

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
**«Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I»  
(ФГБОУ ВО ПГУПС)**

**Ожерельевский ж.д. колледж - филиал ПГУПС**

СОГЛАСОВАНО

Методист

\_\_\_\_\_ Л.А. Елина  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по УР

\_\_\_\_\_ Н.Н. Иванова  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ И ЛАБОРАТОРНЫХ  
РАБОТ**

**по МДК.01.02 Устройство и техническое обслуживание сетей  
электрообеспечения**

Раздел 3. Устройство электрических сетей и составление их схем  
**ПМ.01 Техническое обслуживание оборудования электрических  
подстанций и сетей**

специальность 13.02.07 Электрообеспечение (по отраслям)

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Пояснительная записка	4
2. Перечень практических работ	6
3. Перечень лабораторных работ	7
3. Практическая работа № 1	8
4. Практическая работа № 2	13
5. Практическая работа № 3	15
6. Практическая работа № 4	17
7. Практическая работа № 5	19
8. Практическая работа № 6	25
9. Практическая работа № 7	33
10. Практическая работа № 8	39
11. Практическая работа № 9	41
12. Практическая работа № 10-11	47
13. Практическая работа № 12	50
14. Практическая работа № 13	55
15. Практическая работа № 14	59
16. Практическая работа № 15	67
17. Практическая работа № 16	70
18. Практическая работа № 17	74
19. Практическая работа № 18	77
20. Практическая работа № 19	83
21. Практическая работа № 20	87
22. Практическая работа № 21	92
23. Практическая работа № 22-23	96
24. Лабораторная работа № 1	99
25. Лабораторная работа № 2	103
26. Лабораторная работа № 3	107
27. Перечень литературы	108

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические указания по выполнению практических и лабораторных работ к Разделу3 Устройство электрических сетей и составление их схем по МДК 01.02. Устройство и техническое обслуживание сетей электроснабжения составлены в соответствии с требованиями ФГОС СПО к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников СПО по специальности 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям) и на основе рабочей программы профессионального модуля ПМ 01 Техническое обслуживание оборудования электрических подстанций и сетей.

В результате освоения данного раздела междисциплинарного курса обучающийся должен **иметь практический опыт:**

- составления электрических схем устройств электрических подстанций и сетей;
- эксплуатации воздушных и кабельных линий электропередачи;
- применения инструкций и нормативных правил при составлении отчетов и разработке технологических документов.

В результате освоения данного раздела междисциплинарного курса обучающийся должен **уметь:**

- разрабатывать электрические схемы устройств электрических подстанций и сетей;
- вносить изменения в принципиальные схемы при замене приборов аппаратуры распределительных устройств;
- контролировать состояние воздушных и кабельных линий, организовывать и проводить работы по их техническому обслуживанию;
- использовать нормативную техническую документацию и инструкции;
- выполнять расчеты рабочих и аварийных режимов действующих электроустановок и выбирать оборудование;
- оформлять отчеты о проделанной работе.

В результате освоения данного раздела междисциплинарного курса обучающийся должен **знать:**

- устройство оборудования электроустановок;
- условные графические обозначения элементов электрических схем;
- логику построения схем, типовые схемные решения, принципиальные схемы эксплуатируемых электроустановок;
- эксплуатационно-технические основы линий электропередачи, виды и технологии работ по их обслуживанию;
- основные положения правил технической эксплуатации электроустановок;
- виды технологической и отчетной документации, порядок ее заполнения.

*Процесс изучения междисциплинарного курса направлен на освоение общих компетенций, включающих в себя способность:*

ОК 01 - понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес;

ОК 02 - организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество;

ОК 03 - принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность;

ОК 04 - осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития;

ОК 05 - использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности;

ОК 06 - работать в коллективе и в команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями;

ОК 07 - брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), за результат выполнения заданий;

ОК 08 - самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации;

ОК 09 - ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

*Общей целью проведения практических и лабораторных занятий является формирование у обучающихся профессиональных компетенций:*

ПК 1.1. Читать и составлять электрические схемы электрических подстанций и сетей;

ПК 1.2. Выполнять основные виды работ по обслуживанию трансформаторов и преобразователей электрической энергии;

ПК 1.3. Выполнять основные виды работ по обслуживанию оборудования распределительных устройств электроустановок, систем релейных защит и автоматизированных систем;

ПК 1.4. Выполнять основные виды работ по обслуживанию воздушных и кабельных линий электроснабжения;

ПК 1.5. Разрабатывать и оформлять технологическую и отчетную документацию.

Рабочая программа профессионального модуля предусматривает в Разделе 3 МДК 01.02. 46 часов практических работ и 6 часов лабораторных работ.

## Перечень практических работ

№ п/п	Название работы	Объем часов
1	Электрический расчет воздушной линии. Выбор и проверка проводов.	2
2	Электрический расчет воздушной линии. Определение потерь напряжения в линии.	2
3	Электрический расчет воздушной линии. Определение потерь напряжения и мощности	2
4	Изучение конструкции кабелей напряжением выше 1000 В	2
5	Электрический расчет кабельной линии	2
6	Изучение схемы и конструкции компенсирующего устройства тяговой подстанции переменного тока	2
7	Изучение схемы и конструкции вольтодобавочного устройства тяговой подстанции постоянного тока	2
8	Расчет и выбор компенсирующего устройства	2
9	Определение места расположения центра электрических нагрузок	2
10-11	Составление схемы и плана распределительных сетей напряжением 10кВ	4
12	Расчет распределительных сетей	2
13	Изучение конструкции светильников внутреннего (наружного) освещения	2
14	Расчет внутреннего освещения	2
15	Расчет наружного освещения	2
16	Расчет потенциалов и токов в рельсовой цепи для схем с одиночной нагрузкой	2
17	Расчет токов короткого замыкания на шинах тяговой подстанции и тяговой сети постоянного тока	2
18	Расчет токов короткого замыкания и уставок защит в тяговой сети переменного тока	2
19	Определение минимального тока короткого замыкания у шин поста секционирования для определения чувствительности защиты	2
20	Расчет мгновенных схем для участка постоянного тока	2
21	Расчет мгновенных схем для участка переменного тока	2
22-23	Расчет мгновенных схем для участка постоянного тока узлового питания	4
<b>ИТОГО</b>		<b>46</b>

## Перечень лабораторных работ

№ п/п	Название работы	Объем часов
1	Проверка распределения напряжения вдоль гирлянды изоляторов	2
2	Исследование влияния компенсирующего устройства на качество электроэнергии	2
3	Исследование схем питания ламп дневного света	2
ИТОГО		6

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

Тема: Электрический расчет воздушной линии. Выбор и проверка проводов.

Цель работы: научиться выполнять электрический расчет линии электропередач с выбором сечения проводов.

Исходные данные

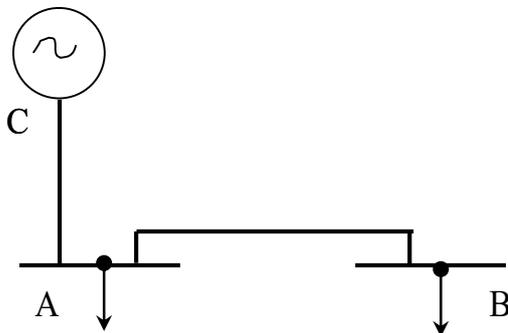


Рисунок 1.1 Схема присоединения потребителей

**Задание:** выполнить электрический расчет для линий СА длиной  $l_{CA}$  и АВ длиной  $l_{AB}$ .

Потребители А и В получают питание по схеме, приведенной на рисунке 1.1. Значения максимальных мощностей потребителей  $P_a$  и  $P_b$ , коэффициентов мощности  $\cos\varphi_a$  и  $\cos\varphi_b$ , номинальное напряжение в линии  $U_n$ , продолжительность использования максимума нагрузки  $T_{max}$ , приведены в таблице 1.1 в соответствии с вариантами.

Таблица 1.1 - Исходные данные

Вари-ант	Pa, кВт	Pв, кВт	Un, кВ	cosφ <sub>a</sub>	cosφ <sub>b</sub>	I <sub>CA</sub> , км	I <sub>AB</sub> , км	Tmax
1	600	800	10	0,8	0,7	2	4	6500
2	990	630	6	0,92	0,92	4,5	9	2250
3	500	1000	35	0,6	0,9	7,5	10	4500
4	100	200	10	0,8	0,6	0,4	0,6	4700
5	105	85	6	0,92	0,92	6	2	3500
6	3000	500	35	0,8	0,6	6,5	5	4700
7	1000	1200	35	0,92	0,92	8	5,7	7000
8	500	100	10	0,92	0,8	6	0,7	5500
9	150	600	6	0,93	0,92	3	0,8	3000
10	300	800	10	0,9	0,92	1,8	6	4500
11	900	130	6	0,62	0,92	4,5	9	2250
12	900	800	35	0,92	0,92	5,6	10	6000
13	800	600	35	0,8	0,7	6	8	3700
14	600	800	10	0,8	0,6	10	7	3900
15	4000	800	35	0,8	0,6	3	6	2700
16	900	700	10	0,8	0,7	5	8	3700
17	1000	1050	35	0,6	0,8	4	7	3800
18	500	900	6	0,8	0,9	4	6	3000
19	800	750	10	0,9	0,8	5	10	4500
20	600	900	6	0,8	0,7	3	2	2800
21	400	800	10	0,92	0,98	1,5	4	5200
22	5000	900	35	0,8	0,7	7	5	4500
23	600	900	10	0,8	0,7	3	7	2800
24	1000	2000	35	0,8	0,6	4,5	8,6	6000
25	500	900	10	0,8	0,92	2	4	5200
26	500	1000	6	0,6	0,8	2,8	3	3700
27	3100	600	35	0,8	0,6	5,5	2,5	4800
28	2500	1500	35	0,92	0,95	8	4	6500
29	650	900	10	0,8	0,75	2	5	2250
30	750	1050	10	0,6	0,85	4	3	4500
31	1600	800	35	0,93	0,86	7	6	4700
32	500	600	6	0,8	0,7	0,5	1,5	3500
33	1000	500	10	0,6	0,8	3	7	4700
34	900	750	6	0,8	0,9	5	3	5200
35	1250	650	35	0,9	0,8	11	5	3700
36	800	650	10	0,8	0,7	6	2	4800

## Порядок выполнения работы

1. Выбор сечения проводов по нагреву.

### 1.1. Расчет реактивных мощностей нагрузок, квар

$$Q_A = P_A * \operatorname{tg} \varphi_A;$$
$$\operatorname{tg} \varphi_A = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_A}}{\cos \varphi_A};$$
$$Q_B = P_B * \operatorname{tg} \varphi_B;$$
$$\operatorname{tg} \varphi_B = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_B}}{\cos \varphi_B};$$

### 1.2. Расчет токов нагрузок, А

$$I_A = \frac{S_A}{\sqrt{3} * U_H} = \frac{\sqrt{P_A^2 + Q_A^2}}{\sqrt{3} * U_H};$$
$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} * U_H} = \frac{\sqrt{P_B^2 + Q_B^2}}{\sqrt{3} * U_H};$$

Ток в линии на участке СА, А

$$I_{CA} = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} * U_H} = \frac{\sqrt{(P_A + P_B)^2 + (Q_A + Q_B)^2}}{\sqrt{3} * U_H};$$

### 1.3. Выбор проводов воздушной ЛЭП

Выбор неизолированных проводов осуществляется по допустимой длительной нагрузке (Приложение 1.1).

Условие выбора

$$I_{\text{доп}} > I_{\text{расч}}$$

После выбора указывается марка провода с указанием сечения и допустимый ток. Например, провод А-35 с сечением  $S=35 \text{ мм}^2$  и  $I_{\text{доп}}=170 \text{ А}$ .

### 2. Выбор сечения проводов по экономической плотности тока

Выбор проводов по экономической плотности тока сводится к определению экономического сечения и выбору по справочным приложениям ближайшего стандартного сечения провода,  $\text{мм}^2$ :

$$S_{\text{ЭК}} = I_{\text{н}} / j_{\text{ЭК}},$$

где  $j_{\text{ЭК}}$  – экономическая плотность тока, выбирается в зависимости от  $T_{\text{max}}$  и типа токоведущих частей по Приложению 1.2 для воздушных линий. После расчета  $S_{\text{ЭК}}$  сравнивается с выбранным ранее сечением по допустимой длительной нагрузке. Окончательно принимается наибольшее сечение.

3. Сделать вывод о проделанной работе.

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Расчет реактивных мощностей и токов нагрузок.
3. Выбор проводов воздушных линий по длительной допустимой нагрузке.
4. Выбор сечения проводов по экономической плотности тока.
5. Вывод о проделанной работе.

## Приложение 1.1

Допустимая длительная нагрузка на неизолированные провода при предельно допустимой температуре нагрева провода +70° С И температуре воздуха +25° С

Медные провода		Алюминиевые провода		Сталеалюминиевые провода			
Площадь сечения, мм <sup>2</sup>	Допустимый ток, А	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>	Допустимый ток, А	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>	Допустимый ток, А	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>	Допустимый ток, А
16	130	35	170	35/5,2	175	300/39	690
25	180	50	215	50/8,0	210	400/51	825
35	220	70	265	70/11	265	500/60	945
50	270	95	325	95/15	330	120/27	375
70	340	120	375	120/22	380	150/35	450
95	415	150	440	150/26	445	185/43	515
120	485	185	500	185/29	515	240/56	610
150	570	240	590	240/39	610	300/72	705

## Приложение 1.2

Экономическая плотность тока в зависимости от продолжительности использования максимума нагрузки

Наименование проводников	Экономическая плотность тока $j_{эк}$ , А/мм <sup>2</sup> , при продолжительности использования максимума нагрузки $T_{max}$ , ч		
	от 1000 до 3000	от 3000 до 5000	от 5000 до 8700
Неизолированные провода и шины:			
медные	2,5	2,1	1,8
алюминиевые	1,3	1,1	1,0
Кабели с бумажной изоляцией и жилами			
медными	3,0	2,5	2,0
алюминиевыми	1,6	1,4	1,2
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией			
с медными жилами	3,5	3,1	2,7
с алюминиевыми жилами	1,9	1,7	1,6

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

Тема: Электрический расчет воздушной линии. Определение потерь напряжения в линии.

Цель работы: научиться определять потери напряжения в линии.

Исходные данные

Результаты расчетов и выбора проводов, данные по варианту из Таблицы 1.1 практического занятия № 1.

Порядок выполнения работы

### 1. Расчет сопротивлений линий.

Определение активного и индуктивного удельных сопротивлений участка воздушной линии выполняется по Приложению 2.1. Индуктивное сопротивление для линий напряжением 6 - 10 кВ выбирается для расстояния 2000 мм между проводами, а для линий напряжением 35 кВ – для расстояния 3000 мм между проводами.

Сопротивление линии на участке СА, Ом:

$$R_{CA} = r_{0CA} \cdot l_{CA}$$

$$X_{CA} = x_{0CA} \cdot l_{CA}$$

Сопротивление линии на участке АВ, Ом:

$$R_{AB} = r_{0AB} \cdot l_{AB}$$

$$X_{AB} = x_{0AB} \cdot l_{AB}$$

### 2. Определение потерь напряжения

Продольная составляющая падения напряжения, В:

$$\Delta U = I_{CA} (R_{CA} \cdot \cos\varphi_A + X_{CA} \cdot \sin\varphi_A) + I_B (R_{AB} \cdot \cos\varphi_B + X_{AB} \cdot \sin\varphi_B)$$

Линейная потеря напряжения, В:

$$\Delta U_l = \sqrt{3} \cdot \Delta U$$

Поперечная составляющая падения напряжения, В:

$$\delta U = I_{CA} (X_{CA} \cdot \cos\varphi_A - R_{CA} \cdot \sin\varphi_A) + I_B (X_{AB} \cdot \cos\varphi_B - R_{AB} \cdot \sin\varphi_B)$$

3. Определение относительной потери напряжения и сравнение ее с допустимым значением, %:

$$\varepsilon = \frac{\Delta U_{л}}{U_{ном}} \cdot 100\%$$

$$\varepsilon_{доп} \geq \varepsilon$$

Допустимые потери напряжения  $\varepsilon_{доп}=10\%$

Если расчетное значение  $\varepsilon$  больше допустимого, следует принять большее значение сечения проводов или кабеля и повторить расчет потерь.

4. Сделать вывод о проделанной работе.

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Расчет потерь напряжения.
3. Расчет отклонений напряжения.
4. Проверка допустимой потери напряжения.
5. Вывод о проделанной работе.

#### Приложение 2.1

Активное и индуктивное сопротивления воздушных линий с алюминиевыми (А) проводами

Среднее геометрическое расстояние между проводами, мм	Площадь сечения провода, мм <sup>2</sup>								
	16	25	35	50	70	95	120	150	185
Индуктивное сопротивление, Ом/км									
2000	0,435	0,421	0,410	0,398	0,388	0,377	0,368	0,363	0,355
2500	0,449	0,435	0,424	0,413	0,399	0,390	0,382	0,377	0,371
3000	0,460	0,446	0,435	0,423	0,410	0,401	0,393	0,388	0,382
Активное сопротивление, Ом/км									
	1,96	1,27	0,91	0,63	0,45	0,33	0,27	0,21	0,17

### ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

Тема: Электрический расчет воздушной линии. Определение потерь напряжения и мощности

Цель работы: научиться определять потери напряжения, энергии и мощности воздушной линии, выполнять построение векторной диаграммы.

Исходные данные: результаты расчетов и выбора проводов, определения сопротивлений и потерь напряжения из практических занятий 1 и 2, данные по варианту из Таблицы 1.1 практического занятия № 1.

#### Порядок выполнения работы

1. Определение напряжения в конце линии (на шинах второго потребителя), В:

$$U_B = U_{ном} - \sqrt{\Delta U^2 + \delta U^2}$$

2. Расчет потерь мощности

- 2.1. Определение потерь активной мощности, кВт:

$$\Delta P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{P_i^2 r_i}{U_i^2} + \frac{Q_i^2 r_i}{U_i^2} \right) = \left( \frac{(P_A + P_B)^2 \cdot R_{CA}}{U_n^2} + \frac{(Q_A + Q_B)^2 \cdot R_{CA}}{U_n^2} + \frac{P_B^2 \cdot R_{AB}}{U_n^2} + \frac{Q_B^2 \cdot R_{AB}}{U_n^2} \right) \cdot 10^{-3}$$

- 2.2. Определение потерь реактивной мощности, квар:

$$\Delta Q_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{P_i^2 x_i}{U_i^2} + \frac{Q_i^2 x_i}{U_i^2} \right) = \left( \frac{(P_A + P_B)^2 \cdot X_{CA}}{U_n^2} + \frac{(Q_A + Q_B)^2 \cdot X_{CA}}{U_n^2} + \frac{P_B^2 \cdot X_{AB}}{U_n^2} + \frac{Q_B^2 \cdot X_{AB}}{U_n^2} \right) \cdot 10^{-3}$$

3. Определение КПД сети, %:

$$\eta = \left( 1 - \frac{\Delta P_{\Sigma}}{P_A + P_B} \right) \cdot 100\%$$

4. Определение годовых потерь энергии в линии трехфазного тока, кВтч:

$$\Delta A_{нб} = \Delta P_{\Sigma} \cdot \tau_{нб} = \Delta P_{\Sigma} \cdot (0,124 + T_{\max} \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760$$

5. Построение векторной диаграммы напряжений и токов по расчетным данным.

