} \cdot \text{А}$ .

Вариант 19. Четыре электропотребителя питаются от замкнутой линии напряжением 6 кВ (рис.41). Кольцевая линия выполнена проводом АС-95, а ответвления - проводом АС-70. Определить мощность на всех участках линии и максимальную потерю напряжения в ней.

Ас:  $l = 2$  км; Аа:  $l = 2$  км; аb:  $l = 4$  км; bс:  $l = 3$  км;  
 bd:  $l = 1$  км; ае:  $l = 3$  км; еf:  $l = 5$  км.  $S_c = 1,5 + j1,2$  МВ·А;  
 $S_d = 0,5 + j0,3$  МВ·А;  $S_e = 0,8 + j0,6$  МВ·А;  $S_f = 0,4 + j0,3$  МВ·А.

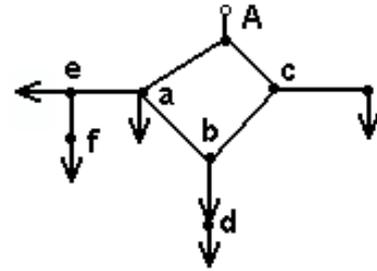


Рисунок 41

Вариант 20. Для схемы однородной кольцевой электрической сети  $U_H = 110$  кВ (рис.42) определить, при каких значениях мощности нагрузки  $S_1 = P_1 + jQ_1$  мощность на участке 0-3 составит  $S_{03} = 40 + j25$  МВ·А?

$l_{01} = 20$  км;  $l_{12} = 10$  км;  $l_{23} = 10$  км;  $l_{30} = 30$  км.

$S_2 = (P_1 + 5) + j(Q_1 - 5)$  МВ·А;  $S_3 = (P_1 + 10) + j(Q_1 + 5)$  МВ·А.

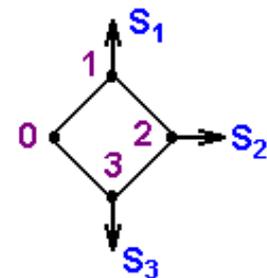


Рисунок 42

Вариант 21. Для схемы кольцевой сети  $U_H = 110$  кВ (рис.43) определить, при каких значениях  $\cos \varphi_1$  и  $\cos \varphi_2$  мощность на участке 0-1 составит  $S_{01} = 30 + j20$  МВ·А?

Кольцевая сеть выполнена следующими проводами:

0-1: АС-185,  $l_{01} = 20$  км; 1-2: АС-120,  $l_{12} = 15$  км;

0-2: АС-150,  $l_{20} = 25$  км;  $P_1 = 30$  МВт;  $Q_2 = 20$  Мвар.

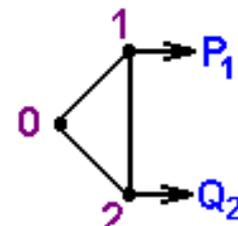


Рисунок 43

Вариант 22. Для схемы кольцевой электрической сети  $U_H = 110$  кВ (рис.44) определить:

- при какой длине  $l$  участка 0-1 активная мощность на этом участке составит  $P_{01} = 45$  МВт?

- при каком значении коэффициента мощности нагрузки  $\cos \varphi_3$  реактивная мощность на участке 0-1 составит  $Q_{01} = 20$  Мвар?

Кольцевая сеть выполнена следующими проводами:

0-1 АС-240; 1-2 АС -95;  $l_{12} = 10$  км; 2-3 АС-70;  $l_{23} = 20$  км;

0-3 АС-185  $l_{30} = 20$  км.

$S_1 = 30 + j10$  МВ·А;  $S_2 = 20 + j10$  МВ·А;  $P_3 = 30$  МВт.

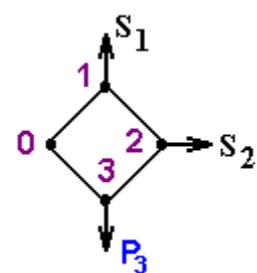


Рисунок 44

Вариант 23. Для схемы однородной кольцевой электрической сети  $U_H = 110$  кВ (рис.45), выполненной проводами АС-240, определить:

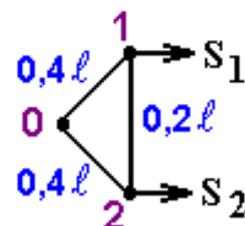


Рисунок 45

- при какой мощности нагрузки  $S_1$  мощность на участке 0-1 составит  $S_{01} = 25 + j15 \text{ МВ}\cdot\text{А}$ ?

- при какой длине  $\ell$  суммарные потери активной мощности в сети составят  $\Delta P_{\Sigma} = 0,02(P_1 + P_2)$ ?

$$S_2 = 20 + j15 \text{ МВ}\cdot\text{А}; \cos \varphi_1 = 0,8$$

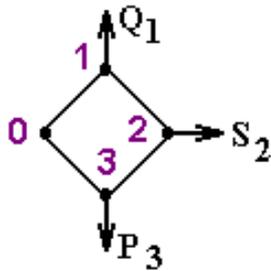


Рисунок 46

Вариант 24. Для схемы кольцевой сети  $U_H = 110 \text{ кВ}$  (рис.46) определить, при каких значениях мощностей нагрузок  $P_1$  и  $Q_3$  мощность на участке 0-1 составит  $S_{01} = 45 + j20 \text{ МВ}\cdot\text{А}$ ?

Кольцевая сеть выполнена следующими проводами:

0-1: АС-240,  $\ell_{01} = 30 \text{ км}$ ; 1-2: АС-120,  $\ell_{12} = 15 \text{ км}$ ; 2-3: АС-95,  $\ell_{23} = 10 \text{ км}$ ; 0-3: АС-185,  $\ell_{03} = 20 \text{ км}$ .

$$Q_1 = 15 \text{ Мвар}; S_2 = 20 + j10 \text{ МВ}\cdot\text{А}; P_3 = 30 \text{ МВт}.$$

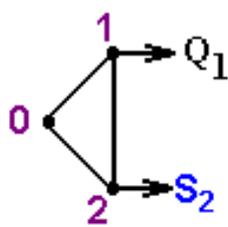


Рисунок 47

Вариант 25. Для схемы однородной кольцевой сети  $U_H = 110 \text{ кВ}$  (рис.47), выполненной проводами АС-120, определить, при каких значениях длины участка 0-1  $\ell$  и активной мощности нагрузки  $P_1$  мощность на участке 0-1 составит  $S_{01} = 40 + j20 \text{ МВ}\cdot\text{А}$ ?

$$\ell_{12} = 10 \text{ км}; \ell_{20} = 20 \text{ км}; Q_1 = 20 \text{ Мвар}; S_2 = 30 + j15 \text{ МВ}\cdot\text{А}.$$

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Старкова, Л. Е. Электрическое освещение: учеб. пособие / Л. Е. Старкова. - Вологда: ВоГТУ, 2000. - 108 с.
2. Старкова, Л. Е. Справочник цехового энергетика / Л. Е. Старкова. – 2-е изд. - Вологда: ВоГТУ, 2011. - 286 с.
3. Потребители электрической энергии: метод. указания к курсовому проекту: спец. 140610 (181300) / сост. И. Ю. Сергиевская. - Вологда: ВоГТУ, 2005. - 40 с.
4. Немировский, А.Е. Электрические сети и станции систем электроснабжения. Электрическое оборудование станций и подстанций: учеб. пособие / А.Е. Немировский, И.Ю. Сергиевская. Ч.2 - Вологда: ВоГТУ, 2008. - 104с.
5. Вагин, Г.Я. Режимы электросварочных машин / Г.Я. Вагин. - Москва: Энергоатомиздат, 1985. – 192 с.
6. Сюсюкин, А.М. Основы электроснабжения предприятий: в 2 ч. Ч. 1 / А.М. Сюсюкин. - Тюмень: ТюмГНГУ, 1998. – 204 с.
7. Кудрин, Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий / Б.И. Кудрин. - Москва: Энергоатомиздат, 1995. – 413 с.
8. Кнорринг, Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г.М. Кнорринг, И.М. Фадин, В.Н. Сидоров. -2-е изд. перераб и доп. – Санкт-Петербург: Энергоиздат, 1992. – 448 с.
9. Электрические станции и сети систем электроснабжения: метод. указания для выполнения контрольных работ/ сост. И. Ю. Сергиевская, А.Е. Немировский. - Вологда: ВоГТУ, 2012. - 23 с.
10. Электрооборудование источников энергии, электрических сетей и промышленных предприятий: метод. указания к практическим занятиям, контрольной и самостоятельной работе/ сост. И. Ю. Сергиевская, А.Е. Немировский, Л.Ю. Крепышева. - Вологда: ВоГТУ, 2013. - 34 с.
11. Правила устройства электроустановок / Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному контролю. - 7-е изд. – Санкт-Петербург: ДЕАН, 2014. - 1164 с.

**Потребители электроэнергии механического цеха**

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Наименование потребителей	Количество потребителей																								
1. Токарные: $k_{и} = 0,2; \cos\phi = 0,65$ $P_{н} = 12 \text{ кВт}$ $P_{н} = 5 \text{ кВт}$	8	7	12	15	-	-	5	-	30	-	-	8	-	-	3	20	-	-	10	1	-	4	2	-	6
	5	4	-	4	18	40	-	1	-	16	1	11	1	-	4	8	4	2	-	-	10	20	4	-	7
2. Строгальные: $k_{и} = 0,2; \cos\phi = 0,65$ $P_{н} = 5 \text{ кВт}$ $P_{н} = 9 \text{ кВт}$	8	-	6	2	-	16	40	-	11	-	1	-	-	-	4	-	-	-	25	3	-	10	15	-	15
	8	-	9	2	4	-	-	4	-	13	4	7	2	1	6	10	2	3	10	-	5	-	8	1	-
3. Долбежные: $k_{и} = 0,2; \cos\phi = 0,65$ $P_{н} = 2,7 \text{ кВт}$ $P_{н} = 5,4 \text{ кВт}$	3	10	5	-	10	-	-	-	10	-	20	14	2	-	8	12	7	-	-	-	16	19	-	12	10
	2	5	-	8	-	10	5	-	-	15	-	-	4	-	1	-	4	2	-	8	10	15	-	6	10
4. Фрезерные: $k_{и} = 0,2; \cos\phi = 0,65$ $P_{н} = 6 \text{ кВт}$ $P_{н} = 12 \text{ кВт}$	5	10	2	-	8	-	30	10	-	17	15	6	16	-	-	4	10	5	-	7	3	4	-	3	20
	8	4	10	-	3	20	4	-	3	2	5	-	9	7	14	-	6	4	5	14	-	7	6	5	-
5. Сверлильные: $k_{и} = 0,2; \cos\phi = 0,65$ $P_{н} = 1 \text{ кВт}$ $P_{н} = 5 \text{ кВт}$ $P_{н} = 10 \text{ кВт}$	-	8	4	14	-	5	-	10	5	18	11	-	7	12	-	-	40	6	-	14	12	16	10	-	30
	10	6	9	8	24	-	-	6	-	5	2	3	11	-	-	4	10	12	8	20	6	-	14	6	8
	6	2	2	3	3	2	5	-	2	7	-	3	4	6	40	1	4	13	9	-	2	30	8	2	-
6. Карусельные: $k_{и} = 0,2; \cos\phi = 0,65$ $P_{н} = 30 \text{ кВт}$ $P_{н} = 33 \text{ кВт}$	3	-	2	6	-	-	1	-	4	3	-	4	3	-	5	2	-	4	2	-	-	4	-	2	5
	-	8	-	-	-	-	-	9	-	-	10	-	-	13	-	-	1	-	-	3	10	-	3	-	-