При построении диаграммы принять масштаб:

для  $U_n = 6 \text{ кВ} - 0,5 \text{ кВ в } 1 \text{ см};$

для  $U_n = 10 \text{ кВ} - 1 \text{ кВ в } 1 \text{ см};$

для  $U_n = 35 \text{ кВ} - 3 \text{ кВ в } 1 \text{ см};$

для тока  $I - 30 \text{ А в } 1 \text{ см}.$

Пример векторной диаграммы приведен на рисунке 3.1.:

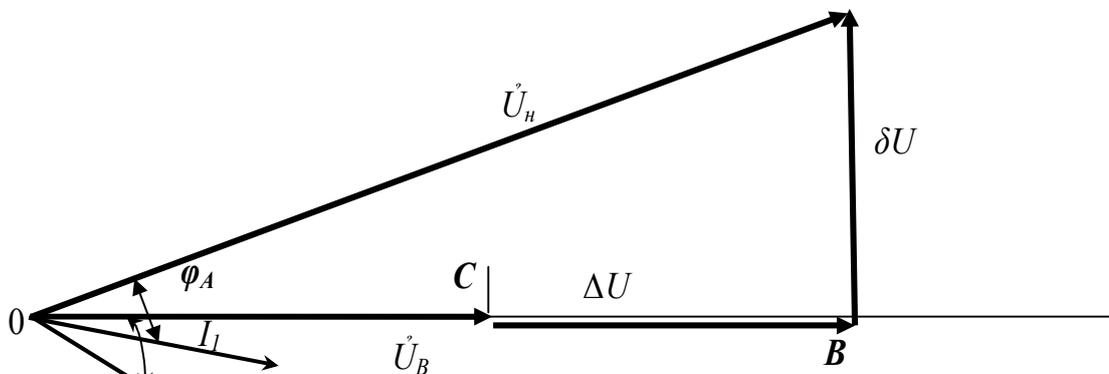


Рисунок 3.1 Векторная диаграмма токов и напряжений

6. Сделать вывод о проделанной работе.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Расчет напряжения в конце линии.
3. Расчет потерь мощности
4. Расчет КПД сети.
5. Расчет годовых потерь энергии.
6. Векторная диаграмма.
7. Вывод о проделанной работе.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

Тема: Изучение конструкции кабелей напряжением выше 1000 В

Цель работы: изучить конструкцию кабеля, научиться определять марку кабеля по материалу и сечению токоведущих частей и видам изоляции и оболочек.

Оборудование и приборы: образцы кабелей, измерительные инструменты, справочные материалы.

Порядок выполнения работы

1. Получить у преподавателя образец кабеля.
2. Изучив элементы конструкции кабеля, заполнить таблицу 4.1.

Таблица 4.1 - Характеристики изучаемого кабеля

Токоведущие жилы (материал, конструкция)	Изоляция (вид, материал)	Защитная оболочка	Броня	Наружный покров

3. Выполнить эскиз поперечного сечения образца кабеля, обозначив основные элементы конструкции.
4. Измерить радиусы (диаметры) жил и определить сечение токоведущих частей.
5. По справочным таблицам (приложения 5.1 и 5.2 к практическому занятию № 5) определить допустимый ток кабеля.
6. Изучив материал конспекта, записать в отчет предположительную маркировку кабеля.
7. Устно ответить на вопросы преподавателя по конструкции исследованного образца кабеля.

## Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Заполненная таблица 4.1.
3. Эскиз сечения кабеля с указанием основных элементов конструкции.
4. Расчет сечения жил кабеля.
5. Допустимый ток кабеля.
6. Маркировка кабеля.
7. Вывод о проделанной работе.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

Тема: Электрический расчет кабельной линии

Цель работы: закрепить навыки выполнения электрического расчета линии электропередач на примере кабельной линии.

Исходные данные:

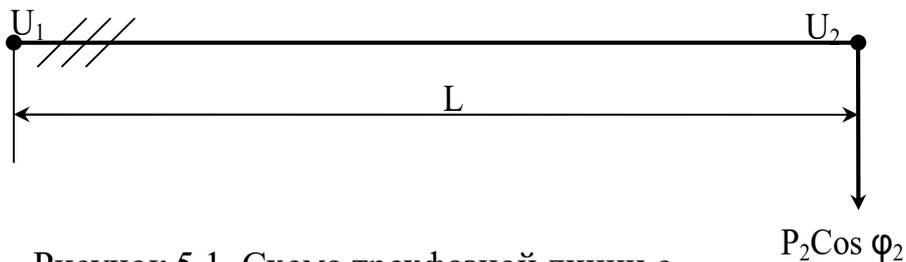


Рисунок 5.1. Схема трехфазной линии с одной нагрузкой на конце

Потребитель получает питание по схеме, приведенной на рисунке 5.1. Значения максимальной мощности нагрузки в конце линии -  $P_2$ , коэффициента мощности -  $\cos \varphi_2$ , номинального напряжения в линии -  $U_n$ , длины линии  $L$ , продолжительности использования максимума нагрузки  $T_{\max}$  и температуры земли  $t_{\text{земли}}$  приведены в таблице 1 в соответствии с вариантами.

**Задание:** выполнить электрический расчет для кабельной линии с одной нагрузкой.

Таблица 5.1 - Исходные данные

Вариант	$P_2$ , кВт	$U_n$ , кВ	$\cos\varphi_2$	$L$ , км	Материал изоляции	$\varepsilon_{дон}$ , %	$T_{max}$	$t$ земли
1	2000	10	0,8	8	бумажная	8	6500	+10
2	1600	6	0,92	5	бумажная	10	2250	+15
3	3000	35	0,6	30	полиэтилен	7	4500	+20
4	700	10	0,8	10	полиэтилен	9	4700	+10
5	6000	6	0,92	6	бумажная	8	3500	+15
6	4000	35	0,8	25	полиэтилен	7	4700	+20
7	500	6	0,92	8	бумажная	10	7000	+10
8	950	10	0,92	12	бумажная	8	5500	+15
9	12500	35	0,93	27	полиэтилен	9	3000	+20
10	2100	10	0,9	8	бумажная	10	4500	+10
11	900	6	0,62	4,5	бумажная	8	2250	+15
12	900	35	0,92	20	полиэтилен	10	6000	+20
13	800	35	0,8	30	полиэтилен	7	3700	+10
14	6000	10	0,87	10	бумажная	9	3900	+15
15	4000	35	0,85	15	полиэтилен	8	2700	+20
16	500	10	0,88	5	полиэтилен	7	3700	+10
17	950	35	0,9	25	полиэтилен	10	3800	+15
18	12500	35	0,8	6	полиэтилен	8	3000	+20
19	2100	10	0,9	5	полиэтилен	9	4500	+10
20	900	6	0,87	3	бумажная	10	2800	+15
21	3000	10	0,92	8	бумажная	8	5200	+20
22	700	35	0,8	30	полиэтилен	10	4500	+10
23	6000	10	0,85	4	полиэтилен	7	2800	+15
24	4000	35	0,8	17	полиэтилен	9	6000	+20
25	500	10	0,8	2	бумажная	8	5200	+10
26	950	6	0,92	2,8	бумажная	7	3700	+15
27	3100	35	0,8	15	полиэтилен	10	4800	+20
28	2500	35	0,92	8	полиэтилен	8	6500	+10
29	650	10	0,8	6	полиэтилен	9	2250	+15
30	1750	10	0,86	4	бумажная	10	4500	+20

### Порядок выполнения работы

1. Рассчитать экономичное сечение  $S_{эк}$

1.1. Расчет максимального тока, А:

$$I = \frac{P_2}{\sqrt{3} \cdot U_2 \cdot \cos\varphi_2},$$

где  $U_2$  – номинальное напряжение потребителя, В;  $U_2 = U_n$ .

1.2. Экономичное сечение каждой токоведущей жилы кабеля, мм<sup>2</sup>:

$$S_{\text{эк}} = \frac{I}{j_{\text{эк}}},$$

где  $j_{\text{эк}}$  – экономичная плотность тока, А/мм<sup>2</sup>.

Значения  $j_{\text{эк}}$  в зависимости от материала кабеля, вида его изоляции и продолжительности максимума нагрузки  $T_{\text{max}}$  выбираются по Приложению 1.2. к Практическому занятию 1.

1.3. Выбор номинального сечения жил кабелей  $S_{\text{н}}$  производится, исходя из экономической выгоды:

$$S_{\text{н}} \approx S_{\text{эк}}$$

Значения  $S_{\text{н}}$  в мм<sup>2</sup> для кабелей с бумажной и полиэтиленовой изоляцией даны в Приложениях 1, 2.

1.4. Проверка выбранного сечения кабеля по допустимой длительной нагрузке.

Выбор кабелей осуществляется по допустимой длительной нагрузке в зависимости от уровня напряжения, материала жил и типа изоляции (Приложения 5.1 и 5.2).

Условие выбора при температуре воздуха +25°C и температуре земли +15°C

$$I_{\text{доп}} > I_{\text{расч}}$$

При отличии температуры среды от расчетной температуры:

$$I'_{\text{доп}} = I_{\text{доп}} * k_{\text{т}},$$

где  $k_{\text{т}}$  - поправочный температурный коэффициент (Приложения 5.3 и 5.4).

После выбора указывается марка кабеля с указанием сечения и числа фаз и допустимый ток. Например, кабель ААБ-3х25 напряжением 10 кВ с сечением  $S=25 \text{ мм}^2$  и  $I_{\text{доп}}=65 \text{ А}$ .

Необходимо, чтобы расчетный максимальный ток в проводе не превышал допустимый длительный ток по условиям нагрева для выбранного сечения

2. Определение активного  $r_0$  и индуктивного  $x_{L0}$  удельных сопротивлений участка кабельной линии.

Значения активного и индуктивного удельных сопротивлений кабелей выбираются из Приложения 5.5.

### 3. Расчет сопротивлений линии.

Активное сопротивление линии, Ом:

$$R = r_0 \cdot L$$

Индуктивное сопротивление линии, Ом:

$$X_L = x_{L0} \cdot L$$

### 4. Расчет потери фазного напряжения, В:

$$\Delta U_\phi = I \cdot R \cdot \cos\varphi + I \cdot X_L \cdot \sin\varphi$$

### 5. Расчет потери линейного напряжения, В:

$$\Delta U_n = \sqrt{3} \cdot \Delta U_\phi$$

### 6. Определение относительной потери напряжения, %:

$$\varepsilon = \frac{\Delta U_n}{U_n} \cdot 100\%$$

### 7. Проверка выбранного сечения по допустимой потере напряжения:

$$\varepsilon_{\text{доп}} \geq \varepsilon$$

Если расчетное значение  $\varepsilon$  больше допустимого, следует принять большее значение сечения проводов и повторить расчет потерь.

## Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Расчет тока нагрузки.
3. Выбор кабельной линии по экономической плотности тока
4. Проверка кабельной линии по длительной допустимой нагрузке.
5. Выбор сечения проводов.
6. Расчет потерь и напряжения.
7. Вывод о проделанной работе.

## Приложение 5.1

Допустимая длительная нагрузка на кабели с алюминиевыми жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемые в земле

Площадь сечения кабелей, мм <sup>2</sup>	Значения допустимой нагрузки, А, на трехжильные кабели на напряжение			
	3 кВ	6 кВ	10 кВ	35 кВ
16	90	80	75	-
25	125	105	90	-
35	145	125	115	-
50	180	155	140	-
70	220	190	165	-
95	260	225	205	-
120	300	260	240	225
150	335	300	275	250

## Приложение 5.2

Допустимая длительная нагрузка на кабели с алюминиевыми жилами с изоляцией из сшитого полиэтилена, прокладываемые в земле

Площадь сечения кабелей, мм <sup>2</sup>	Значения допустимой нагрузки, А, на трехжильные кабели на напряжение		
	10 кВ расположение в плоскости	35 кВ треугольное расположение	35 кВ расположение в плоскости
50	195	-	-
70	240	-	-
95	263	261	286
120	298	296	323
150	329	330	357

## Приложение 5.3

Поправочный коэффициент  $k_T$  на температуру земли и воздуха для токовых нагрузок на неизолированные и изолированные провода и кабели с бумажной пропитанной маслоканифольной изоляцией

Расчетная температура среды, °С	Нормированная температура проводов и кабелей, °С	Значения поправочного коэффициента при фактической температуре среды, °С						
		-5	0	+5	+10	+20	+30	+40
15	80	1,14	1,11	1,08	1,04	0,96	0,88	0,78
25	80	1,24	1,20	1,17	1,13	1,04	0,95	0,85
25	70	1,29	1,24	1,20	1,15	1,05	0,94	0,81
15	65	1,18	1,14	1,10	1,05	0,95	0,84	0,71
25	65	1,32	1,27	1,22	1,17	1,06	0,94	0,79
15	60	1,20	1,15	1,12	1,06	0,94	0,82	0,67
25	60	1,36	1,31	1,25	1,20	1,07	0,93	0,76
15	55	1,22	1,17	1,12	1,07	0,93	0,79	0,61
25	55	1,41	1,35	1,29	1,23	1,08	0,91	0,71
15	50	1,25	1,20	1,14	1,07	0,93	0,76	0,53
25	50	1,48	1,41	1,34	1,26	1,09	0,89	0,63

## Приложение 5.4

Поправочный коэффициент  $k_T$  на токи кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, в зависимости от температуры земли и воздуха

Расчетная температура среды, °С	Нормированная температура жил, °С	Поправочные коэффициенты на токи при фактической температуре среды, °С									
		-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40
15	90	1,13	1,10	1,06	1,03	1,00	0,97	0,93	0,89	0,86	0,82
25	90	1,21	1,18	1,1	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88

## Приложение 5.5.

Активное и индуктивное сопротивления трехжильных алюминиевых кабелей с поясной изоляцией

Напряжение, кВ	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>							
	10	16	25	35	50	70	95	120
Индуктивное сопротивление, Ом/км								
6	0,110	0,102	0,091	0,087	0,063	0,08	0,078	0,076
10	0,122	0,113	0,099	0,096	0,090	0,086	0,083	0,081
35	-	-	-	-	-	0,137	0,126	0,12
Активное сопротивление, Ом/км								
	3,10	1,94	1,24	0,89	0,62	0,443	0,326	0,258

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6

Тема: Изучение схемы и конструкции компенсирующего устройства тяговой подстанции переменного тока

Цель работы: изучить особенности конструкции и принципа работы устройств повышения напряжения на железных дорогах постоянного тока на примере вольтдобавочного устройства.

Краткие теоретические сведения



Рисунок 6.1. Вид модуля ВДУ со стороны подключения тяговой сети.



Рисунок 6.2. Общий вид ВДУ с трансформатором.

Устройство вольтодобавочное служит для усиления электроснабжения контактной сети постоянного тока 3,3 кВ электрифицированных железных дорог.

Основной режим работы ВДУ – стабилизация напряжения в контактной сети путем регулирования уровня выходного напряжения тяговой подстанции в зависимости от токовой нагрузки.

В комплект поставки ВДУ входят:

- модуль вольтодобавочного устройства;
- трансформатор вольтодобавочного устройства 10(6) кВ;
- щиток дистанционного управления;
- датчик напряжения с предохранителем и комплектом проводов вторичной коммутации.

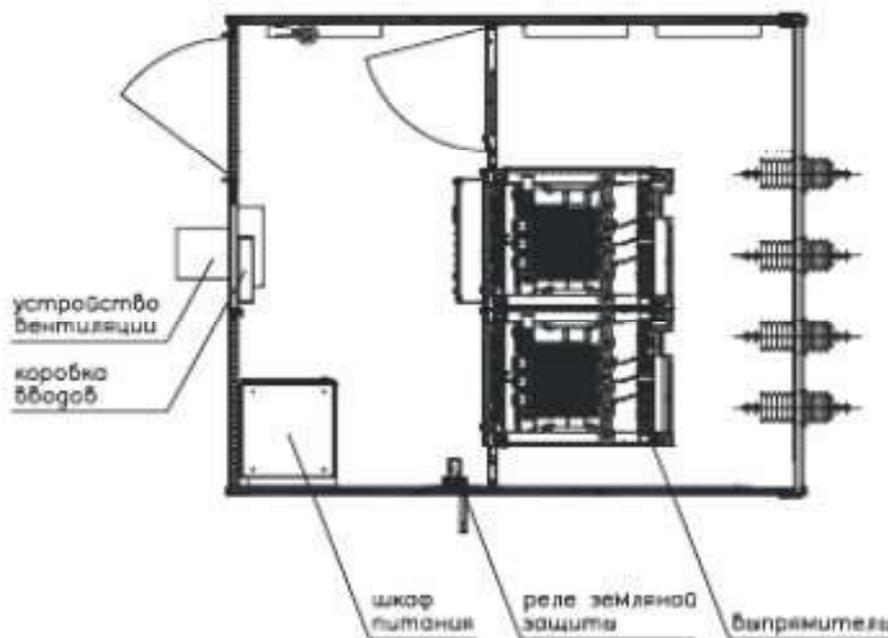


Рисунок 6.3. План расположения оборудования в модуле ВДУ.

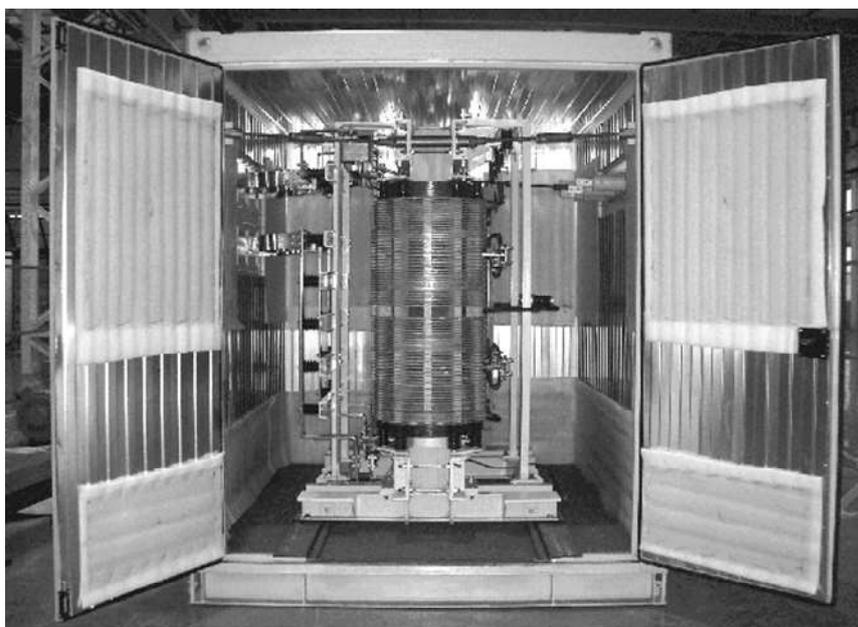


Рисунок 6.4. Трансформатор.

Трансформатор ВДУ представляет собой сухой трансформатор мощностью 2,5 МВА в кожухе размером 3035x3000x2930 мм и массой 10600 кг.

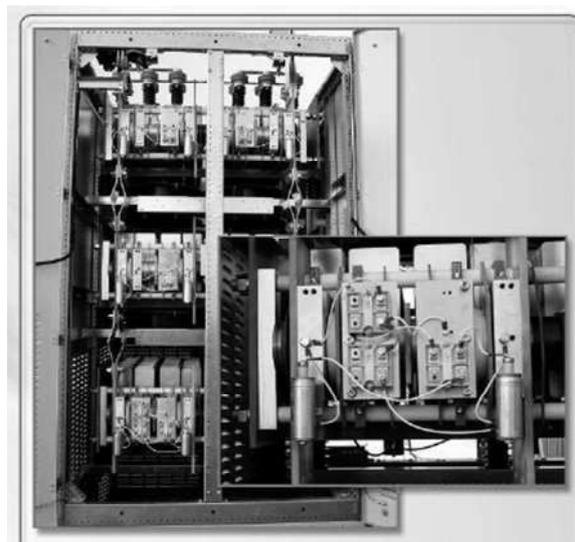


Рисунок 6.5. Общий вид и внутреннее устройство выпрямителя. Выпрямитель В-МПП-3,15к-500 УХЛ4 на номинальное выходное напряжение 500 В.