Продолжение приложения А

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Наименование потребителей	Количество потребителей																								
7. Точильные: $k_{и} = 0,2; \cos\varphi = 0,65$ $P_{н} = 3 \text{ кВт}$ $P_{н} = 11 \text{ кВт}$	-	6	12	4	10	1	2	-	3	-	-	20	15	2	30	14	7	9	5	-	-	-	8	18	-
	2	-	3	5	17	-	-	15	-	-	-	8	10	-	-	4	19	12	-	10	-	-	6	26	-
8. Шлифовальные: $k_{и} = 0,2; \cos\varphi = 0,65$ $P_{н} = 15 \text{ кВт}$ $P_{н} = 26 \text{ кВт}$ $P_{н} = 31 \text{ кВт}$	4	6	12	5	20	-	4	-	-	8	2	5	1	-	1	4	12	-	-	6	2	10	-	7	5
	3	5	-	-	1	10	-	1	4	6	7	-	-	4	3	-	5	1	3	4	5	-	2	3	10
	1	4	5	2	-	-	3	1	2	-	-	6	4	3	2	5	-	-	2	3	1	-	4	2	3
9. Вентиляторы: $k_{и} = 0,7; \cos\varphi = 0,8$ $P_{н} = 7 \text{ кВт}$ $P_{н} = 10 \text{ кВт}$	2	-	-	4	3	5	1	-	4	3	5	2	3	-	1	3	3	6	-	-	6	5	4	1	2
	2	1	9	-	-	2	2	7	3	-	-	3	4	10	4	5	-	-	7	15	-	2	3	1	-
10. Кран-балка: ПВ= 40%, $k_{и} = 0,1;$ $\cos\varphi = 0,5$ $P_{\text{пасп.}} = 10 \text{ кВт}$ $P_{\text{пасп.}} = 22 \text{ кВт}$	2	4	-	3	2	-	5	-	1	-	4	6	8	-	2	3	-	-	-	3	2	7	-	-	4
	4	1	6	-	-	5	2	-	-	1	-	-	1	-	-	-	2	3	4	-	-	-	6	3	-

**Потребители электроэнергии термического цеха**

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Наименование потребителей	Количество потребителей																								
1. Электроды сопротивления: $k_{и} = 0,75$ ; $\cos\varphi = 0,95$ (трехфазная) $P_{н} = 24$ кВт; $U_{н} = 380$ В	3	4	2	-	3	5	4	2	1	6	3	2	4	-	3	5	2	1	4	3	1	4	5	-	4
(однофазные) $P_{н} = 60$ кВт; $U_{н} = 380$ В $P_{н} = 40$ кВт; $U_{н} = 220$ В	2	3	4	2	-	3	2	1	6	2	-	1	3	2	4	-	5	1	2	3	3	5	-	2	4
	2	-	1	2	6	4	5	-	4	3	5	2	4	5	-	-	3	2	4	2	4	1	-	2	3
2. Двухкамерная печь сопротивления (однофазная): $k_{и} = 0,75$ ; $\cos\varphi = 0,95$ $P_{н} = 19$ кВт; $U_{н} = 380$ В	4	2	3	2	3	3	-	4	2	2	3	5	3	2	2	3	-	4	2	3	5	3	3	2	2
3. Муфельная печь: $k_{и} = 0,75$ ; $\cos\varphi = 0,95$ $P_{н} = 2,2$ кВт; $U_{н} = 220$ В	1	3	4	3	4	-	2	2	-	3	4	3	-	3	2	2	3	4	3	2	3	-	3	2	4
4. Камерная печь сопротивления: $k_{и} = 0,75$ ; $\cos\varphi = 0,95$ $P_{н} = 6$ кВт; $U_{н} = 220$ В	4	2	-	3	4	5	2	3	3	-	2	4	3	3	2	4	3	-	2	2	3	3	4	2	3
5. Индукционная печь (однофазная): $k_{и} = 0,5$ ; $\cos\varphi = 0,95$ $P_{н} = 10$ кВт; $U_{н} = 380$ В	3	5	4	3	4	2	3	3	4	2	5	-	2	2	4	3	4	2	-	2	4	3	3	4	5
6. Вентиляторы: $k_{и} = 0,7$ ; $\cos\varphi = 0,8$ $P_{н} = 3$ кВт $P_{н} = 7$ кВт	4	-	4	3	2	-	-	-	5	4	-	-	-	4	2	3	4	-	-	2	4	3	-	5	-
	-	5	-	-	-	2	4	3	-	-	4	3	2	-	-	-	-	3	2	-	-	-	1	-	4
7. Кран-балка: ПВ= 40%, $k_{и} = 0,1$ ; $\cos\varphi = 0,5$ $P_{насп.} = 10$ кВт	3	4	3	2	2	3	2	4	5	2	2	3	3	2	4	4	3	3	2	2	4	5	3	3	2

Потребители электроэнергии сварочного цеха

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Наименование потребителей	Количество потребителей																								
1. Точечные машины: а) МТ-810; $U_H = 220$ В; $S_H = 20$ кВ·А; ПВ = 50 %	3	4	2	5	1	4	-	-	3	2	4	2	3	-	-	-	3	2	-	-	1	5	4	-	-
б) МТ-810; $U_H = 380$ В; $S_H = 20$ кВ·А; ПВ = 50 %	1	3	2	4	-	2	4	-	5	1	3	-	-	-	4	2	3	-	1	2	-	-	3	4	-
в) МТ-1214; $U_H = 220$ В; $S_H = 50$ кВ·А; ПВ = 20 %	4	-	-	3	4	-	2	2	5	4	-	-	-	3	4	2	-	4	5	3	4	4	-	2	4
г) МТ-1214; $U_H = 380$ В; $S_H = 50$ кВ·А; ПВ = 20 %	-	2	-	-	4	5	2	2	-	-	4	3	2	4	-	3	1	2	2	-	4	3	5	-	2
д) МТ-1220; $U_H = 380$ В; $S_H = 44$ кВ·А; ПВ = 32 %	2	-	3	4	2	2	-	3	5	2	2	4	2	-	-	3	3	2	-	-	-	2	2	4	5
е) МТ-1614; $U_H = 220$ В; $S_H = 90$ кВ·А; ПВ = 32 %	3	-	4	4	2	2	-	3	5	3	4	2	2	-	-	4	2	3	-	-	3	3	2	-	-
ж) МТ-2507; $U_H = 380$ В; $S_H = 170$ кВ·А; ПВ = 20 %	5	2	4	-	-	2	2	3	4	2	-	-	-	1	2	2	2	3	4	-	-	-	2	5	3
2. Роликовые машины: а) МР-2507; $U_H = 380$ В; $S_H = 131$ кВ·А; ПВ = 20 %	-	1	-	5	2	-	-	-	-	3	3	4	2	2	1	-	-	-	1	3	5	4	1	1	-
б) МР-4002; $U_H = 380$ В; $S_H = 310$ кВ·А; ПВ = 20 %	4	1	1	1	-	2	2	-	1	-	3	-	-	-	3	3	2	-	-	3	2	2	3	-	3

Продолжение приложения В

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Наименование потребителей	Количество потребителей																								
3. Стыковые машины: а) МС-2008; $U_H = 380$ В; $S_H = 150$ кВ·А; ПВ=12,5 %	-	4	2	4	-	2	-	2	5	4	-	-	2	5	4	2	3	-	5	3	-	1	2	5	3
б) МС-1602; $U_H = 220$ В; $S_H = 96,5$ кВ·А; ПВ=12,5 %	5	-	4	2	5	3	4	-	-	3	4	2	3	3	2	-	-	3	4	4	5	3	-	-	-
в) МС-1602; $U_H = 380$ В; $S_H = 96,5$ кВ·А; ПВ=12,5 %	2	2	3	3	3	2	3	4	-	-	3	5	4	3	-	2	3	-	4	2	4	3	5	-	2
г) МСО-0801; $U_H = 380$ В; $S_H = 310$ кВ·А; ПВ = 20 %	3	1	2	-	3	4	2	-	-	1	3	2	-	3	3	1	-	3	2	4	-	1	3	4	-
4. Шовные машины: а) МШ-1601; $U_H = 380$ В; $S_H = 75$ кВ·А; ПВ = 20 %	2	3	5	4	3	-	-	1	5	3	2	4	3	1	-	4	3	2	4	4	1	5	3	-	3
б) МШ-1601; $U_H = 220$ В; $S_H = 75$ кВ·А; ПВ = 50 %	-	4	4	3	2	2	1	-	-	2	3	4	5	-	3	4	-	3	5	3	2	-	1	2	-
в) МШ-1001; $U_H = 380$ В; $S_H = 27$ кВ·А; ПВ = 50 %	-	3	3	5	2	3	5	-	-	-	3	5	4	2	2	-	-	4	5	-	4	3	3	3	-
г) МШ-1601; $U_H = 220$ В; $S_H = 27$ кВ·А; ПВ = 50 %	4	5	-	3	-	4	5	3	3	2	-	2	5	1	3	5	-	3	2	3	5	3	2	4	3
д) МШ-1202; $U_H = 380$ В; $S_H = 80$ кВ·А; ПВ = 20 %	2	-	-	2	3	5	4	2	4	3	-	-	3	4	5	2	3	-	-	2	5	1	3	2	-
5. Сварочные трансформаторы: а) ТД-502У2; $U_H = 220$ В; $S_H = 26,6$ кВ·А; ПВ = 60 %	4	5	4	3	2	-	-	-	3	4	-	-	-	5	3	2	-	-	-	-	-	3	3	5	-
б) ТДП-1; $U_H = 220$ В; $S_H = 11,4$ кВ·А; ПВ = 20 %	-	-	-	3	-	4	3	3	2	2	3	2	2	-	-	-	4	2	3	2	4	-	-	-	3

Продолжение приложения В

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Наименование потребителей	Количество потребителей																								
(трехфазные) ТД-500; $U_H = 380$ В; $S_H = 32$ кВ·А; ПВ = 60 %	3	5	2	-	-	-	-	3	2	1	5	4	2	-	-	-	-	2	2	5	3	4	4	-	-
ТДР-1601; $U_H = 380$ В; $S_H = 130$ кВ·А; ПВ = 25 %	-	-	-	3	4	5	4	-	-	-	-	-	-	3	3	4	5	-	-	-	-	-	-	2	5