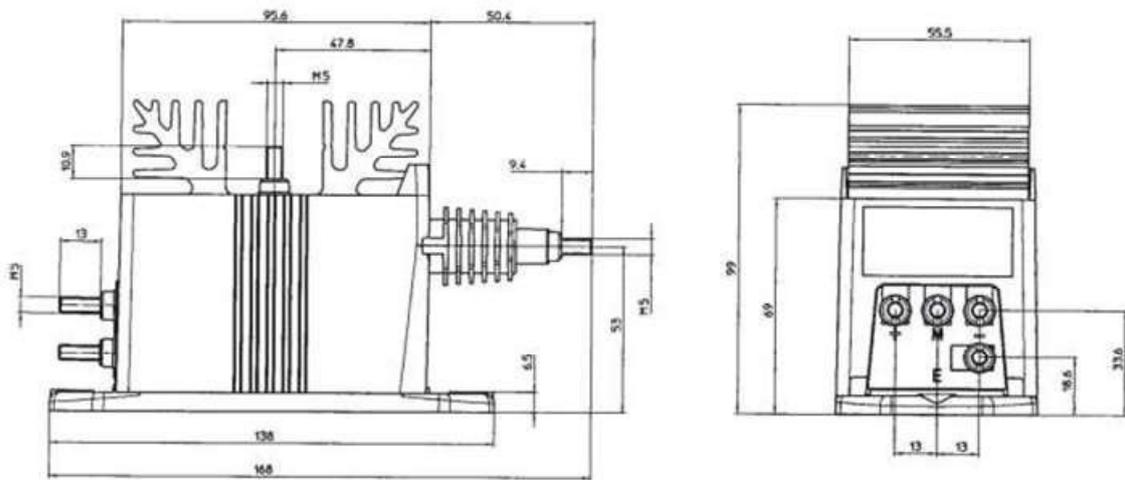


Рисунок 6.6. Датчик напряжения.

ДН представляет собой компенсационный датчик на эффекте Холла и служит для электронного преобразования напряжения в пропорциональный выходной ток. ДН имеет гальваническую развязку между первичной (силовой) и вторичной (измерительной) цепями. ДН имеет токовый выход с коэффициентом преобразования 4000 В/50 мА.

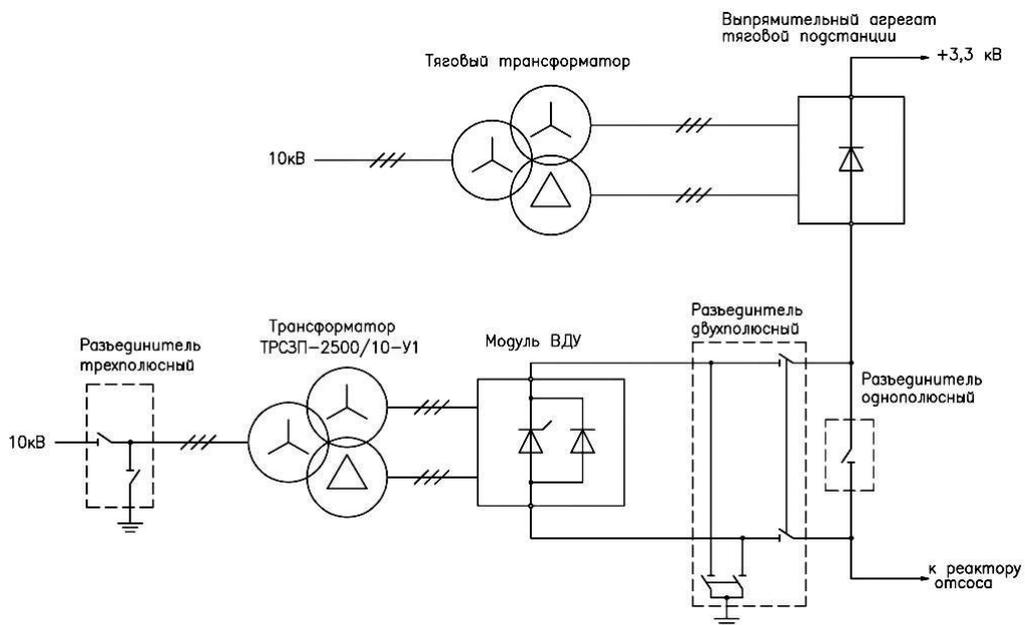


Рисунок 6.7. Принципиальная схема ВДУ.

Таблица 6.1 - Основные технические характеристики ВДУ

Наименование параметра	Значение
Количество фаз напряжения сети переменного тока	3
Номинальное напряжение питающей сети, кВ	10(6)
Номинальная частота питающей сети, Гц	50
Номинальное выходное напряжение, В	500
Номинальный выходной ток, кА	3,15
Выходная мощность, кВт, не менее	1500
Напряжение питания собственных нужд трехфазное частотой 50 Гц, В	220+22
Мощность, потребляемая цепями собственных нужд, кВА, не более	5
Коэффициент полезного действия в номинальном режиме, не менее	0,97
Диапазон регулирования выходного напряжения, В	от 0 до 500
Диапазон регулирования уставки перехода ВДУ в режим стабилизации тока, А	от 1500 до 4500
Амплитуда пульсации переменной составляющей 600 Гц выпрямленного напряжения, В, не более	50

Модуль ВДУ включается последовательно с тяговым выпрямительным агрегатом со стороны «минуса». Напряжение на выходе модуля ВДУ суммируется с напряжением тягового выпрямительного агрегата. Регулированием напряжения модуля ВДУ обеспечивается стабилизация уровня выходного напряжения тяговой подстанции на заданном уровне. Регулирование выходного напряжения модуля ВДУ осуществляется по сигналам ДН, установленного на сборных шинах постоянного тока тяговой подстанции. Выходной сигнал ДН заводится в щиток ДУ, где сравнивается с уставкой. По результатам сравнения формируется сигнал управления ВДУ. По сигналу управления модуль ВДУ обеспечивает выходное напряжение,

необходимое для стабилизации напряжения тяговой подстанции на уровне заданной уставки.

Для защиты ВДУ от перегрузок используются сигналы с датчиков тока. Защита ВДУ от перегрузок обеспечивается переводом его в режим стабилизации по току. Система управления ВДУ обеспечивает выходное напряжение модуля ВДУ, необходимое для удержания тока ВДУ на уровне, не превышающем уставку. В случае невозможности стабилизации тока и его дальнейшего увеличения (короткое замыкание), обеспечивается минимальное выходное напряжение модуля ВДУ. Для снижения переменных составляющих в выпрямленном напряжении, а также прохождения тока при выключенном ВДУ, предусмотрены шунтирующие диоды. В случае возникновения аварийной или нештатной ситуации с тиристором снимаются импульсы управления, а ток тяговой подстанции замыкается через шунтирующие диоды. В этом случае обеспечивается уровень напряжения на выходе тяговой подстанции без работы ВДУ (без стабилизации). Для обеспечения дистанционного управления ВДУ на тяговой подстанции устанавливается щиток ДУ.



Рисунок 6.8. Щиток дистанционного управления.



Рисунок 6.9. Общий вид сухих трансформаторов без защитного кожуха.

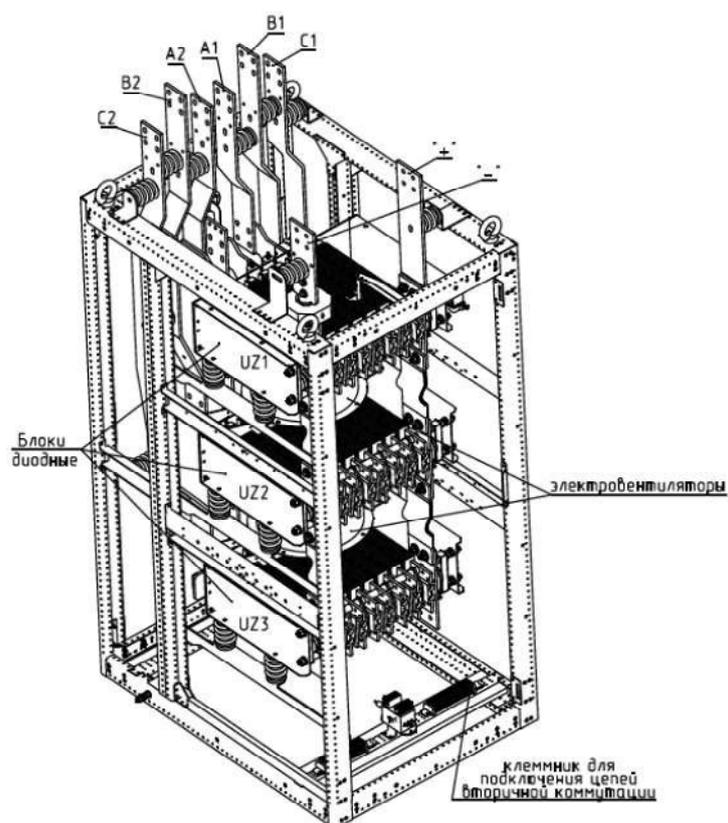


Рисунок 6.10. Устройство выпрямителя.

#### Порядок выполнения работы

1. Выписать назначение ВДУ
2. Перечислить составные части ВДУ.
3. Выписать параметры основных элементов ВДУ.
4. Начертить принципиальную схему ВДУ.
5. Привести основные элементы конструкции трансформатора.
6. Привести основные элементы конструкции выпрямителя.
7. Сделать вывод об особенностях применения ВДУ.

## Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Назначение ВДУ.
3. Основные элементы конструкции ВДУ.
4. Параметры основных элементов ВДУ.
5. Принципиальная схема вольтодобавочного устройства.
6. Основные элементы конструкции трансформатора и выпрямителя.
7. Вывод о преимуществах и недостатках ВДУ, перспективах применения.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 7

Тема: Изучение схемы и конструкции вольтодобавочного устройства тяговой подстанции постоянного тока

Цель работы: Изучить особенности конструкции компенсирующих устройств путем практического сравнения оборудования различных поколений.

Оборудование и приборы: Занятие проводится с использованием электронных образовательных ресурсов.

Краткие теоретические сведения

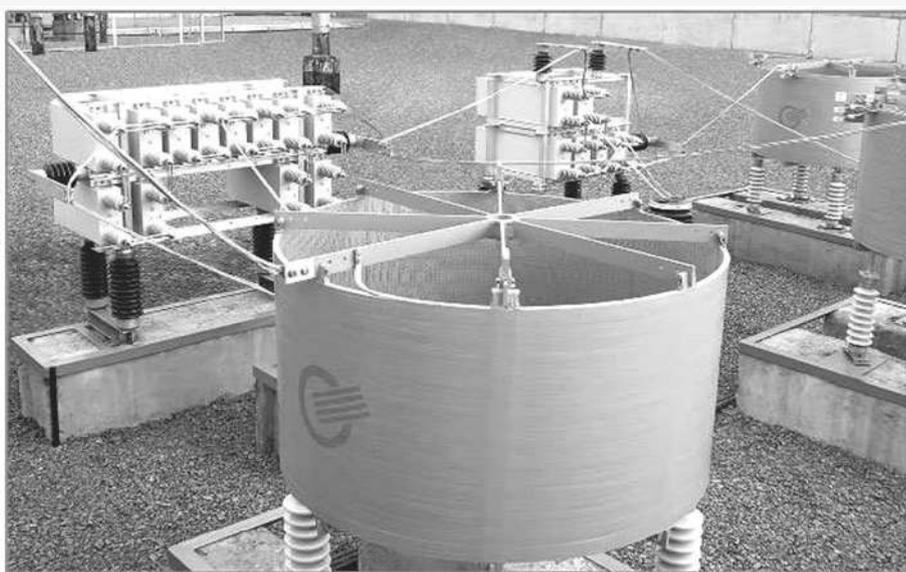


Рисунок 7.1. Устройство фильтрации и компенсации реактивной мощности переменного тока.

УФК реактивной мощности предназначено для компенсации реактивной мощности и фильтрации гармоник питающей сети. Состоит из блока выключателей ввода (A1), реакторов (L1-L3), конденсаторов C1-C18, резистора R1, аппаратуры управления и измерения в составе подстанции.

Конденсаторная батарея C1-C12 обеспечивает компенсацию реактивной мощности.

Реактор L1 служит для ограничения токов переходных процессов. Фильтр из C13-C16 и реактора L2 обеспечивает компенсацию 3 и 5 гармоник.

Фильтр из C17-C18 и реактора L3 настроен в резонанс на частоте сети. R1 с основным реакторным оборудованием и конденсаторными батареями обеспечивает снижение гармоник частотами выше 250 Гц.

Подключение к сети осуществляется через дополнительный резистор с последующим шунтированием основным выключателем.

Датчики небаланса токов отдельных ветвей конденсаторных батарей, а также сигналы перегрузки токовых ветвей обеспечивают защитное отключение УФК.

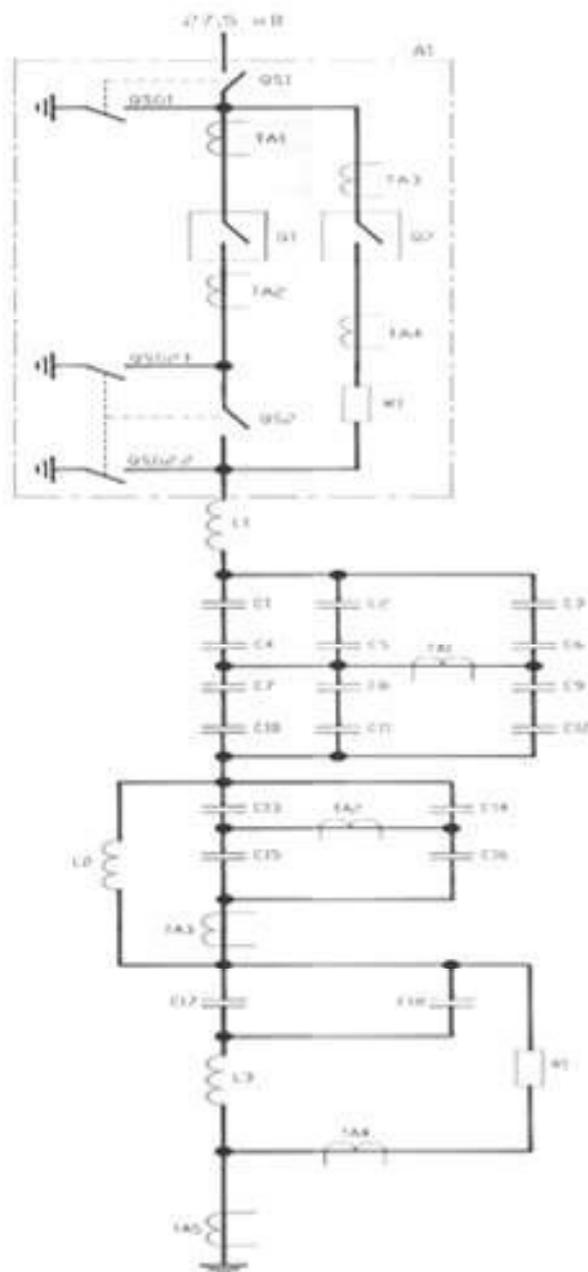


Рисунок 7.2. Принципиальная схема УФК.

**Устройство продольной компенсации УПК** включается последовательно с выводами тягового трансформатора подстанции или с проводами контактной сети для повышения напряжения за счет снижения комплексного сопротивления. Основная задача УПК – компенсировать индуктивное сопротивление тягового трансформатора, сети и КС.

Основные элементы УПК:

1. Конденсаторные батареи.
2. Демпфирующие реакторы.
3. Трансформаторы тока небаланса конденсаторных батарей.
4. Ячейка устройства защиты УПК-27,5 кВ
5. Устройство защиты нелинейное УЗН-27,5 /6,0
6. Быстродействующий высоковольтный короткозамыкатель
7. Трансформатор напряжения
8. Входные трансформаторы тока.

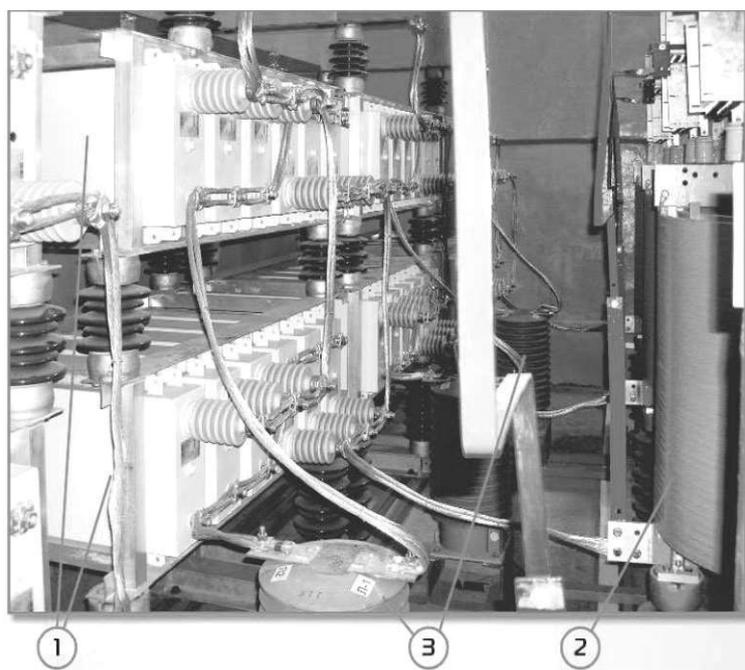


Рисунок 7.3. Устройство продольной компенсации для системы тягового электроснабжения переменного тока. Конденсаторно-реакторные секции УПК-27,5 кВ.

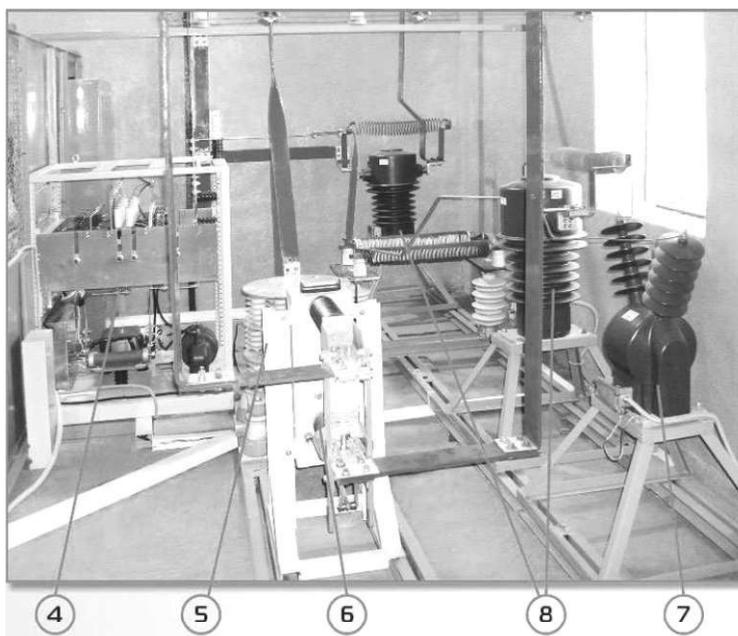


Рисунок 7.4. Силовое защитное оборудование УПК-27,5 кВ.