Приложение Г

Размеры помещения

ВАРИАНТ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Размеры цеха, м	Длина, А	45	55	52	56	65	68	58	54	50	60	46	48	62	66	64	65	42	44	50	48	52	56	60	62	57
	Ширина, В	25	35	34	30	48	52	26	28	32	38	24	28	42	46	44	36	22	20	26	24	30	34	40	35	30
	Высота, С	12	14	10	12	12	12	10	10	12	14	12	10	12	12	10	12	10	12	14	14	12	12	10	10	10
$E_H$ , лк	300	300	200	300	200	300	300	200	300	200	200	300	200	200	300	300	200	300	200	200	300	200	200	200	300	300
$K_{зап}$	1,5	1,5	1,8	1,5	1,8	1,5	1,5	1,8	1,5	1,8	1,8	1,5	1,8	1,8	1,5	1,5	1,8	1,5	1,8	1,8	1,5	1,8	1,8	1,8	1,5	1,5
Кол-во ламп, шт	45	60	63	110	150	221	70	55	80	84	40	60	84	135	96	90	30	24	50	40	45	60	60	72	80	
Тип цеха	механический	сборочный	термический	механический	сварочный	механический	сборочный	термический	механический	сварочный	термический	механический	сварочный	термический	механический	сборочный	термический	механический	сварочный	термический	механический	сборочный	сварочный	термический	механический	

## Данные для расчета осветительной нагрузки

№ варианта	$S_p$ , кВт·А	Тип цеха	$p_{уд}$ , Вт/м <sup>2</sup> .
1	868	Литейный	12,6
2	600	Механосборочный	12,6
3	542	Плавильный	13,8
4	980	Механический	12,6
5	1200	ЭЛЕКТРОСВАРОЧНЫЙ	12,6
6	430	Сборочный	12,6
7	1260	Термический	12,6
8	400	Штамповочный	12,6
9	300	Фрезерный	14,1
10	295	Металлоконструкций	14,1
11	405	Блок вспомогательных цехов	12,6
12	958	Деревообрабатывающий	12,6
13	700	Прессовочный для завода пластмасс	12,6
14	890	Инструментальный	12,6
15	964	Механосборочный	12,3
16	1600	Литейный	12,6
17	3800	Плавильный	12,3
18	400	Прессовой	12,6
19	3670	Нефтеаппаратуры	12,6
20	560	Электросварочный	14,1
21	2340	Бурового оборудования	12,3
22	450	Фрезерный	12,6
23	500	Механический	12,6
24	4280	Горно-шахтного оборудования	12,3

**Значения коэффициентов расчетной нагрузки  $K_p$  для питающих  
сетей напряжением до 1 кВ**

n <sub>эф</sub>	Коэффициент использования $K_{и}$								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,6	1,33	1,14	1,0
2	6,22	4,33	3,39	2,45	1,98	1,6	1,33	1,14	1,0
3	4,05	2,89	2,31	1,74	1,45	1,34	1,22	1,14	1,0
4	3,24	2,35	1,91	1,47	1,25	1,21	1,12	1,06	1,0
5	2,84	2,09	1,72	1,35	1,16	1,16	1,08	1,03	1,0
6	2,64	1,96	1,62	1,28	1,11	1,13	1,06	1,01	1,0
7	2,49	1,86	1,54	1,23	1,12	1,1	1,04	1,0	1,0
8	2,37	1,78	1,48	1,19	1,1	1,08	1,02	1,0	1,0
9	1,27	1,71	1,43	1,16	1,09	1,07	1,01	1,0	1,0
10	2,18	1,65	1,39	1,13	1,07	1,05	1,0	1,0	1,0
11	2,11	1,61	1,35	1,1	1,06	1,04	1,0	1,0	1,0
12	2,01	1,56	1,32	1,08	1,05	1,03	1,0	1,0	1,0
13	1,99	1,52	1,29	1,06	1,04	1,01	1,0	1,0	1,0
14	1,94	1,49	1,27	1,05	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,89	1,46	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
16	1,85	1,43	1,23	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
17	1,81	1,41	1,21	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
18	1,78	1,39	1,19	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
19	1,75	1,36	1,17	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	1,72	1,35	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
21	1,69	1,33	1,15	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
22	1,67	1,31	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
23	1,64	1,3	1,12	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
24	1,62	1,28	1,11	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	1,6	1,27	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
30	1,51	1,21	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
35	1,44	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
40	1,4	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
45	1,35	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
50	1,3	1,07	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
60	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
70	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
80	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
90	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

**Коэффициенты приведения**

Обозначения	При значениях коэффициента мощности $\cos \varphi$							
	0,4	0,5	0,6	0,65	0,7	0,8	0,9	1
$P_{(AB/A)}, P_{(BC/B)}, P_{(CA/C)}$	1,17	1	0,89	0,84	0,8	0,72	0,64	0,5
$P_{(AB/B)}, P_{(BC/C)}, P_{(CA/A)}$	-0,17	0	0,11	0,16	0,2	0,28	0,36	0,5
$Q_{(AB/A)}, Q_{(BC/B)}, Q_{(CA/C)}$	0,86	0,58	0,38	0,3	0,22	0,09	-0,05	-0,29
$Q_{(AB/B)}, Q_{(BC/C)}, Q_{(CA/A)}$	1,44	1,16	0,96	0,88	0,8	0,67	0,53	0,29