Основные преимущества УПК:

- С ростом тяговой нагрузки автоматически растет компенсирующий эффект;
- Безынертность регулирования напряжения при изменяющейся тяговой нагрузке;
- Использование тиристорного ключа позволяет повысить надежность и ресурс работы конденсаторов.

Состав УПК:

- Конденсаторные батареи (Ск1-Ск4)
- Демпфирующие реакторы (L1-L4)
- Демпфирующие резисторы (R10-R17)
- Коммутационная аппаратура (разъединители QS1- QS7)

**Защитная аппаратура:**

- короткозамыкатель КБВ 27,5-Qш
  - Ячейка УЗ УПК-27,5 кВ-Uvs
  - Устройство защиты нелинейное УЗН-27,5/6,0 УХЛ1-RU1
  - Токоограничивающие резисторы R8-R9

**Аппаратура измерения и защиты:**

- Трансформаторы тока ТА 1- ТА5 и ТА8 - ТА9

- Трансформаторы тока небаланса TAN1-TAN4
- Трансформатор напряжения TV1

#### **Аппаратура управления, контроля и сигнализации:**

- Шкаф управления УПК-27,5 кВ – А3
- Щит вводной А1

#### Порядок выполнения работы

1. Изучить электронные материалы по устройству поперечной компенсации ст. Бабаево и выписать назначение, техническую характеристику и элементы конструкции.
2. Выписать назначение и основные элементы УФК.
3. Визуально сравнить конструкции компенсирующих устройств различных поколений, выписать сходства и различия.
4. Изучить принципиальную схему УФК, вычертить ее в отчет, выписать назначение основных элементов.
5. Выписать назначение устройства продольной компенсации.
6. Определить состав основного оборудования устройства продольной компенсации.
7. Выписать защитное оборудование.
8. Используя электронные материалы, вычертить фрагмент принципиальной схемы устройства и привести пояснения к нему.
9. Сделать вывод о преимуществах и недостатках компенсирующих устройств различного типа.

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Назначение, номинальные параметры, основные элементы конструкции компенсирующего устройства.
3. Назначение, номинальные параметры, основные элементы конструкции УФК.

4. Сравнительная характеристика компенсирующих устройств.
5. Принципиальная схема УФК и назначение основных элементов.
6. Назначение, основные элементы и преимущества устройства продольной компенсации.
7. Фрагмент принципиальной схемы УПК с пояснениями
8. Вывод о преимуществах, недостатках и особенностях конструкции различных компенсирующих устройств.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 8

Тема: Расчет и выбор компенсирующего устройства

Цель работы: научиться определять число и емкость конденсаторов в компенсирующем устройстве.

Исходные данные: приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1 - Исходные данные

Вариант	Максимальная активная мощность потребителя $P_{\max}$ , кВт	Номинальное напряжение $U_{\text{ном}}$ , кВ	Коэффициент мощности $\cos\varphi$		Тип конденсатора
			фактический	оптимальный	
1	130	0,22	0,76	0,94	КМ-0,22-9
2	850	6,3	0,78	0,92	КМ-6,3-26
3	450	0,38	0,74	0,96	КС-0,38-20
4	1800	10,5	0,7	0,8	КС-10,5-37,5
5	1200	6,3	0,67	0,85	КС-6,3-50
6	950	0,38	0,75	0,95	КМ-0,38-13
7	430	0,22	0,79	0,95	КС-0,22-6
8	1000	10,5	0,8	0,94	КС-10,5-37,5
9	550	0,22	0,72	0,97	КМ-0,22-13
10	1300	6,3	0,75	0,95	КМ-6,3-45
11	350	0,38	0,69	0,91	КС-0,38-10
12	1500	10,5	0,7	0,9	КС-10,5-37,5
13	340	0,22	0,74	0,86	КС-0,22-13
14	1500	6,3	0,78	0,99	КС-6,3-26
15	430	0,38	0,78	0,94	КМ-0,38-20
16	250	0,22	0,76	0,97	КМ-0,22-6
17	900	10,5	0,74	0,86	КС-10,5-26
18	130	0,22	0,76	0,94	КС-0,22-26
19	850	6,3	0,78	0,92	КМ-6,3-67
20	450	0,38	0,74	0,96	КС-0,38-36
21	1800	10,5	0,7	0,8	КС-10,5-75
22	1200	6,3	0,67	0,85	КС-6,3-45
23	950	0,38	0,75	0,95	КМ-0,38-36
24	430	0,22	0,79	0,95	КМ-0,22-26
25	1000	10,5	0,8	0,94	КС-10,5-37,5
26	550	0,22	0,72	0,97	КС-0,22-9
27	1300	6,3	0,75	0,95	КМ-6,3-26
28	350	0,38	0,69	0,91	КС-0,38-37,5
29	1500	10,5	0,7	0,9	КС-10,5-50
30	340	0,22	0,74	0,86	КМ-0,22-9
31	1500	6,3	0,78	0,99	КС-6,3-67
32	430	0,38	0,78	0,94	КМ-0,38-10
33	250	0,22	0,76	0,97	КС-0,22-13
34	900	10,5	0,74	0,86	КС-10,5-37,5

### Порядок выполнения работы

1. Определить мощность компенсирующего устройства.

$$Q_{\text{ку}} = P_{\text{max}} \cdot (\operatorname{tg}\varphi_{\text{факт}} - \operatorname{tg}\varphi_{\text{онм}}) \cdot \alpha$$

где  $\alpha=0,85$

2. Определить количество конденсаторов в компенсирующем устройстве с учетом заданного типа конденсатора.

$$N_{KV} = \frac{Q_{KV}}{Q_1},$$

где  $Q_1$  – мощность одного конденсатора, квар.

3. Рассчитать реактивную мощность одной фазы.

$$Q_{\phi} = \frac{Q_{KV}}{3}$$

4. Определить число конденсаторов в одной фазе.

$$N_{1\phi} = \frac{N_{KV}}{3}$$

5. Рассчитать емкость батареи конденсаторов в мкФ.

$$C_{бат} = \frac{Q_{KV}}{2\pi f \cdot U_{ном}^2 \cdot 10^{-3}}$$

6. Начертить схему компенсирующего устройства с учетом уровня напряжения, числа рассчитанных конденсаторов для каждой фазы, защитных аппаратов и возможности контроля напряжения.
7. Сделать вывод о выполненной работе.

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Расчет параметров компенсирующего устройства.
3. Схема компенсирующего устройства.
4. Вывод.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 9

Тема: Определение места расположения центра электрических нагрузок

Цель работы: научиться определять центр электрических нагрузок потребителей и место расположения ГПП (ЦРП) для железнодорожного узла.

### Исходные данные

Категория, установленная мощность  $P_y$  и коэффициент спроса  $k_c$  основных потребителей электроэнергии для соответствующих вариантов приведены в таблице 9.1. Номер рисунка заданного плана станции по вариантам, а также координаты расположения трансформаторных подстанций (ТП) на территории потребителей указаны в таблице 9.2. Рисунки планов станции приведены в приложении 9.1.

Таблица 9.1 - Характеристики потребителей

Наименование потребителя электроэнергии	Категория потребителя	Коэффициент спроса $k_c$	Номера вариантов											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
			25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Установленная мощность потребителей $P_y$ , кВт														
Пассажирское здание	I	0,6	100	150	200	120	130	160	180	110	140	170	150	130
Жилой поселок	III	0,4	400	500	600	450	550	650	480	560	700	680	580	460
Школа	I	0,8	120	150	170	185	200	190	140	160	155	130	175	165
Больница	I	0,7	300	340	350	310	280	250	270	240	320	330	260	290
Насосная	I	0,7	280	400	280	380	260	350	370	290	340	375	285	390
Котельная	I	0,5	600	500	700	550	650	580	640	700	600	500	550	650
Депо	I	0,8	700	680	720	650	600	620	580	575	550	670	710	630
Грузовой двор	II	0,85	150	200	100	120	130	140	150	160	170	180	110	190
Пост ЭЦ	I	0,95	100	90	80	110	120	130	140	75	85	95	105	125

Таблица 9.2 - Координаты расположения потребителей

Номер варианта	1-12		13-24		25-36	
Номер рисунка плана станции	1		2		3	
Наименование потребителей	Координаты расположения ТП, м					
	х	у	х	у	х	у
Пассажирское здание	40	20	60	-40	40	30
Жилой поселок	-70	180	200	-180	-100	120
Школа	-320	250	-260	-135	-670	120
Больница	650	-140	1070	-240	920	210
Насосная	520	-50	440	-60	-250	30
Котельная	-460	70	770	-60	980	80
Депо	1270	70	-800	60	560	-75
Грузовой двор	-680	-80	850	40	1120	-50
Пост ЭЦ	-170	20	-190	-40	190	30

#### Порядок выполнения работы

1. Выписать исходные данные из таблиц 9.1 и 9.2 в рабочую таблицу 9.3.

Таблица 9.3 Мощности потребителей

Наименование потребителя электроэнергии	Категория потребителя	Кэф-фици-ент спроса, $K_c$	Установ-ленная мощность $P_y$ , кВт	Макси-мальная мощность потре-бителя $P_{max}$ , кВт	Координаты расположения ТП, м	
					х	у

2. Рассчитать максимальные мощности потребителей и занести рассчитанные данные в таблицу 9.3

$$P_{max} = P_y * K_c$$

3. Определить расчетом координаты центра электрических нагрузок (ЦЭН) по формулам:

$$x_{цэн} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_{max} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{i=n} P_{max}} \qquad y_{цэн} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_{max} \cdot y_i}{\sum_{i=1}^{i=n} P_{max}}$$

4. Пользуясь планом станции и данными расчетов, определить приблизительное место расположения главной понижающей подстанции (ГПП). При определении места расположения учитывать возможность размещения территории ГПП и присоединения ее к внешней сети электропитания. Размеры территории ГПП принять следующими: 200x100 м.
5. Сделать вывод о месте расположения ГПП.

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Исходные данные.
3. Рабочая таблица с параметрами потребителей электроэнергии.
4. Расчет центра электрических нагрузок.
5. Определение места расположения ГПП на плане станции.
6. Вывод о проделанной работе.



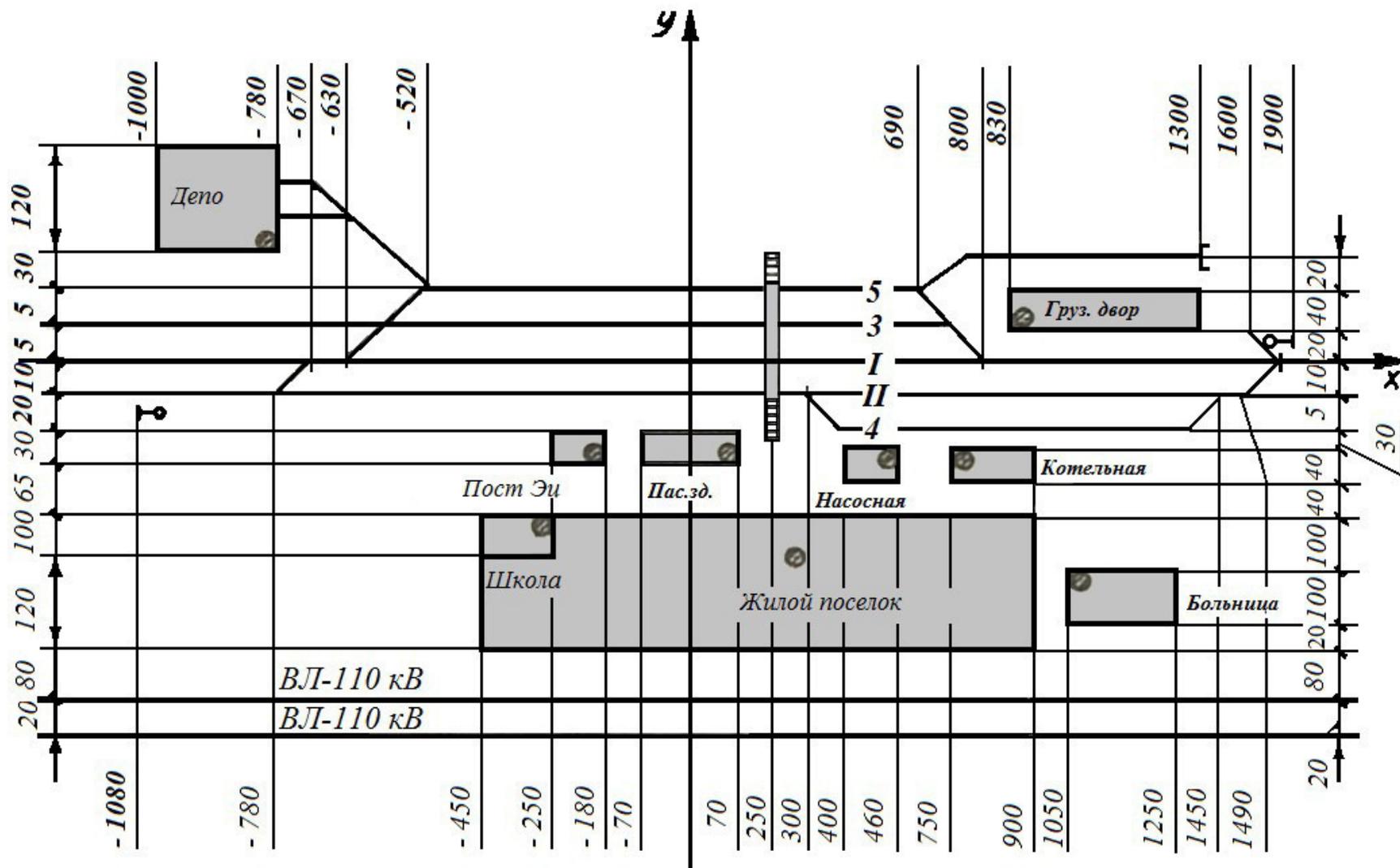


Рисунок 9.2

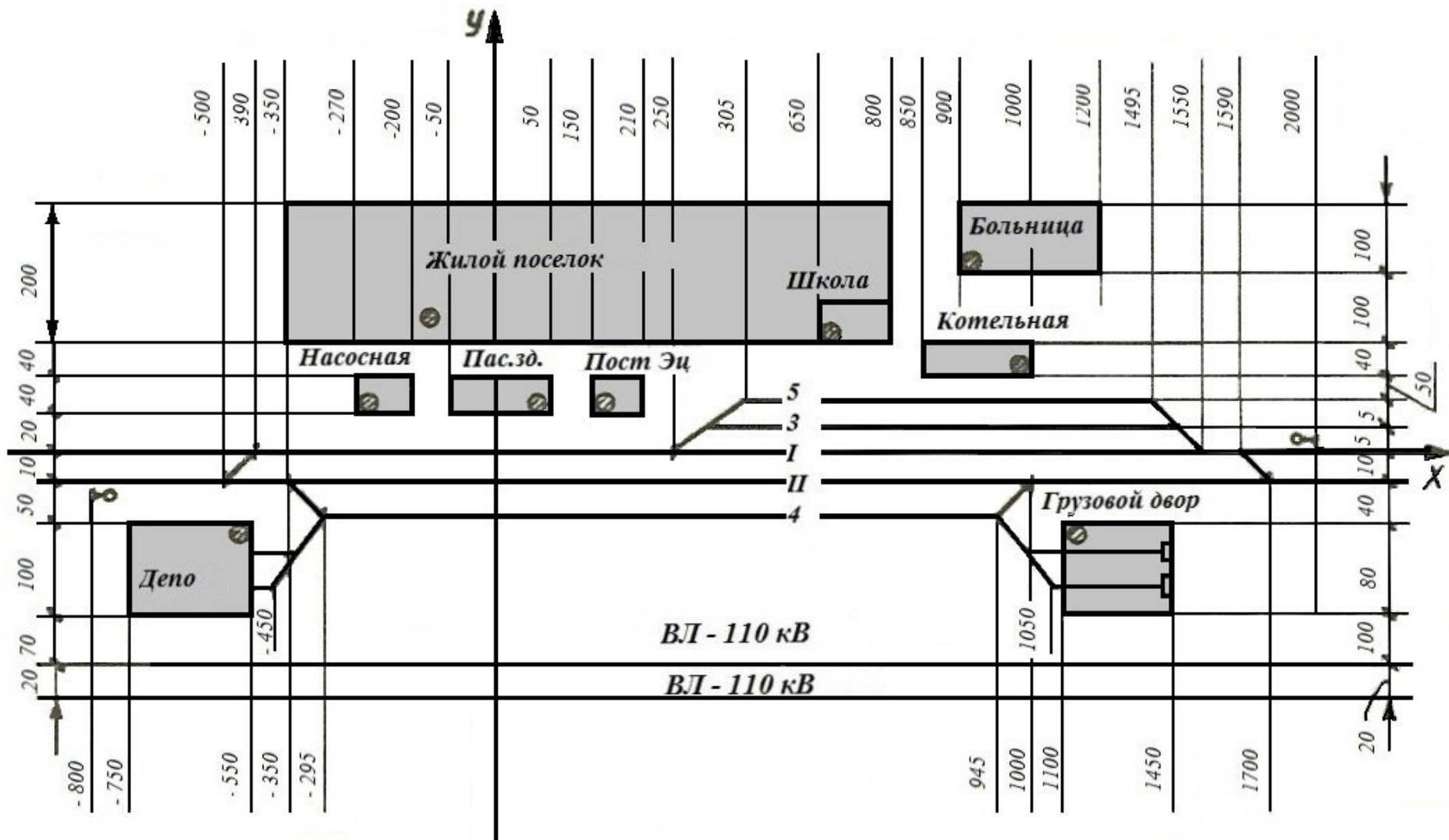


Рисунок 9.3

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 10-11

Тема: Составление схемы и плана распределительных сетей напряжением 10кВ

Цель работы: научиться составлять электрическую схему питания потребителей и ситуационный план железнодорожного узла с учетом категории приемников электрической энергии.

Исходные данные:

Рисунок плана станции, координаты и категории потребителей принимаются по данным варианта практического занятия №9. Место расположения ГПП соответствует координатам, определенным в практическом занятии 9.

Порядок выполнения работы

1. Составить схему питания потребителей от ГПП с учетом их категорий и расстояний.
2. Вычертить на развороте тетрадного листа или на листе миллиметровой бумаги ситуационный план железнодорожного узла в масштабе 1:10000 (1 мм = 10 м). Необходимая длина листа для заданных планов – 300 мм.
  - 2.1. Нанести координатные оси: ось x – ось 1 пути; ось y – ось плана пассажирского здания.
  - 2.2. Нанести оси остальных путей, пользуясь заданными на исходных схемах горизонтальными и вертикальными размерами. При ширине междупутий 5 м допускается принять расстояние между осями путей 1 мм.
  - 2.3. По заданным координатам показать трансформаторные подстанции потребителей электроэнергии, а затем вычертить по указанным размерам здания и территории этих потребителей.
3. Показать на плане определенные ранее координаты ГПП. При расположении ГПП следует учитывать возможность присоединения ее к внешней се-

ти электроснабжения (ВЛ 110 кВ). Размеры территории ГПП принять 70x100м. Присоединить ГПП к питающей линии 110 кВ.

4. Вычертить схему распределительных сетей электроснабжения потребителей электроэнергии железнодорожного узла, учитывая их категорию и взаимное расположение. Питание потребителей может быть выполнено по радиальным или магистральным, в том числе кольцевым, схемам.

Питание потребителей 1 категории должно осуществляться двумя линиями от двух независимых источников питания. Две линии питания потребителей 1 категории могут быть радиальными или магистральными кольцевыми. По кольцевой схеме может получать питание только один потребитель 1 категории, находящийся в месте размыкания кольца.

Потребители 2 категории обычно получают питание по двум линиям.