## Приложение И

**Коэффициенты загрузки для некоторых сварочных машин**

Виды машин	$K_3$	$PВ_{\phi}$
Роликовые машины	0,7 - 0,8	0,56
Шовные машины	0,7 - 0,8	0,5
Точечные машины (при $PВ = 5 \div 20 \%$ )	0,9 - 1	0,05
Точечные машины (при $PВ = 30 \div 50 \%$ )	1,7 - 2,3	0,2
Сварочные трансформаторы	0,4 - 0,7	0,25-0,6
Стыковые сварочные машины	0,3 - 0,75	0,2

## Приложение К

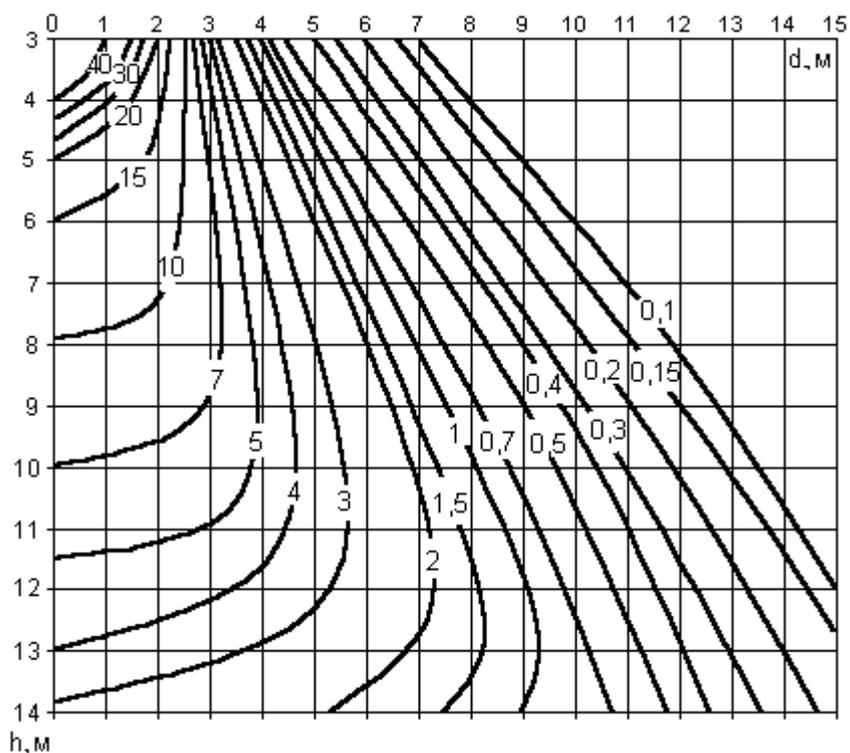
Удельные плотности силовой нагрузки на  $1 \text{ м}^2$  площади  
производственных зданий

Производственные здания	$\sigma_{уд}, \text{Вт} / \text{м}^2$
1	2
Литейные и плавильные цеха	230 - 370
Механические и сборочные цеха	200 - 300
Механосборочные цеха	280 - 390
Электросварочные и термические цеха	300 - 600
Штамповочные и фрезерные цеха	150 - 300
Цеха металлоконструкций	350 - 390
Инструментальные цеха	50 - 100
Прессовочные цеха для заводов пластмасс	100 - 200
Деревообрабатывающие и модельные цеха	75 - 140
Блоки вспомогательных цехов	260 - 300
Заводы горно-шахтного оборудования	400 - 420
Заводы бурового оборудования	260 - 330
Заводы краностроения	330 - 350
Заводы нефтеаппаратуры	220 - 270
Прессовые цеха	277 - 300

**Технические характеристики ртутных дуговых ламп высокого давления**

Тип лампы	Производитель	Мощность, Вт	Световой поток <sup>1</sup> , лм
НOL 80W	OSRAM	80	3800
ДРЛ 125	Лисма, г. Саранск	125	6000
НOL 125W	OSRAM	125	6300
ДРЛ 250	Лисма, г. Саранск	250	13200
НOL 250W	OSRAM	250	13000
ДРЛ 400	Лисма, г. Саранск	400	23700
НOL 400W	OSRAM	400	22000
ДРЛ 700	Лисма, г. Саранск	700	40800
ДРЛ 1000	Лисма, г. Саранск	1000	58500

**Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности  
для светильника РСП05/Г03**



<sup>1</sup> Значение светового потока ламп дано после 100 ч горения

## Коэффициенты использования светового потока для ламп ДРЛ

Тип светильника	РСП05/Г03					РСП07; РСП08/Л00; РСП08/Л50					РСП05/Д03; РСП08/Д03; РСП08/Д53				
	$\rho_n$ , %	70	70	50	30	0	70	70	50	30	0	70	70	50	30
$\rho_c$ , %	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0	50	50	30	10	0
$\rho_p$ , %	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0	30	10	10	10	0
i	Коэффициент использования														
0,5	51	49	45	42	41	23	22	18	12	12	33	29	27	22	20
0,6	56	54	49	46	45	30	30	22	18	16	38	37	31	27	26
0,7	60	57	53	50	50	35	32	27	21	20	43	41	35	32	31
0,8	63	60	56	53	53	40	38	30	25	23	46	44	38	35	34
0,9	66	63	58	56	55	43	39	33	29	26	49	47	41	38	37
1	68	65	61	59	57	47	40	37	31	29	52	49	41	40	39
1,1	70	67	62	60	59	50	44	40	33	31	54	51	46	43	41
1,25	73	68	64	62	61	53	50	42	37	34	57	54	48	45	44
1,5	78	71	68	65	64	58	54	46	41	38	62	57	53	49	48
1,75	81	73	70	68	66	62	57	50	44	41	66	60	56	52	51
2	82	74	72	69	67	66	60	54	48	44	68	62	58	54	53
2,25	84	75	72	70	68	68	62	56	50	45	70	63	59	56	55
2,5	85	76	73	71	69	70	64	58	52	47	72	65	61	58	56
3	86	78	74	73	70	74	67	60	56	50	74	67	62	60	58
3,5	87	78	75	74	71	77	70	62	58	52	76	68	64	62	59
4	89	79	76	74	72	79	71	63	59	53	77	69	65	63	60
5	91	80	78	76	73	82	72	65	63	55	80	71	68	65	63