Потребители 3 категории питают магистральной линией или подключают на отпайках к кольцевой схеме.

Пример схемы распределительных сетей приведен в Приложении 10.1.

При построении схемы следует учитывать, что линии могут быть как воздушными, так и кабельными, особенно при большом путевом развитии станции. Пересечения линий с электрифицированными путями должны проходить под прямым углом.

На ситуационном плане воздушные сети вычерчиваются сплошной линией, а кабельные – штриховой линией.

5. Составить описание и обоснование выполненной схемы, определив взаимосвязь между категорией потребителя и выбранным способом его питания. Указать, какие участки сети выполнены воздушными, а какие – кабельными линиями.

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Исходные данные.
3. Схема питания потребителей от ГПП с учетом их категории.

4. Ситуационный план железнодорожного узла со схемой электроснабжения потребителей.
5. Обоснование составленной схемы.
6. Определение числа воздушных и кабельных линий.
7. Вывод о проделанной работе.

### Приложение 10.1

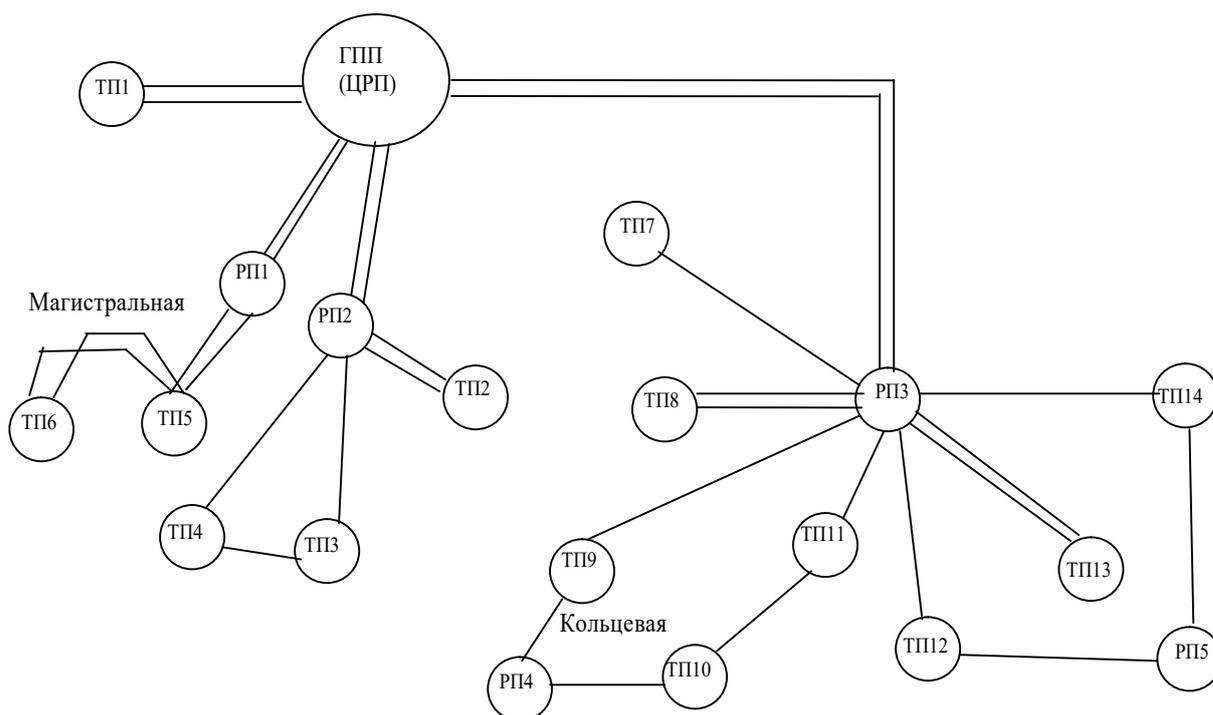


Рисунок 10.1 Схема электроснабжения железнодорожного узла

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 12

Тема: Расчет распределительных сетей

Цель работы: научиться выполнять расчет распределительных сетей по данным ситуационного плана железнодорожного узла и схемы электроснабжения потребителей с выбором проводов и проверкой допустимых потерь напряжения.

Исходные данные:

Ситуационный план железнодорожного узла и схема распределительных сетей, составленные в ходе выполнения практического занятия 10-11.

Электрический расчет выполняется выборочно, номера рассчитываемых потребителей, в зависимости от варианта, приведены в Таблице 12.1.

Максимальные мощности потребителей рассчитаны в практическом занятии 9.

Порядок выполнения работы

1. По ситуационному плану железнодорожного узла (из отчета к практическому занятию 10-11) измерить с помощью линейки длины питающих линий от ГПП до заданных потребителей, пересчитать их с учетом масштаба 1:10000 (1 мм = 10 м), перевести в километры и занести в таблицу 12.2. Для потребителей, получающих питание по 2 разным линиям, определяется линия наибольшей длины.
2. Выполнить расчет максимального тока для каждого из заданных потребителей, А:

$$I = \frac{P_{\max}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi},$$

где  $P_{\max}$  – максимальная мощность потребителя, кВт, определяется по расчетам практического занятия 9;

$U_n$  – номинальное напряжение потребителя,  $U_n = 10$  кВ;

$\cos\varphi = 0,9$  для всех потребителей.

Результаты расчета токов занести в таблицу 12.2.

3. Выбрать сечения проводов.

В качестве токоведущих частей для выполнения распределительных сетей рекомендуется принять самонесущие изолированные провода на напряжение до 20 кВ марки СИП-3.

Выбор проводов СИП для каждого потребителя осуществляется по допустимой длительной нагрузке (Приложение 12.1).

Условие выбора

$$I_{\text{доп}} > I_{\text{мах}}$$

После выбора указывается марка провода СИП с указанием сечения и допустимый ток.

Например, СИП-3 1х50 с сечением  $S=50$  мм<sup>2</sup> и  $I_{\text{доп}}=245$  А.

Результаты выбора заносятся в таблицу 12.2.

4. Определить активные и индуктивные сопротивления питающих линий для заданных потребителей.

Значения активного и индуктивного удельных сопротивлений СИП выбираются из Приложения 12.2.

Активное сопротивление линии, Ом

$$R = r_0 \cdot l,$$

где  $r_0$  – активное удельное сопротивление провода СИП-3 выбранного сечения, определяется из Приложения 12.2;

$l$  – длина питающей линии, определяется из таблицы 12.2.

Результаты расчета активных сопротивлений заносятся в таблицу 12.2.

Индуктивное сопротивление линии, Ом

$$X_L = x_{L0} \cdot l$$

где  $x_{L0}$  – индуктивное удельное сопротивление провода СИП-3 выбранного сечения, для всех потребителей принимается равным 0,3 Ом/км.

Результаты расчета индуктивных сопротивлений заносятся в таблицу 12.2.

Таблица 12.1 - Исходные данные

Вариант	Наименование потребителей электроэнергии, для которых выполняется расчет		
1	Пассажирское здание	Жилой поселок	Школа
2	Больница	Насосная	Котельная
3	Депо	Грузовой двор	Пост ЭЦ
4	Грузовой двор	Пассажирское здание	Депо
5	Жилой поселок	Больница	Пост ЭЦ
6	Насосная	Котельная	Школа
7	Котельная	Насосная	Пассажирское здание
8	Грузовой двор	Школа	Больница
9	Депо	Пост ЭЦ	Жилой поселок
10	Жилой поселок	Школа	Грузовой двор
11	Пассажирское здание	Котельная	Насосная
12	Больница	Пост ЭЦ	Депо
13	Школа	Грузовой двор	Пост ЭЦ
14	Жилой поселок	Пассажирское здание	Депо
15	Насосная	Больница	Школа
16	Пост ЭЦ	Грузовой двор	Насосная
17	Котельная	Школа	Пассажирское здание
18	Депо	Жилой поселок	Больница
19	Жилой поселок	Пост ЭЦ	Грузовой двор
20	Насосная	Школа	Депо
21	Пассажирское здание	Пост ЭЦ	Котельная
22	Школа	Больница	Грузовой двор
23	Котельная	Депо	Жилой поселок
24	Насосная	Пассажирское здание	Школа
25	Пост ЭЦ	Насосная	Больница
26	Грузовой двор	Котельная	Депо
27	Школа	Жилой поселок	Пассажирское здание
28	Пост ЭЦ	Насосная	Грузовой двор
29	Больница	Депо	Пост ЭЦ
30	Пассажирское здание	Жилой поселок	Котельная

Таблица 12.2 Результаты расчета

Наименование потребителя	$l, км$	$I, А$	Марка СИП	$R, Ом$	$X_L, Ом$	$\Delta U_{\phi}, В$	$\Delta U_{л}, В$	$\epsilon, \%$
1.								
2.								
3.								

5. Рассчитать потери фазного напряжения для заданных потребителей, В

$$\Delta U_{\phi} = I_{\max} \cdot R \cdot \cos\varphi + I_{\max} \cdot X_L \cdot \sin\varphi$$

Результаты расчета заносятся в таблицу 12.2.

6. Рассчитать потери линейного напряжения для заданных потребителей, В

$$\Delta U_L = \sqrt{3} \cdot \Delta U_{\phi}$$

Результаты расчета заносятся в таблицу 12.2.

7. Определить относительные потери напряжения для заданных потребителей, %

$$\varepsilon = \frac{\Delta U_L}{U_n} \cdot 100\%$$

Результаты расчета заносятся в таблицу 12.2.

8. Проверить выбранные сечения по допустимой потере напряжения:

$$\varepsilon_{\text{доп}} \geq \varepsilon$$

$\varepsilon_{\text{доп}} = 10\%$ .

Если расчетное значение  $\varepsilon$  больше допустимого, следует принять большее значение сечения проводов и повторить расчет потерь.

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Исходные данные, длины питающих линий.
3. Расчет максимальных рабочих токов.
4. Выбор проводов СИП по длительной допустимой нагрузке.
5. Определение сопротивлений проводов.
6. Расчет потерь напряжения.
7. Заполненная Таблица 12.2.
8. Вывод о проделанной работе.

## Приложение 12.1

Допустимые токовые нагрузки проводов, рассчитанные при температуре окружающей среды +25°C, скорости ветра 0,6 м/с и интенсивности солнечной радиации 1000 Вт/м<sup>2</sup>

Самонесущие изолированные провода до 1 кВ		Самонесущие изолированные и защищенные провода 20 кВ		Самонесущие изолированные и защищенные провода 35 кВ	
Площадь сечения, мм <sup>2</sup>	Допустимый ток, А	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>	Допустимый ток, А	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>	Допустимый ток, А
16	100	16	-	16	-
25	130	25	-	25	-
35	160	35	200	35	220
50	195	50	245	50	270
70	240	70	310	70	340
95	300	95	370	95	400
120	340	120	430	120	460
150	380	150	485	150	520
185	436	185	560	185	600
240	515	240	600	240	670

## Приложение 12.2

Активное сопротивление токопроводящих жил проводов при +90°C на частоте 50 Гц

Площадь сечения, мм <sup>2</sup>									
16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
Активное сопротивление, Ом/км									
2,448	1,54	1,111	0,822	0,568	0,411	0,325	0,265	0,211	0,162

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 13

Тема: Изучение конструкции светильников внутреннего (наружного) освещения

Цель работы: практически изучить конструкции светильников с различными источниками света.

Занятие проводится с использованием электронных образовательных ресурсов и натуральных образцов светильников.

Оборудование и приборы: образцы светильников, мультимедийный проектор с презентацией.

### Краткие теоретические сведения

Основными конструктивными элементами светильников являются: устройства крепления светильника, источник света, устройство подвешивания электрического напряжения (патрон), отражатель (рассеиватель), защитные элементы.

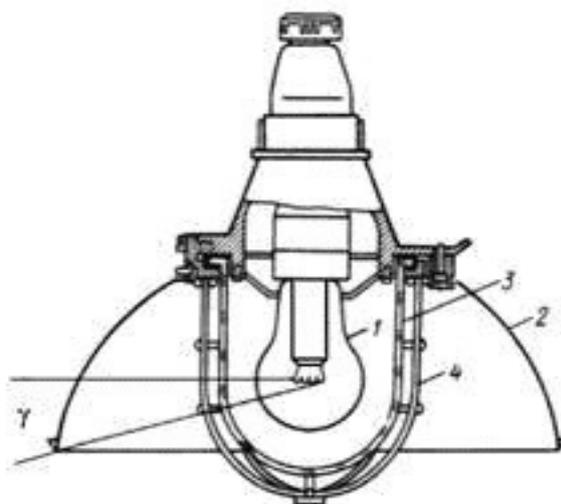


Рисунок 13.

щего

освещения производственных помещений.

- 1 - лампа;
- 2 - отражатель;
- 3 - светопропускающий элемент;
- 4 - защитная сетка;
- γ - защитный угол светильника.

**Пускорегулирующая аппаратура.**

Все светильники с люминесцентными лампами имеют встроенные в них ПРА с конденсаторами для повышения коэффициента мощности. Применение светильников без таких конденсаторов запрещается.

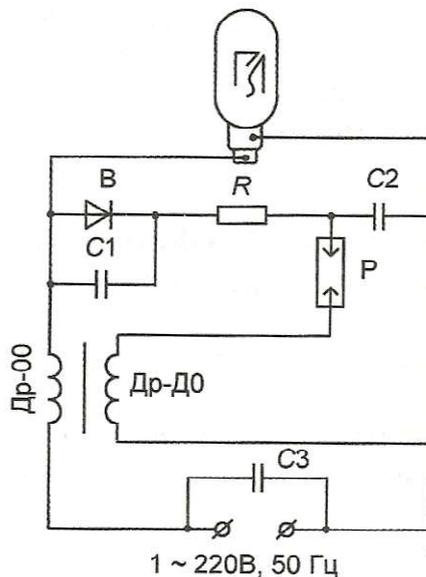


Рисунок 13.2. Принципиальная электрическая схема зажигания ДРЛ (2-х электродная).

Др (Др-00, Др-ДО) – дроссель с двумя обмотками (основной, дополнительной);

В – выпрямитель;

R – ограничительный резистор;

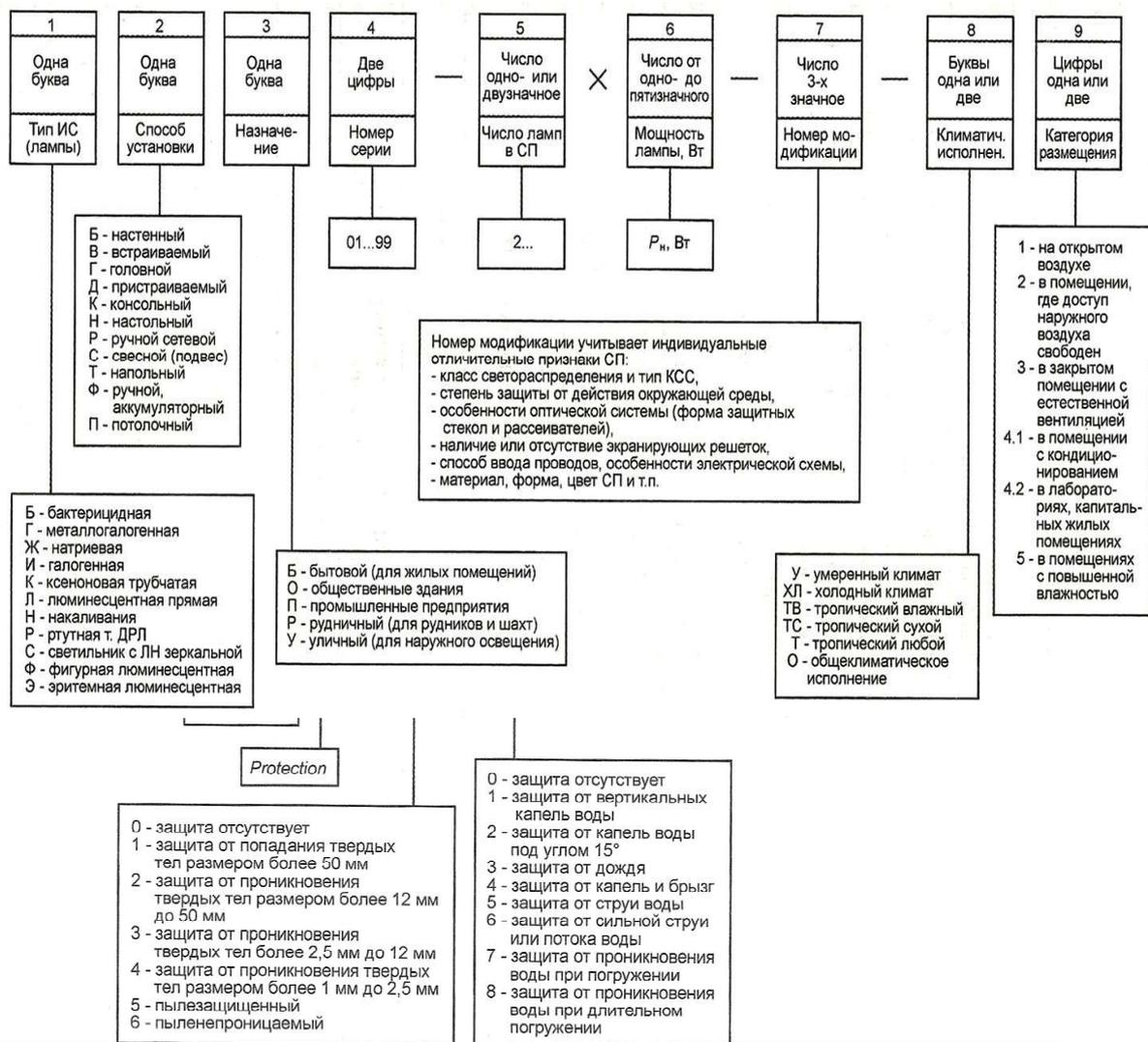
С1- защитный конденсатор выпрямителя;

С2 – накопительный конденсатор;

Р – разрядник;

С3 – емкость для подавления помех радиоприему.

## Типовая маркировка отечественных светильников



### Порядок выполнения работы

1. Определить основные элементы конструкции светильников и выписать в отчет, зарисовав общий вид конструкции светильника и пример подключения пускорегулирующей аппаратуры.
2. Выписать типовую маркировку отечественных светильников и пояснения к ней
3. По электронным материалам изучить основные типы светильников и заполнить таблицу 13.1.

Таблица 13.1 - Основные типы светильников

№ п/п	Тип светильника	Тип источника света	Устройство крепления	Отражатель	Защитные элементы	Класс защиты	Применение

4. Изучить выданный образец светильника:
  - зарисовать общий вид;
  - указать основные элементы;
  - выписать маркировку и расшифровать ее (если есть);
  - определить применение светильника.
5. Сделать вывод о выполненной работе

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Перечень основных элементов светильников.
3. Пример конструкции светильника.
4. Схема ПРА для ДРЛ.
5. Маркировка светильников.
6. Классификация степеней защиты.
7. Заполненная таблица с примерами светильников.
8. Выполненное индивидуальное задание (общий вид, основные элементы и маркировка светильника).
9. Вывод о выполненной работе.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 14

Тема: Расчет внутреннего освещения

Цель работы: научиться производить расчет общего внутреннего равномерного освещения методом коэффициента использования при светильниках любого вида.

Исходные данные указаны в таблице 14.1

**Задание:** Рассчитать осветительную установку для общего равномерного освещения внутреннего помещения, имеющего размеры: длину  $A$ , ширину  $B$ , высоту  $H$ . Потолок, стены и рабочие поверхности светлые. Окна расположены по длине помещения. Нормируемая наименьшая освещенность  $E$  на поверхности рабочих столов (в  $0,8$  м от пола, т.е.  $h_p = 0.8$  м).