Приложение П

**Каталожные данные ВЛЭП  $U_{\text{ном}} = 6, 10, 35$  кВ со штыревыми изоляторами**

Марка проводов	$r_0, \text{Ом/км}$	$x_0, \text{Ом/км}$		Диаметр провода, $D_{\text{пр}}, \text{мм}$
		$U_{\text{ном}} = 6, 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ}$	
АС-35	0,79	0,394	0,403	8,4
АС-50	0,6	0,388	0,396	9,6
АС-70	0,428	0,376	0,385	11,4
АС-95	0,306	0,366	0,374	13,5

Приложение Р

**Каталожные данные ВЛЭП  $U_{\text{ном}} = 35, 110, 220$  кВ на подвесных изоляторах**

Марка проводов	$r_0, \text{Ом/км}$	35 кВ $x_0, \text{Ом/км}$	110 кВ		220 кВ		Диаметр провода, $D_{\text{пр}}, \text{мм}$
			$x_0, \text{Ом/км}$	$b_0, \text{См/км} \cdot 10^{-4}$	$x_0, \text{Ом/км}$	$b_0, \text{См/км} \cdot 10^{-4}$	
АС-70	0,428	0,432	0,444	0,0255	-	-	11,4
АС-95	0,306	0,421	0,434	0,0261	-	-	13,5
АС-120	0,249	0,414	0,427	0,0266	-	-	15,2
АС-150	0,198	0,406	0,42	0,027	-	-	17,2
АС-185	0,162	-	0,413	0,0275	-	-	19,3
АС-240	0,12	-	0,405	0,0281	0,435	0,026	22,0
АС-300	0,098	-	-	-	0,429	0,0264	24,3
АС-400	0,075	-	-	-	0,42	0,027	27,9
АС-500	0,06	-	-	-	0,413	0,0274	33,5

Приложение С

**Каталожные данные кабельных ЛЭП**

Номинал сечения, $\text{мм}^2$	$r_0, \text{Ом/км}$		$x_0, \text{Ом/км}$			$b_0, \text{См/км} \cdot 10^{-6}$	
	медь	алюм.	при номинальном напряжении кабеля, кВ				
			до 1	6	10	6	10
4	4,6	7,74	0,095	-	-	-	-
6	3,07	5,17	0,09	-	-	-	-
10	1,84	3,1	0,073	0,11	0,122	62,8	-
16	1,15	1,94	0,0675	0,102	0,113	72,2	-
25	0,74	1,24	0,0662	0,091	0,099	88	72,2
35	0,52	0,89	0,0637	0,087	0,095	97,2	85
50	0,37	0,62	0,0625	0,083	0,09	114	91
70	0,26	0,443	0,0612	0,08	0,086	127	97,5
95	0,194	0,326	0,0602	0,078	0,083	134	110
120	0,153	0,258	0,0602	0,076	0,081	146	116
150	0,122	0,206	0,0596	0,074	0,079	162	138
185	0,099	0,167	0,0596	0,073	0,077	169	141
240	0,077	0,129	0,0587	0,071	0,075	185	144

Приложение Т

**Каталожные данные трехфазных двухобмоточных трансформаторов**

Тип трансформатора	$U_{ВН}$ , кВ	$U_{НН}$ , кВ	$U_{к}$ , %	$\Delta P_{к}$ , кВт	$\Delta P_{х}$ , кВт	$I_{х}$ , %
ТМ-25	6, 10	0,4	4,7	0,69	0,105	3,2
ТМ-40	6, 10	0,4	4,7	1,0	0,15	3,0
ТМ-63	6, 10	0,4	4,7	1,47	0,22	2,8
ТМ-100	6, 10	0,4	4,7	2,27	0,31	2,6
ТМ-160	6, 10	0,4	4,7	3,1	0,46	2,4
ТМ-250	6, 10	0,4	4,7	4,2	0,66	2,3
ТМ-400	6, 10	0,4	4,7	5,9	0,92	2,1
ТМ-630	6, 10	0,4	5,5	8,5	1,42	2,0
ТМ-1000	6, 10	0,4	5,5	12,2	2,1	1,4
ТМ-1600	6, 10	0,4	5,5	18,0	2,8	1,3
ТМ-2500	6, 10	0,4	5,5	25,0	3,9	1,0