Заданы тип светильника, количество и мощность ламп в одном светильнике. Определить световой поток ламп и светильника, количество и размещение светильников, мощность осветительной установки всего помещения.

Порядок выполнения работы

1. Расчет индекса помещения и определение коэффициента использования.

1.1. Индекс помещения

$$j = \frac{S}{h \cdot (A + B)};$$

где  $A$ ,  $B$ ,  $S$  - соответственно длина, ширина и площадь освещаемого помещения;

$h$  – расчетная высота (расстояние между светильниками и освещаемой поверхностью).

Расчетная высота светильников, м:

$$h = H - h_c - h_p,$$

где  $h_c$  – высота подвеса светильника, для светильников в помещениях с подвесными потолками  $h_c = 0$  м;

$h_p$  – высота рабочей поверхности.

### 1.2. Определение коэффициента использования $\eta$ .

Значение коэффициента использования выбирается из справочных таблиц в зависимости от типа и КПД светильника, индекса помещения и коэффициентов отражения потолка  $\rho_{п}$ , стен  $\rho_{с}$ , расчетной поверхности  $\rho_{с}$ . (Приложения 14.1-14.4)

2. Определение типа, мощности и светового потока ламп, мощности и светового потока светильника выполняется по справочным таблицам в зависимости от типа светильника (Приложения 14.1-14.4).

По таблицам определяется также тип лампы, размеры светильника.

### 3. Определение требуемого количества светильников

Расчетное число светильников для заданной нормируемой освещенности

$$N = \frac{E \cdot S \cdot Z \cdot K_3 \cdot 100}{\eta \cdot n \cdot \Phi_l};$$

где  $E$  – нормируемая освещенность, лк;

$S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>;

$Z$  – коэффициент неравномерности освещения,  $Z=1,1$ ;

$K_3$  – коэффициент запаса,  $K_3 = 1,3$ ;

$n$  – число ламп в светильнике;

$\Phi_l$  – световой поток одной лампы в светильнике, лм, определяется по справочным таблицам.

Таблица 14.1 - Исходные данные

Варианты	Размеры помещения:			Коэффициенты отражения:			Тип светильника	Тип лампы	Нормируемая освещенность поверхности рабочих столов E, лк
	длина А, м	ширина В, м	высота Н, м	потолка $\rho_{п}$ , %	стен $\rho_{с}$ , %	рабочей поверхности $\rho_{р}$ , %			
1	15	10	3	70	50	30	414 А01 (Полярис)	ЛХБ	75
2	25	20	3,5	70	30	10	236 А52 (Циклон)	ЛБ	100
3	11	8	4	30	10	10	PEGASUS 150 В29	КГ	150
4	24	19	4,5	70	50	10	418 А30 (Пассат)	ЛД	200
5	26	21	5	50	50	30	ORION218 В27	КЛЛ	300
6	20	15	5,5	50	30	10	218 А29 (Сирокко)	ЛБ	400
7	14	9	6	50	50	10	228 А59 (Алькор)	ЛД	75
8	23	17	3	80	50	30	ЛПО 12-2х40-904	ЛБ	100
9	10	8	3,5	70	50	30	414 А03 (Сириус)	ЛД	150
10	22	18	4	70	30	10	414 А01 (Полярис)	ЛХБ	200
11	28	20	4,5	30	10	10	236 А52 (Циклон)	ЛБ	300
12	20	15	5	70	50	10	PEGASUS 150 В29	КГ	400
13	18	12	5,5	50	50	30	418 А30 (Пассат)	ЛД	75
14	24	19	6	50	30	10	ORION218 В27	КЛЛ	100
15	10	8	3	50	50	10	218 А29 (Сирокко)	ЛБ	150
16	13	9	3,5	80	50	30	ЛПО 12-2х40-904	ЛД	200
17	19	15	4	70	50	30	414 А01 (Полярис)	ЛХБ	300
18	14	10	4,5	70	30	10	236 А52 (Циклон)	ЛБ	400
19	17	11	5	30	10	10	PEGASUS 150 В29	КГ	75
20	12	9	5,5	70	50	10	418 А30 (Пассат)	ЛД	100
21	16	11	6	50	50	30	ORION218 В27	КЛЛ	150
22	30	25	3	50	30	10	218 А29 (Сирокко)	ЛБ	200
23	21	18	3,5	50	50	10	228 А59 (Алькор)	ЛД	300
24	22	19	4	80	50	30	ЛПО 12-2х40-904	ЛБ	400
25	17	13	4,5	70	50	30	414 А01 (Полярис)	ЛХБ	75
26	12	9	5	70	30	10	236 А52 (Циклон)	ЛБ	100
27	27	21	5,5	30	10	10	PEGASUS 150 В29	КГ	150
28	23	18	6	70	50	10	418 А30 (Пассат)	ЛД	200
29	19	11	3	50	50	30	ORION218 В27	КЛЛ	300
30	21	16	3,5	50	30	10	218 А29 (Сирокко)	ЛБ	400
31	16	11	4	50	50	10	228 А59 (Алькор)	ЛД	75
32	13	9	4,5	80	50	30	ЛПО 12-2х40-904	ЛБ	100
33	29	14	5	70	30	10	236 А42 (Леванто)	ЛД	150
34	11	8	5,5	30	10	10	418 А08 (Муссон)	ЛБ	200
35	18	11	6	70	50	10	228 А21 (Полярис)	ЛД	300
36	15	10	3	50	50	30	254 А46 (Циклон)	ЛБ	400

#### 4. Построение плана помещения.

Построение выполняется в масштабе, с учетом размера светильников.

Светильники следует располагать равномерно, на одинаковом расстоянии друг от друга, расстояние от крайних светильников до стен должно равняться примерно половине расстояния между светильниками. При необходимости число светильников следует округлить в большую сторону.

Примерный план расположения светильников приведен на рисунке 14.1

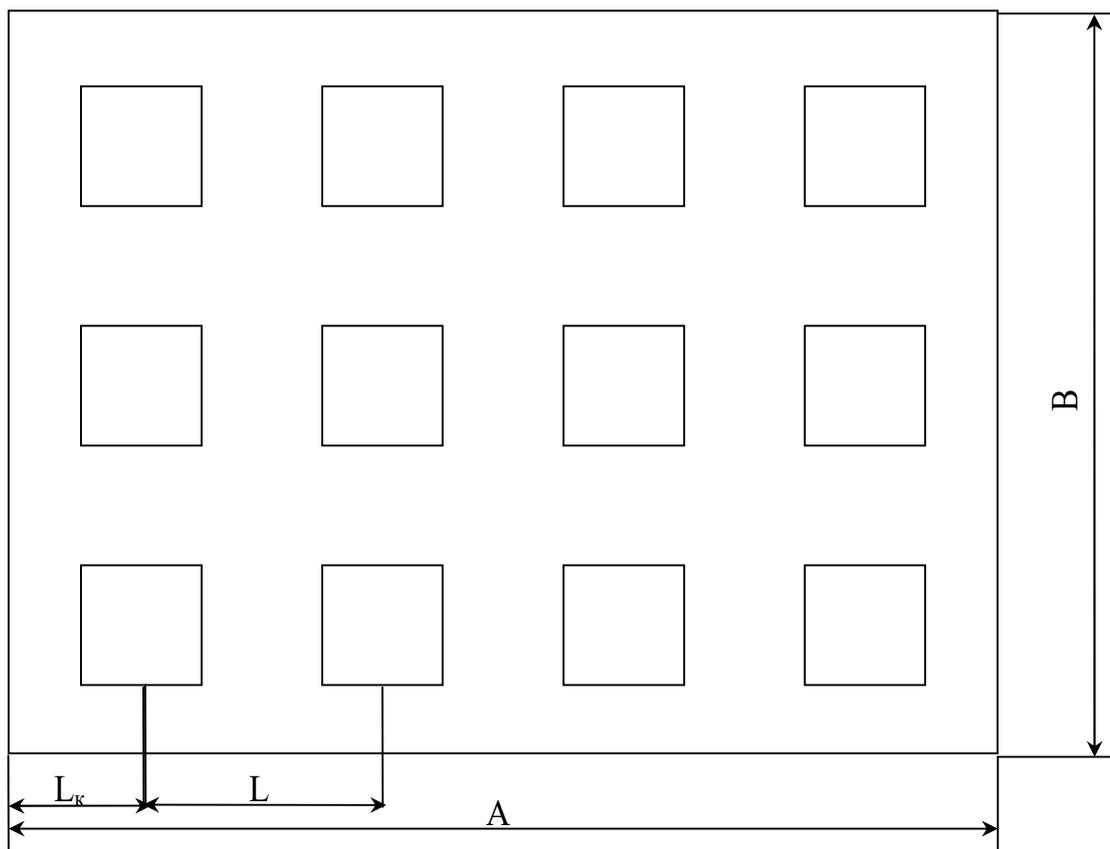


Рисунок 14.1. План расположения светильников в помещении

### 5. Определение установленной мощности осветительной установки

$$P = N \cdot P_{\text{св}},$$

где  $P_{\text{св}}$  – мощность одного светильника, Вт.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Расчет индекса помещения.
3. Определение коэффициента использования.
4. Определение типа, мощности и светового потока ламп, мощности и светового потока светильника.
5. Определение требуемого количества светильников.
6. План расположения светильников в помещении
7. Расчет установленной мощности осветительной установки.

## 8. Вывод о проделанной работе.

### Приложение 14.1

Коэффициенты использования светового потока для светильников с галогенными лампами накаливания (PEGASUS) и с компактными люминесцентными лампами (ORION)

Тип светильника	PEGASUS 150 B 29							ORION 218 B27						
	$\rho_{п}, \%$	70	70	70	50	50	50	30	70	70	70	50	50	50
$\rho_{с}, \%$	50	50	30	50	50	30	10	50	50	30	50	50	30	10
$\rho_{р}, \%$	30	10	10	30	10	10	10	30	10	10	30	10	10	10
$i$	Коэффициенты использования, %													
0,6	91	88	84	90	87	86	83	37	36	31	37	35	31	28
0,8	95	90	89	94	90	88	86	45	43	39	44	42	38	35
1,25	101	95	93	100	94	92	91	56	53	49	54	51	48	45
2	108	97	97	103	96	96	94	66	59	57	63	58	56	53
3	110	100	99	106	97	97	95	71	63	62	68	62	60	58
5	114	101	100	109	99	98	97	76	67	65	72	65	64	62

### Приложение 14.2

Технические характеристики для светильников для светильников с галогенными лампами накаливания (PEGASUS) и с компактными люминесцентными лампами (ORION)

Артикул	Тип лампы и цоколь	Размеры, мм	КПД, %	Мощность, Вт	Световой поток лампы, Лм
PEGASUS 150 B29	1x50Вт (GY6,35)	205x205x123	90	50	1300
PEGASUS 250 B30	2x50Вт (GY6,35)	390x205x123	90	100	1300
PEGASUS 350 B31	3x50Вт (GY6,35)	520x205x123	90	150	1300
PEGASUS 450 B32	4x50Вт (GY6,35)	362x362x123	90	200	1300
PEGASUS 450 B52	4x50Вт (GY6,35)	668x205x123	90	200	1300
ORION 113 D45	1x13Вт (G24d-1)	310x195x95	65	19	600
ORION 213 D46	2x13Вт (G24d-1)	310x195x95	65	38	600
ORION 118 E60	1x18Вт (G24d-2)	310x195x95	65	26	900
ORION 218 B27	2x18Вт (G24d-2)	310x195x95	65	52	900
ORION 126 D47	1x26Вт (G24d-3)	335x235x150	65	34	1200
ORION 226 B28	2x26Вт (G24d-3)	335x235x150	65	68	1200

Приложение 14.3

Коэффициенты использования светового потока для светильников с люминесцентными лампами

Тип светильника	ЛПО 12-2х40-904							414 А01 (Поларис)						
$\rho_{п}, \%$	80	70	70	50	50	50		70	70	70	50	50	50	30
$\rho_{с}, \%$	50	50	30	50	30	30		50	50	30	50	50	30	10
$\rho_{р}, \%$	30	30	30	30	30	10		30	10	10	30	10	10	10
i	Коэффициенты использования, %													
0,6	33	32	25	30	24	24	-	38	37	33	37	36	33	30
0,8	41	39	32	36	30	29	-	45	43	40	44	42	39	37
1,0	47	45	38	42	35	34	-	-	-	-	-	-	-	-
1,25	53	51	44	47	41	39	-	54	51	48	53	50	47	45
1,5	58	55	48	51	45	43	-	-	-	-	-	-	-	-
2	65	62	56	57	52	49	-	63	56	55	60	55	54	52
2,5	70	67	61	61	56	53	-	-	-	-	-	-	-	-
3	74	71	65	64	60	56	-	66	60	58	63	58	57	55
4	79	75	70	68	64	60	-	-	-	-	-	-	-	-
5	83	78	74	71	68	62	-	70	62	61	67	61	60	58
Тип светильника	414 А03 (Сириус)							Светильник 414 А19 (Поларис)						
$\rho_{п}, \%$	70	70	70	50	50	50	30	70	70	70	50	50	50	30
$\rho_{с}, \%$	50	50	30	50	50	30	10	50	50	30	50	50	30	10
$\rho_{р}, \%$	30	10	10	30	10	10	10	30	10	10	30	10	10	10
i	Коэффициенты использования, %													
0,6	41	40	35	40	38	35	32	38	37	33	37	36	33	30
0,8	49	47	43	48	45	42	39	45	43	40	44	42	39	37
1,25	59	56	52	58	54	52	49	54	51	48	53	50	47	45
2	69	62	61	66	61	59	57	63	56	55	60	55	54	52
3	74	66	65	71	65	63	61	66	60	58	63	58	57	55
5	78	69	68	74	78	67	65	70	62	61	67	61	60	58
Тип светильника	428 А23 (Поларис)							Светильник 218 А29 (Сирокко)						
$\rho_{п}, \%$	70	70	70	50	50	50	30	70	70	70	50	50	50	30
$\rho_{с}, \%$	50	50	30	50	50	30	10	50	50	30	50	50	30	10
$\rho_{р}, \%$	30	10	10	30	10	10	10	30	10	10	30	10	10	10
i	Коэффициенты использования, %													
0,6	41	40	35	40	38	35	31	36	35	31	36	34	31	28
0,8	49	47	43	48	45	42	39	43	41	38	42	40	37	35
1,25	60	56	53	58	55	52	49	52	49	46	51	48	45	43
2	70	63	61	67	62	60	57	61	55	53	58	54	52	50
3	75	67	66	72	66	64	62	65	58	57	62	57	55	54
5	80	71	69	76	69	68	66	69	61	59	65	59	58	57
Тип светильника	236 А32 (Пассат)							Светильник 418 А40 (Леванто)						
$\rho_{п}, \%$	70	70	70	50	50	50	30	70	70	70	50	50	50	30
$\rho_{с}, \%$	50	50	30	50	50	30	10	50	50	30	50	50	30	10
$\rho_{р}, \%$	30	10	10	30	10	10	10	30	10	10	30	10	10	10
i	Коэффициенты использования, %													
0,6	35	34	29	34	33	29	25	24	23	19	23	22	19	16
0,8	43	40	36	41	39	36	33	29	28	24	28	27	24	21
1,25	53	50	46	51	48	45	42	37	35	31	36	33	31	28
2	63	57	55	60	56	54	50	45	41	38	43	40	38	35
3	68	61	59	65	60	57	56	50	45	43	47	44	40	39
5	74	65	63	70	64	62	60	54	48	46	51	47	45	44

Продолжение таблицы 14.3

Тип светильника	236 А42 (Леванто)							Светильник 236 А52 (Циклон)						
$\rho_{п, \%}$	70	70	70	50	50	50	30	70	70	70	50	50	50	30
$\rho_{с, \%}$	50	50	30	50	50	30	10	50	50	30	50	50	30	10
$\rho_{р, \%}$	30	10	10	30	10	10	10	30	10	10	30	10	10	10
i	Коэффициенты использования, %													
0,6	22	21	18	21	20	17	15	30	29	24	29	28	24	20
0,8	27	25	22	26	24	22	19	37	35	30	36	34	29	26
1,25	33	31	28	32	30	28	26	47	44	39	45	42	38	35
2	41	37	35	39	36	34	31	57	52	48	54	51	47	43
3	45	40	39	43	39	37	36	64	57	54	61	56	51	50
5	49	43	42	47	42	41	39	70	62	59	66	60	58	56
Тип светильника	228 А59 (АЛЬКОР)							Светильник 418 А08 (Муссон)						
$\rho_{п, \%}$	70	70	70	50	50	50	30	70	70	70	50	50	50	30
$\rho_{с, \%}$	50	50	30	50	50	30	10	50	50	30	50	50	30	10
$\rho_{р, \%}$	30	10	10	30	10	10	10	30	10	10	30	10	10	10
i	Коэффициенты использования, %													
0,6	42	41	33	41	39	33	28	41	39	34	39	38	34	31
0,8	52	49	43	50	47	41	37	48	45	42	46	44	41	38
1,25	65	62	55	63	60	55	50	58	54	50	56	53	50	47
2	81	73	69	77	71	67	62	68	61	59	64	60	58	55
3	90	80	77	85	79	73	71	73	65	64	70	64	61	60
5	98	87	84	93	85	82	79	78	69	67	74	67	66	64
Тип светильника	418 А17 (Леванто)							Светильник 228 А21 (Поларис)						
$\rho_{п, \%}$	70	70	70	50	50	50	30	70	70	70	50	50	50	30
$\rho_{с, \%}$	50	50	30	50	50	30	10	50	50	30	50	50	30	10
$\rho_{р, \%}$	30	10	10	30	10	10	10	30	10	10	30	10	10	10
i	Коэффициенты использования, %													
0,6	24	23	19	23	22	19	16	40	39	35	40	38	34	31
0,8	29	28	24	28	27	24	21	48	46	42	47	44	41	39
1,25	37	35	31	36	33	31	28	58	55	51	57	53	51	48
2	45	41	38	43	40	38	35	68	61	60	65	60	58	56
3	50	45	43	47	44	40	39	72	65	64	69	64	62	60
5	54	48	46	51	47	45	44	77	68	67	73	67	66	64
Тип светильника	418 А28 (Сирокко)							Светильник 418 А30 (Пассат)						
$\rho_{п, \%}$	70	70	70	50	50	50	30	70	70	70	50	50	50	30
$\rho_{с, \%}$	50	50	30	50	50	30	10	50	50	30	50	50	30	10
$\rho_{р, \%}$	30	10	10	30	10	10	10	30	10	10	30	10	10	10
i	Коэффициенты использования, %													
0,6	30	29	25	29	28	25	23	37	36	31	36	35	31	28
0,8	35	33	31	34	32	30	28	45	43	39	44	41	38	35
1,25	42	40	37	41	39	37	35	55	51	48	53	50	47	44
2	49	44	43	46	43	42	40	65	58	56	61	57	55	52
3	52	46	45	49	45	44	43	70	62	61	66	61	58	57
5	55	49	47	52	48	47	45	75	66	64	71	64	63	61
Тип светильника	236 А41 (Леванто)							Светильник 254 А46 (Циклон)						
$\rho_{п, \%}$	70	70	70	50	50	50	30	70	70	70	50	50	50	30
$\rho_{с, \%}$	50	50	30	50	50	30	10	50	50	30	50	50	30	10
$\rho_{р, \%}$	30	10	10	30	10	10	10	30	10	10	30	10	10	10
i	Коэффициенты использования, %													
0,6	22	21	18	21	20	17	15	30	29	24	29	27	23	20
0,8	27	25	22	26	24	22	19	36	34	30	35	33	29	25
1,25	33	31	28	32	30	28	26	45	43	38	44	41	37	34
2	41	37	35	39	36	34	31	56	50	47	53	49	46	42
3	45	40	39	43	39	37	36	62	56	53	59	54	50	49
5	49	43	42	47	42	41	39	68	60	58	65	59	57	54

## Мощность и КПД люминесцентных ламп

Артикул	Тип лампы и цоколь	Размеры, мм	КПД %	Мощность, Вт	Световой поток лампы, лм (ЛД/ЛБ)
ЛПО 12-2×40-904	2x36			80	2850
414 A01 (Поларис)	4x14 (G5)	595x595x57	70	62	1300/1350
236 A52 (Циклон)	2x36 (G13)	1280x170x95	68	84	2850
418 A30 (Пассат)	4x18 (G13)	635x635x66	74	84	1300/1450
218 A29 (Сирокко)	2x18 (G13)	635x360x66	59	50	1300/1450
228 A59 (Алькор)	2x28 (G5)	1175x137x79	60	60	2750/2900
414 A03 (Сириус)	4x14 (G5)	595x595x57	69	62	1300/1350
236 A42 (Леванто)	2x36 (G13)	1380x320x105	34	84	2850
418 A08 (Муссон)	4x18 (G13)	595x595x72	63	84	1300/1450
228 A21 (Поларис)	2x28 (G5)	1210x143x57	57	60	2750/2900
254 A46 (Циклон)	2x54 (G5)	1280x170x95	80	116	4750/5000

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 15

Тема: Расчет наружного освещения

Цель работы: научиться производить расчет наружного освещения точечным методом.

Исходные данные указаны в таблице 15.1

**Задание:** Рассчитать освещение пассажирской платформы.

Заданы - тип светильника, высота подвеса, размеры платформы, нормируемая освещенность, коэффициент запаса  $k=1,5$ . Определить световой поток ламп и светильника, необходимый для обеспечения заданной освещенности, количество и размещение светильников, мощность осветительной установки всего помещения.

### Порядок выполнения работы

1. Принять начальное расстояние между светильниками 15 м.
2. Вычертить план помещения с лампами в масштабе, удобном для измерений.
3. Определить контрольные точки с наименьшей освещенностью – посередине между светильниками и у края платформы.
4. Определить расстояния  $x$  и  $y$  от ближайших к контрольным точкам светильников.
5. Рассчитать относительные размеры на высоту 1 м:

$$\xi = x/h$$

$$\eta = y/h$$

6. По кривой условных изолукс определить относительные горизонтальные освещенности.
7. Данные свести в таблицу 15.2.
8. Выбрать точку с наихудшей освещенностью.
9. Световой поток одного светильника, лм:

$$\Phi = \frac{1000E \cdot k \cdot h^2}{\Sigma \varepsilon},$$

где E – нормируемая освещенность, лк,

k – коэффициент запаса,

$\Sigma \varepsilon$  – суммарная относительная условная освещенность, лк/м.

Таблица 15.1 - Исходные данные

Вариант	Ширина платформы, А, м	Длина платформы, В, м	Высота установки светильников h, м	Нормируемая освещенность E, лк	Тип светильника
1	5	400	6,5	5	РКУ
2	4	500	5	10	ЖКУ
3	3	600	4,5	5	СУС
4	5	700	4,5	10	СУС
5	4	800	5	10	РКУ
6	3	400	6	5	СУС
7	5	500	5	5	ЖКУ
8	4	600	5	10	СУС
9	3	700	4,5	5	РКУ
10	5	800	4,5	10	ЖКУ
11	4	400	5	5	СУС
12	3	500	6	10	СУС
13	5	600	5	10	РКУ
14	4	700	4,5	5	СУС
15	3	800	6	5	ЖКУ
16	5	800	4,5	10	СУС
17	4	400	4,5	10	РКУ
18	3	500	5	5	СУС
19	5	600	6	5	ЖКУ
20	4	700	5	10	СУС
21	3	800	5	5	РКУ
22	5	400	4,5	10	ЖКУ
23	4	500	4,5	5	СУС
24	3	600	5	10	СУС
25	5	700	6	10	РКУ

Таблица 15.2 - Определение условной освещенности

Точка	Номера светильников	Параметр $\xi$ ,	Параметр $\eta$	Относительная условная освещенность, $\varepsilon$	
				от одного светильника	от всех ближайших светильников

10. Выбрать мощность источника света и марку светильника по справочным данным. При необходимости откорректировать число светильников.

11. Подсчитать полную потребляемую мощность.

$$P = N * P_{\text{св}}$$

где  $P_{\text{св}}$  – мощность одного светильника, Вт.

Сделать вывод о проделанной работе.

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. План расположения светильников в масштабе.
3. Таблица 15. 2.
4. Определение мощности и светового потока лампы, мощности и светового потока светильника.
5. Корректировка требуемого количества светильников.
6. Расчет установленной мощности осветительной установки.
7. Вывод о проделанной работе.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 16

Тема: Расчет потенциалов и токов в рельсовой цепи для схем с одиночной нагрузкой

Цель работы: научиться выполнять построение картины распределения токов и потенциалов на рельсе и на подземном сооружении.

Исходные данные указаны в таблице 16.1

**Задание:** Рассчитать токи и потенциалы в рельсах в схеме с одной нагрузкой и подстанцией.

Заданы тип контактной подвески, тип рельсов Р-65, число рельсов – 2, ток электровоза, переходное сопротивление рельс-земля, температура контактного провода, расстояние между подстанцией и электровозом.

### Порядок выполнения работы

1. Определение сопротивления подвески, Ом/км:

$$r_{эн} = \frac{\rho_m}{S_m + \frac{S_{нбсм}}{3} + \frac{S_A}{1,65}},$$

где  $\rho_m = 18,8 \text{ Ом} \cdot \text{км} / \text{мм}^2$  - удельное сопротивление меди.

2. Внесение поправки на температуру

$$r_{энт} = r_{эн} \cdot [1 + \alpha_t (t - 20)],$$

где  $\alpha_t = 0,004 \text{ 1/}^\circ\text{C}$  – температурный коэффициент.

3. Определение сопротивления рельсовой цепи, Ом/км:

$$r_{эп} = \frac{2}{m \cdot N},$$

где  $N = 2$  – число рельсов,

$m = 65 \text{ кг}$  - масса 1 м рельсов.

#### 4. Определение эквивалентного сопротивления тяговой сети, Ом/км:

$$r_{\text{эо}} = r_{\text{элт}} + r_{\text{эп}}$$

Таблица 16.1 - Исходные данные

Вариант	Тип контактной подвески	Ток электровоза $I_{\text{э}}$ , А	Переходное сопротивление рельс-земля $r_{\text{п}}$ , Ом/км	Температура контактного провода $t$ , °С	Расстояние между подстанцией и электровозом, $l$ , км
1	М-120+2МФ-100+2А-185	1200	1,0	50	15
2	М-120+2МФ-100+А-185	1500	1,2	60	20
3	ПБСМ-95+2МФ-100+4А-185	1600	1,1	90	10
4	ПБСМ-95+2МФ-100+2А-185	1300	1,3	80	14
5	ПБСМ-95+МФ-100+А-185	1000	1,4	70	21
6	ПБСМ-95+МФ-100+2А-185	1700	2,0	60	23
7	М-120+2МФ-100+2А-185	2000	1,8	90	25
8	М-120+2МФ-100+А-185	1800	1,6	80	11
9	ПБСМ-95+2МФ-100+4А-185	1100	2,1	70	22
10	ПБСМ-95+2МФ-100+2А-185	1400	1,5	50	18
11	ПБСМ-95+МФ-100+А-185	2100	1,0	70	13
12	ПБСМ-95+МФ-100+2А-185	2200	1,2	60	24
13	М-120+2МФ-100+2А-185	1200	1,1	90	12
14	М-120+2МФ-100+А-185	1500	1,3	80	16
15	ПБСМ-95+2МФ-100+4А-185	1600	1,4	70	17
16	ПБСМ-95+2МФ-100+2А-185	1300	2,0	50	19
17	ПБСМ-95+МФ-100+А-185	1000	1,8	90	15
18	ПБСМ-95+МФ-100+2А-185	1700	1,6	80	20
19	М-120+2МФ-100+2А-185	2000	2,1	70	10
20	М-120+2МФ-100+А-185	1800	1,5	60	14
21	ПБСМ-95+2МФ-100+4А-185	1100	1,0	90	21
22	ПБСМ-95+2МФ-100+2А-185	1400	1,2	80	23
23	ПБСМ-95+МФ-100+А-185	2100	1,1	70	25
24	ПБСМ-95+МФ-100+2А-185	2200	1,3	50	11
25	М-120+2МФ-100+2А-185	1200	1,4	70	22
26	М-120+2МФ-100+А-185	1500	2,0	60	18
27	ПБСМ-95+2МФ-100+4А-185	1600	1,8	90	13
28	ПБСМ-95+2МФ-100+2А-185	1300	1,6	90	24
29	ПБСМ-95+МФ-100+А-185	1000	2,1	80	12
30	ПБСМ-95+МФ-100+2А-185	1700	1,5	70	16
31	М-120+2МФ-100+2А-185	2000	1,3	60	17
32	М-120+2МФ-100+А-185	1800	1,4	90	19
33	ПБСМ-95+2МФ-100+4А-185	1100	2,0	80	13
34	ПБСМ-95+2МФ-100+2А-185	1400	1,8	80	24
35	ПБСМ-95+МФ-100+А-185	2100	1,6	70	12
36	ПБСМ-95+МФ-100+2А-185	2200	2,1	60	16

#### 5. Определение параметров рельсовой цепи:

$$m = \sqrt{r_{\text{эп}} \cdot r_n}$$

$$k = \sqrt{\frac{r_{\text{эп}}}{r_n}}$$

6. Определение потенциалов в рельсах на расстоянии "x" , В:  
(x=0, 10, 20, 30, 40, 50 км)

$$\varphi_x = \frac{mI}{2} e^{-kx}$$

7. Определение тока в рельсах на расстоянии "x" (x=0, 10, 20, 30, 40, 50 км), А:

$$I_{px} = \frac{I}{2} e^{-kx}$$

8. Определение тока в земле на расстоянии "x" (x=0, 10, 20, 30, 40, 50 км), А:

$$I_{zx} = \frac{I}{2} (1 - e^{-kx})$$

9. По расчетным данным выполнить построение диаграммы распределения потенциалов и токов в рельсах при схеме с 1 подстанцией и 1 нагрузкой.

- 9.1. Построить диаграмму распределения потенциалов в рельсах.
- 9.2. Построить диаграмму распределения токов в рельсах.
- 9.3. Построить диаграмму распределения токов в земле.
- 9.4. Методом наложения построить диаграмму распределения потенциалов в рельсах для подстанции и электровоза, расположенных на заданном расстоянии.
- 9.5. Методом наложения построить диаграмму распределения токов в рельсах для подстанции и электровоза, расположенных на заданном расстоянии.

9.6. Методом наложения построить диаграмму распределения токов в земле для подстанции и электровоза, расположенных на заданном расстоянии.

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Расчеты параметров, потенциалов и токов.
3. Диаграммы потенциалов и токов.
4. Вывод о проделанной работе.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 17

Тема: Расчет токов короткого замыкания на шинах тяговой подстанции и тяговой сети постоянного тока

Цель работы: научиться выполнять расчет тока короткого замыкания в тяговой сети постоянного тока при глухом коротком замыкании на шинах подстанции.

Исходные данные указаны в таблице 17.1

**Задание:** Определить максимальный ток короткого замыкания в установившемся режиме и ударное значение выпрямленного тока.

Заданы тип преобразовательного агрегата и трансформатора, их номинальная мощность, номинальный ток выпрямителя, напряжение к.з., мощность короткого замыкания на шинах 10 кВ.

### Порядок выполнения работы

1. Определить установившийся максимальный ток короткого замыкания у шин подстанции при параллельном соединении агрегатов, А

$$I_{k\max} = \frac{1,1 \cdot I_{дн} \cdot N}{\frac{S_n}{S_k} + \frac{u_k}{100}},$$

где  $I_{дн}$  - номинальный ток выпрямителя, А;

$N$  – число параллельно работающих преобразователей,  $N=2$  при  $S_n$  свыше 11 МВА или  $N=4$   $S_n = 6$  МВА;

$S_n$  – суммарная мощность преобразовательных агрегатов, МВА;

$S_k$  - мощность короткого замыкания на шинах 10 кВ, МВА;

$u_k$  - напряжение к.з.  $u_k$ , %.

Таблица 17.1 - Исходные данные

Вариант	Тип преобразовательного трансформатора	Тип преобразовательного агрегата	Номинальная мощность преобразовательного трансформатора, $S_{н}$ , МВА	Номинальный ток выпрямителя $I_{дн}$ , А	Напряжение к.з. $u_k$ , %	Мощность короткого замыкания на шинах 10 кВ $S_k$ , МВА
1	ТРДП-12500/10Ж	ТПЕД	11,4	3150	8	200
2	ТМПУ-16000/10Ж	ПВЭ-5АУ1	11,84	3200	6,1	170
3	ТРДП-12500/10Ж	ТПЕД	11,4	3150	8	180
4	ТДП-12500/10Ж	ПВЭ-3МУ1	11,8	3200	7,0	210
5	ТРДП-12500/10Ж	ТПЕД	11,4	3150	8	190
6	ТМПУ-6300/35У1	ПВЭ-5АУ1	6,0	1600	8,5	170
7	ТДП-12500/10Ж	ПВЭ-3МУ1	11,8	3200	7,0	170
8	ТМПУ-16000/10Ж	ПВЭ-5АУ1	11,84	3200	6,1	210
9	ТДП-12500/10Ж	ПВЭ-3МУ1	11,8	3200	7,0	150
10	ТРДП-12500/10Ж	ТПЕД	11,4	3150	8	160
11	ТМРУ-16000/10-1	ПВКЕ-3	11,1	3000	7,0	130
12	ТРДП-12500/10Ж	ВТПЕД	11,4	3150	8	230
13	ТРДП-12500/10Ж	ТПЕД	11,4	3150	8	220
14	ТМПУ-16000/10Ж	ПВЭ-5АУ1	11,84	3200	6,1	160
15	ТРДП-12500/10Ж	ТПЕД	11,4	3150	8	190
16	ТДП-12500/10Ж	ПВЭ-3МУ1	11,8	3200	7,0	170
17	ТРДП-12500/10Ж	ТПЕД	11,4	3150	8	170
18	ТМПУ-6300/35У1	ПВЭ-5АУ1	6,0	1600	8,5	210
19	ТДП-12500/10Ж	ПВЭ-3МУ1	11,8	3200	7,0	150
20	ТМПУ-16000/10Ж	ПВЭ-5АУ1	11,84	3200	6,1	160
21	ТДП-12500/10Ж	ПВЭ-3МУ1	11,8	3200	7,0	130
22	ТРДП-12500/10Ж	ТПЕД	11,4	3150	8	230
23	ТМРУ-16000/10-1	ПВКЕ-3	11,1	3000	7,0	220
24	ТРДП-12500/10Ж	ВТПЕД	11,4	3150	8	160
25	ТРДП-12500/10Ж	ТПЕД	11,4	3150	8	150
26	ТМПУ-16000/10Ж	ПВЭ-5АУ1	11,84	3200	6,1	160
27	ТРДП-12500/10Ж	ТПЕД	11,4	3150	8	130
28	ТДП-12500/10Ж	ПВЭ-3МУ1	11,8	3200	7,0	230
29	ТРДП-12500/10Ж	ТПЕД	11,4	3150	8	220
30	ТМПУ-6300/35У1	ПВЭ-5АУ1	6,0	1600	8,5	160
31	ТДП-12500/10Ж	ПВЭ-3МУ1	11,8	3200	7,0	190
32	ТМПУ-16000/10Ж	ПВЭ-5АУ1	11,84	3200	6,1	170
33	ТДП-12500/10Ж	ПВЭ-3МУ1	11,8	3200	7,0	170
34	ТРДП-12500/10Ж	ТПЕД	11,4	3150	8	210
35	ТМРУ-16000/10-1	ПВКЕ-3	11,1	3000	7,0	150
36	ТРДП-12500/10Ж	ВТПЕД	11,4	3150	8	160

2. Определить ударный ток короткого замыкания, кА

$$I_{dy} = k_{\tau} \cdot I_{k\max},$$

где  $k_{\tau} = 1,3$  – ударный коэффициент.

3. Определить тип и число быстродействующих выключателей.

При выборе выключателей учитывается их разрывная способность и назначение.

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Расчеты токов короткого замыкания.
3. Обоснование выбора выключателей постоянного тока.
4. Вывод о проделанной работе.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 18

Тема: Расчет токов короткого замыкания и уставок защит в тяговой сети переменного тока

Цель работы: научиться выполнять расчет сопротивления срабатывания дистанционной защиты и тока короткого замыкания в тяговой сети переменного тока.

Исходные данные по вариантам приведены в таблице 18.1

**Задание:** Определить сопротивления срабатывания 1 и 2 ступеней дистанционной защиты, максимальный ток подпитки короткого замыкания и напряжение перевода защиты в режим токовой отсечки. При расчете учесть следующие данные: наименьшее рабочее напряжение на шинах ТП1  $U_{p\min}=25$  кВ, номинальное напряжение на шинах ТП1  $U_n = 27,5$  кВ, число понижающих трансформаторов  $N=2$ , коэффициент надежности защиты по сопротивлению  $k_n=1,25$ , коэффициент надежности защиты по току  $k_{нт} = 1,5$ , коэффициент возврата реле  $k_v=0,9$ , коэффициент чувствительности  $k_q=1,5$ .

### Порядок выполнения работы

1. Вычертить структурную схему электронной дистанционной защиты и определить назначение ее элементов.