Приложение У

**Каталожные данные трехфазных двухобмоточных трансформаторов**

Тип трансформатора	$U_{ВН}$ , кВ	$U_{НН}$ , кВ	$U_{к}$ , %	$\Delta P_{к}$ , кВт	$\Delta P_{х}$ , кВт	$I_{х}$ , %
ТМН-630	35	6; 10	6,5	7,6	1,7	2,0
ТМН-1000	35	6; 10	6,5	11,6	2,1	1,4
ТМН-1600	35	6; 10	6,5	16,5	2,9	1,3
ТМН-2500	35	6; 10	6,5	23,5	3,9	1,1
ТМН-4000	35	6; 10	7,5	33,5	5,6	1,0
ТМН-6300	35	6; 10	7,5	46,5	8,0	0,9
ТМН-10000	35	6; 10	8,0	60,0	12,0	0,8
ТРДНС-16000	35	6; 10	10,0	85,0	17,0	0,7
ТРДНС-25000	35	6; 10	10,5	115,0	25,0	0,65
ТРДНС-32000	35	6; 10	12,7	145	29	0,6
ТРДНС-40000	35	6; 10	12,7	170	36	0,5
ТРДНС-63000	35	6; 10	12,7	250	50	0,45

Приложение Ф

**Каталожные данные трехфазных двухобмоточных трансформаторов**

Тип трансформатора	U <sub>ВН</sub> , кВ	U <sub>НН</sub> , кВ	U <sub>к</sub> , %	ΔP <sub>к</sub> , кВт	ΔP <sub>х</sub> , кВт	I <sub>х</sub> , %
ТМН-2500	110	6; 10	10,5	22	5,5	1,5
ТМН-6300	110	6; 10	10,5	44	11,5	0,8
ТДН-10000	110	6; 10	10,5	60	14	0,7
ТДН-16000	110	6; 10	10,5	85	19	0,7
ТРДН-25000	110	6; 10	10,5	120	27	0,7
ТРДН-32000	110	6; 10	10,5	145	36	0,7
ТРДН-40000	110	6; 10	10,5	172	36	0,65
ТРДЦН-63000	110	6; 10	10,5	260	59	0,6
ТРДЦН-80000	110	6; 10	10,5	310	70	0,6
ТРДЦН-125000	110	6; 10	10,5	400	100	0,55

Приложение Х

**Каталожные трехфазных двухобмоточных трансформаторов**

Тип трансформатора	U <sub>ВН</sub> , кВ	U <sub>НН</sub> , кВ	U <sub>к</sub> , %	ΔP <sub>к</sub> , кВт	ΔP <sub>х</sub> , кВт	I <sub>х</sub> , %
ТРДН-40000	220	6; 10; 35	12	170	50	0,9
ТРДЦН-63000	220	6; 10; 35	12	300	82	0,8
ТРДЦН-100000	220	6; 10; 35	12	360	115	0,7
ТРДЦН-160000	220	6; 10; 35	12	525	167	0,6

Приложение Ц

**Каталожные данные трехфазных трехобмоточных трансформаторов**

Тип трансформатора	U <sub>ВН</sub> , кВ	U <sub>СН</sub> , кВ	U <sub>НН</sub> , кВ	U <sub>к</sub> , % ВС/ВН/СН	ΔP <sub>к</sub> , кВт	ΔP <sub>х</sub> , кВт	I <sub>х</sub> , %
ТМТН-6300	35	10	6	7,5 / 7,5 / 16	55	13	1,1
ТДТН-10000	35	10	6	8,0 / 16,5 / 7	75	16	1,0
ТДТН-16000	35	10	6	8,0 / 16,5 / 7	1158	21	0,9

Приложение Ч

**Каталожные данные трехфазных трехобмоточных трансформаторов**

Тип трансформатора	U <sub>ВН</sub> , кВ	U <sub>СН</sub> , кВ	U <sub>НН</sub> , кВ	U <sub>к</sub> , % ВС/ВН/СН	ΔP <sub>к</sub> , кВт	ΔP <sub>х</sub> , кВт	I <sub>х</sub> , %
ТМТН-6300	110	35; 10	10; 6	10,5 / 17 / 6	58	14	1,2
ТДТН-10000	110	35; 10	10; 6	10,5 / 17 / 6	76	17	1,1
ТДТН-16000	110	35; 10	10; 6	10,5 / 17 / 6	100	23	1,0
ТДТН-25000	110	35; 10	10; 6	10,5 / 17,5 / 6,5	140	31	0,7
ТДТН-40000	110	35; 10	10; 6	10,5(17) / 17(10,5) / 6	200	43	0,6
ТДТН-63000	110	35; 10	10; 6	10,5 / 17 / 6,5	290	56	0,7
ТДТН-80000	110	35; 10	10; 6	11(17)/18,5(10,5)/7(6,5)	390	82	0,6

**Каталожные данные трехфазных трехобмоточных трансформаторов  
и автотрансформаторов**

Тип трансформатора	$U_{ВН}$ , кВ	$U_{СН}$ , кВ	$U_{НН}$ , кВ	$U_k$ , % ВС/ВН/СН	$\Delta P_k$ , кВт	$\Delta P_x$ , кВт	$I_x$ , %
ТДТН-25000	220	110; 35	35; 10; 6	12,5 / 20 / 6,5	135	50	1,2
ТДТН-40000	220	110; 35	35; 10; 6	12,5 / 22 / 9,5	220	55	1,1
АТДЦТН-63000	220	110; 35	35; 10; 6	11 / 35,7 / 21,9	215	45	0,5
АТДЦТН-125000	220	110; 35	35; 10; 6	11 / 45 / 28	305	65	0,5
АТДЦТН-200000	220	110; 35	35; 10; 6	11 / 32 / 20	430	125	0,5
АТДЦТН-250000	220	110; 35	35; 10; 6	11,5 / 33,4 / 20,8	520	145	0,5



---

Подписано в печать 23.06.2015. Усл. печ. л. 4,6. Тираж 20 экз.  
Печать офсетная. Бумага офисная. Заказ № 261.

---

Отпечатано: РИО ВоГУ, г. Вологда, ул. С. Орлова, 6