Структурная схема электронной дистанционной защиты тяговых сетей переменного тока 27,5 кВ представлена на рисунке 1:

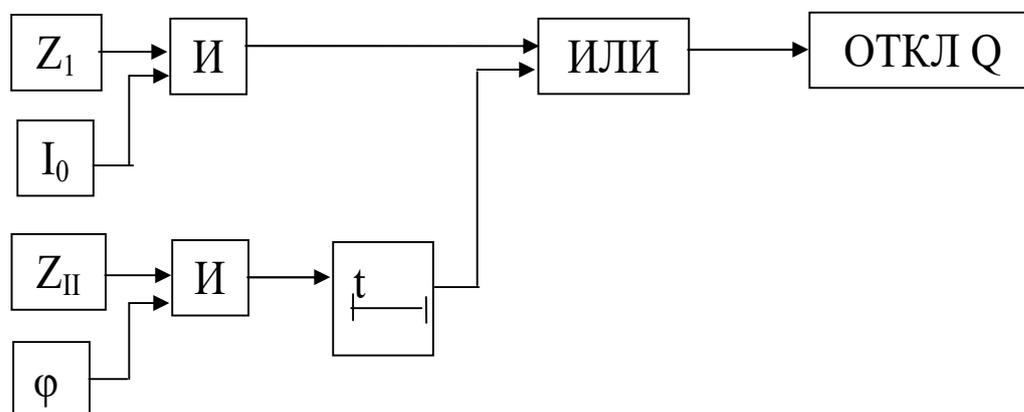


Рисунок 18.1 Структурная схема защиты



Таблица 18.1 - Исходные данные

Вариант	Расстояние между тяговыми подстанциями L, км	Расстояние между тяговыми подстанциями и постом секционирования $l_1=l_2$ , км	Тип рельсов	Мощность КЗ на первичной стороне тягового трансформатора $S_{кз}$ , МВА	Максимальный рабочий ток нагрузки фидера $I_{р\max}$ , А	Мощность тягового трансформатора $S_{нт}$ , МВА	Тип подвески
1	46	23	P 65	500	510	16	ПБСМ-95+МФ-100
2	40	20	P 65	1000	740	25	ПБСМ-70+МФ-100
3	48	24	P 50	1800	620	40	ПБСМ-95+МФ-100
4	50	25	P 50	600	800	16	ПБСМ-70+МФ-100
5	42	21	P 65	900	750	25	ПБСМ-95+МФ-100
6	44	22	P 65	1500	580	40	ПБСМ-70+МФ-100
7	46	23	P 50	700	650	16	ПБСМ-95+МФ-100
8	40	20	P 50	1200	720	25	ПБСМ-70+МФ-100
9	48	24	P 65	1600	630	40	ПБСМ-95+МФ-100
10	50	25	P 65	2000	520	16	ПБСМ-70+МФ-100
11	42	21	P 50	800	600	25	ПБСМ-95+МФ-100
12	44	22	P 50	1300	730	40	ПБСМ-70+МФ-100
13	46	23	P 65	1900	530	16	ПБСМ-95+МФ-100
14	40	20	P 65	1100	610	25	ПБСМ-70+МФ-100
15	48	24	P 50	1400	790	40	ПБСМ-95+МФ-100
16	50	25	P 50	1700	540	16	ПБСМ-70+МФ-100
17	42	21	P 65	500	670	25	ПБСМ-95+МФ-100
18	44	22	P 65	1000	710	40	ПБСМ-70+МФ-100
19	46	23	P 50	1800	550	16	ПБСМ-95+МФ-100
20	40	20	P 50	600	640	25	ПБСМ-70+МФ-100
21	48	24	P 65	900	760	40	ПБСМ-95+МФ-100
22	50	25	P 65	1500	560	16	ПБСМ-70+МФ-100
23	42	21	P 50	700	660	25	ПБСМ-95+МФ-100
24	44	22	P 50	1200	580	40	ПБСМ-70+МФ-100
25	46	23	P 65	1600	650	16	ПБСМ-95+МФ-100
26	40	20	P 65	2000	720	25	ПБСМ-70+МФ-100
27	48	24	P 50	800	630	40	ПБСМ-95+МФ-100
28	50	25	P 50	1300	520	16	ПБСМ-70+МФ-100
29	42	21	P 65	1900	600	25	ПБСМ-95+МФ-100
30	44	22	P 65	1100	730	40	ПБСМ-70+МФ-100
31	46	23	P 50	1400	530	16	ПБСМ-95+МФ-100
32	40	20	P 50	1700	610	25	ПБСМ-70+МФ-100
33	48	24	P 65	900	790	40	ПБСМ-95+МФ-100
34	50	25	P 65	1500	540	16	ПБСМ-70+МФ-100
35	42	21	P 50	700	670	25	ПБСМ-95+МФ-100
36	44	22	P 50	1200	710	40	ПБСМ-70+МФ-100

Электронная защита типа УТЗБ (с телеблокировкой) предназначена для фидеров, питающих межподстанционные зоны, и выпускается для тяговых подстанций и постов секционирования. На тяговой подстанции первая ступень – дистанционная ненаправленная защита С1 без выдержки времени, которая предназначена для защиты зоны  $(0,8-0,85)l_1$  и посылки посредством телеблокировки приказа на отключение выключателя поста

секционирования. Вторая ступень – дистанционная ненаправленная защита (СН2) с выдержкой времени 0,3-0,5 с из условий избирательности по отношению к защитам поста секционирования. УТО1 – ускоренная токовая отсечка с укороченной зоной действия (0,3-0,4)I<sub>1</sub> предназначена для быстрого (0,005-0,01с) отключения КЗ во избежание пережога контактного провода.

3. По Приложению 18.1 определить параметры тяговой сети для заданного типа подвески и рельсов:

$Z_{11}$  – удельное сопротивление тяговой сети однопутного участка, Ом/км;

$Z_{21}$  – удельное сопротивление тяговой сети для одного пути двухпутного участка при отключенном смежном пути, Ом/км;

$Z_{22}$  – удельное сопротивление тяговой сети для одного пути двухпутного участка при одинаковых величинах и направлениях токов в подвесках смежных путей, Ом/км.

4. Определить сопротивление срабатывания первой ступени дистанционной ненаправленной защиты (С1) для однопутного участка, Ом:

$$Z_{cз1} = (0,8...0,85) \cdot l_1 \cdot Z_{11}$$

5. Проверить расчетное значение на селективность защиты по отношению к токам нагрузки.

Условие проверки

$$Z_{cз1} \leq \frac{K_B \cdot U_{P \min}}{K_H \cdot I_{p \max}}$$

6. Рассчитать напряжение перевода защиты в режим токовой отсечки.

6.1. Сопротивление питающей системы до шин 110 (220) кВ подстанции, Ом:

$$Z_{C1} = \frac{U_H^2}{S_{KЗ}}$$

6.2. Полное сопротивление питающего трансформатора до шин 27,5 кВ, Ом:

$$Z_{TP1} = \frac{u_k \cdot U_H^2}{100 \cdot S_{HT}}$$

6.3. Минимальное напряжение на шинах ТП1 при КЗ на шинах ПС, кВ:

$$U_{K\min} = U_H \cdot \frac{0,5 \cdot Z_{22} \cdot l_1}{2 \cdot (Z_{C1} + Z_{TP1}) + 0,5 \cdot Z_{22} \cdot l_1}$$

6.4. Напряжение перевода защиты в режим токовой отсечки, кВ:

$$U_{УТО} = \frac{U_{K\min}}{K_H}$$

7. Определить максимальный ток фидера подстанции при КЗ на шинах поста секционирования, кА:

$$I_{K3\max} = \frac{U_H}{2 \cdot \left[ \frac{Z_{C1} + Z_{TP1}}{N} \right] + Z_{11} \cdot l_1}$$

8. Определить ток срабатывания защиты УТО1, А:

$$I_{C.3.УТО1} = K_{HI} \cdot I_{K3\max}$$

Проверка на надежность срабатывания

$$I_{C.3.УТО1} > \frac{K_H \cdot I_{p\max}}{K_B}$$

9. Рассчитать сопротивление срабатывания второй ступени дистанционной направленной защиты СН2.

9.1. Наибольшее сопротивление, измеряемое защитой, при КЗ на шинах смежной подстанции однопутного участка, Ом:

$$Z_{K\max} = Z_{11} \cdot L$$

9.2. Сопротивление срабатывания второй ступени дистанционной защиты, Ом:

$$Z_{C.3.II} = K_{\text{ч}} \cdot Z_{K\max}$$

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схемы дистанционной защиты с пояснениями.
3. Расчеты уставок защит по сопротивлению и току.
4. Вывод о проделанной работе.

## Параметры тяговой сети

Тип подвески	Тип рельса	$Z_{11}$ , Ом/км	$Z_{21}$ , Ом/км	$Z_{22}$ , Ом/км
ПБСМ-70+МФ-85	P50	0,53	0,48	0,62
	P65	0,51	0,47	0,60
ПБСМ-70+МФ-100	P50	0,51	0,47	0,59
	P65	0,50	0,46	0,57
ПБСМ-95+МФ-100	P50	0,48	0,43	0,56
	P65	0,47	0,42	0,55
М-95+МФ-100	P50	0,44	0,39	0,50
	P65	0,42	0,38	0,51

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 19

Тема: Определение минимального тока короткого замыкания у шин поста секционирования для определения чувствительности защиты

Цель работы: научиться выполнять расчет тока короткого замыкания в тяговой сети постоянного тока при удаленном коротком замыкании.

Исходные данные: заданы из практического занятия 17 - тип преобразовательного агрегата и трансформатора, их номинальная мощность, номинальный ток выпрямителя, напряжение к.з., мощность короткого замыкания на шинах 10 кВ.

Остальные исходные данные указаны в таблице 19.1

**Задание:** Определить минимальный ток короткого замыкания и уставку быстродействующего выключателя фидера контактной сети.

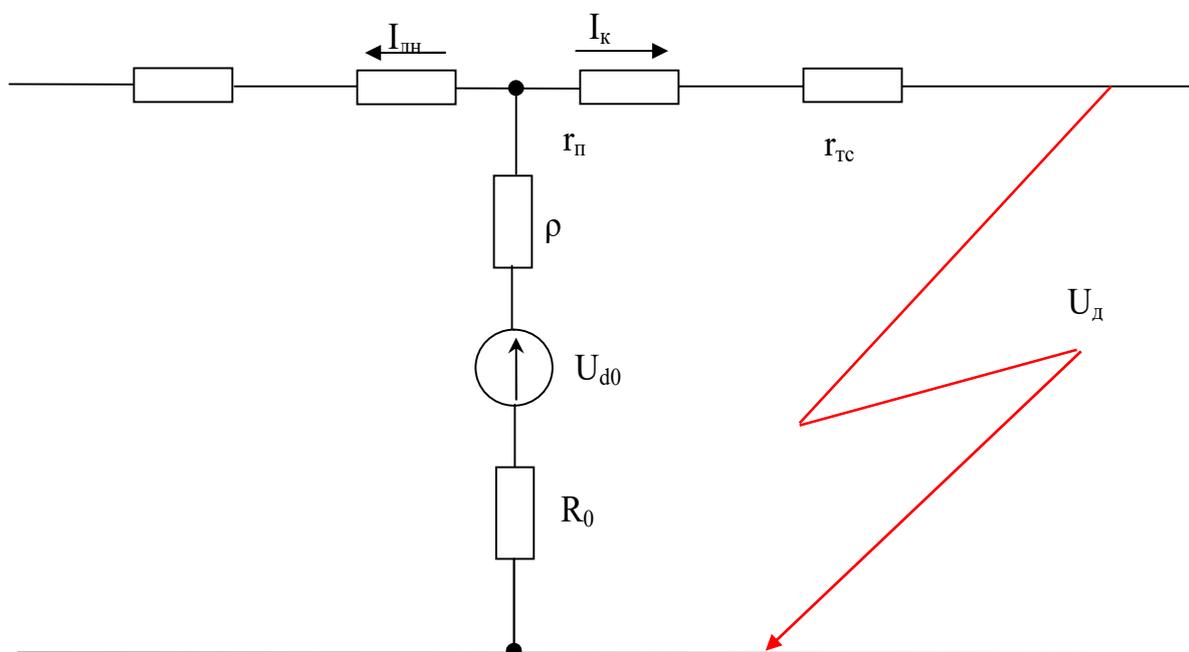


Рисунок 19.1 Расчетная схема для определения минимального тока КЗ в тяговой сети постоянного тока

Порядок выполнения работы

1. Определить напряжение холостого хода с учетом возможного снижения напряжения в питающей сети.

Таблица 19.1 - Исходные данные

Вариант	Возможное снижение напряжения в питающей сети $r_c, \%$	Минимальное число преобразовательных агрегатов $N_{\min}$	Напряжение дуги $U_d, В$	Участок по числу путей	Сопротивление питающей линии $r_{п}, Ом$	Сопротивление отсасывающей линии $r_o, Ом$	Тип подвески	Длина до места КЗ $l_{к \max}, км$
1	5	1	180	2-путн	0,011	0,005	ПБСМ-95+2МФ-100+А-185	14
2	4	1	180	2-путн	0,013	0,005	ПБСМ-95+2МФ-100	10
3	6	1	200	2-путн	0,013	0,006	М-120+2МФ-100+А-185	8
4	5	1	170	1-путн	0,01	0,005	М-120+2МФ-100+А-185	11
5	4	1	190	2-путн	0,013	0,008	М-120+2МФ-100+А-185	8
6	6	2	180	2-путн	0,011	0,005	ПБСМ-95+2МФ-100	10
7	5	1	180	1-путн	0,014	0,007	М-120+2МФ-100+2А-185	14
8	4	1	150	2-путн	0,012	0,006	М-120+2МФ-100+А-185	12
9	6	1	170	1-путн	0,015	0,007	М-120+2МФ-100+2А-185	11
10	5	1	150	1-путн	0,01	0,008	М-120+2МФ-100+2А-185	10
11	5	1	170	2-путн	0,013	0,005	М-120+2МФ-100+А-185	13
12	4	1	190	1-путн	0,011	0,007	ПБСМ-95+2МФ-100+4А-185	11
13	6	1	160	2-путн	0,014	0,006	ПБСМ-95+2МФ-100+2А-185	14
14	5	1	180	1-путн	0,012	0,008	ПБСМ-95+МФ-100+А-185	8
15	4	1	150	2-путн	0,015	0,005	ПБСМ-95+МФ-100+2А-185	12
16	6	1	170	1-путн	0,01	0,007	М-120+2МФ-100+2А-185	9
17	5	1	190	2-путн	0,013	0,006	М-120+2МФ-100+А-185	10
18	4	2	160	1-путн	0,011	0,008	ПБСМ-95+2МФ-100+4А-185	13
19	6	1	180	2-путн	0,014	0,005	ПБСМ-95+2МФ-100+2А-185	11
20	5	1	150	1-путн	0,012	0,007	ПБСМ-95+МФ-100+А-185	14
21	4	1	170	2-путн	0,015	0,006	ПБСМ-95+МФ-100+2А-185	8
22	6	1	190	1-путн	0,01	0,008	М-120+2МФ-100+2А-185	12
23	5	1	160	2-путн	0,013	0,005	М-120+2МФ-100+А-185	9
24	4	1	180	1-путн	0,011	0,007	ПБСМ-95+2МФ-100+4А-185	10
25	6	1	150	2-путн	0,014	0,006	ПБСМ-95+2МФ-100+2А-185	13
26	5	1	170	1-путн	0,012	0,008	ПБСМ-95+МФ-100+А-185	11
27	4	1	190	2-путн	0,015	0,005	ПБСМ-95+МФ-100+2А-185	14
28	6	1	160	1-путн	0,01	0,007	М-120+2МФ-100+2А-185	8
29	5	1	180	2-путн	0,013	0,006	М-120+2МФ-100+А-185	12
30	4	2	150	1-путн	0,011	0,008	ПБСМ-95+2МФ-100+4А-185	9
31	6	1	170	2-путн	0,014	0,005	ПБСМ-95+2МФ-100+2А-185	13
32	5	1	190	1-путн	0,012	0,007	ПБСМ-95+МФ-100+А-185	11
33	4	1	160	2-путн	0,015	0,006	ПБСМ-95+МФ-100+2А-185	14
34	6	1	180	1-путн	0,013	0,005	ПБСМ-95+2МФ-100+2А-185	8
35	5	1	150	2-путн	0,011	0,007	ПБСМ-95+МФ-100+А-185	12
36	4	1	170	2-путн	0,014	0,006	ПБСМ-95+МФ-100+2А-185	9

Напряжение холостого хода с учетом возможного снижения напряжения в питающей сети, В:

$$U_{d0} = \frac{U_n \left( 1 - \frac{P_c}{100} \right)}{1 - A \left( \frac{S_n}{S_k} + \frac{u_k}{100} \right)}$$

где  $U_n = 3300\text{В}$ ;

$A$  – коэффициент, для шестипульсовых схем выпрямления равный 0,5, а для двенадцатипульсовой схемы – 0,26;

$$S_{\Pi} = \Sigma S_n = N \cdot S_n.$$

2. Определить ток, потребляемый от подстанции неповрежденными линиями.

Ток, потребляемый от подстанции неповрежденными линиями, А.

$$I_{\text{лн}} = \gamma \cdot I_{\text{дн}} \cdot N,$$

где  $\gamma$  – коэффициент загрузки агрегатов в момент короткого замыкания, принимаемый для двухпутного участка 0,75, для однопутного – 0,5.

3. Определить эквивалентное сопротивление подстанции и питающей сети

Эквивалентное сопротивление подстанции и питающей сети, Ом:

$$\rho = \frac{A \cdot U_{d0}}{I_{\text{дн}}} \left( \frac{S_n}{S_k} + \frac{u_k}{100 N_{\text{min}}} \right)$$

4. Определить сопротивление подвески

Сопротивление подвески, Ом/км:

$$r_k = \frac{\rho_m}{S_m + \frac{S_{\text{нбсм}}}{3} + \frac{S_A}{1,65}},$$

где  $\rho_m = 18,8 \text{ Ом} \cdot \text{км}/\text{мм}^2$  - удельное сопротивление меди.

5. Определить сопротивление рельсовой цепи

Сопротивление рельсовой цепи, Ом/км:

$$r_p = \frac{2}{m \cdot N},$$

где  $N=2$  – число рельсов,

$m=65\text{кг}$  - масса 1 м рельсов.

6. Определить эквивалентное сопротивление тяговой сети

Эквивалентное сопротивление тяговой сети, Ом/км:

$$r_{тс} = r_{к} + r_{р}.$$

7. Рассчитать минимальный ток КЗ

Минимальный ток КЗ, А:

$$I_{k \min} = \frac{U_{d0} - U_{\partial} - I_{ЛН} (\rho + r_0)}{\rho + r_0 + r_n + r_{мс} \cdot l_{\max}}$$

8. Определить уставку быстродействующего выключателя

Уставка срабатывания быстродействующего выключателя, А

$$I_{уст} \leq (I_{k \min} - 200)$$

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Расчеты токов короткого замыкания.
3. Обоснование выбора выключателей постоянного тока.
4. Вывод о проделанной работе.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 20

Тема: Расчет мгновенных схем для участка постоянного тока

Цель работы: научиться производить электрические расчеты тяговых сетей постоянного тока.

Исходные данные

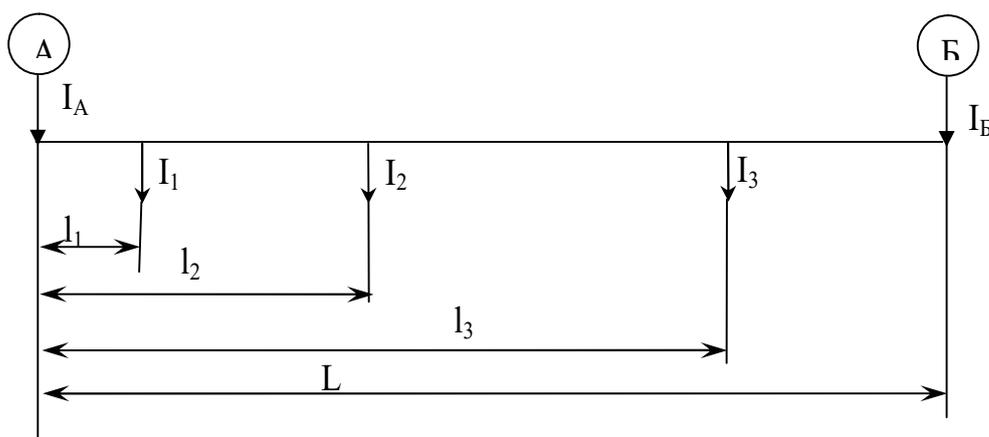


Рисунок 20.1 Мгновенная схема при двустороннем питании нагрузок  
Данные по вариантам приведены в таблице 20.1

**Задание:** произвести расчет токов подстанций, мгновенных потерь напряжения до токоприемников поездов, определить потерю мощности и КПД; сделать вывод о работоспособности данной схемы по минимально допустимому уровню напряжения на токоприемнике.

Порядок выполнения работы

1. Вычертить мгновенную схему согласно рисунку 20.1 и нанести на нее заданные токи и расстояния. Под схемой оставить 6-7 см для построения графиков изменения токов и напряжений в тяговой сети.
2. Определить удельное эквивалентное сопротивление тяговой сети.
  - 2.1. Сопротивление подвески, Ом/км:

$$r_k = \frac{\rho_m}{S_m + \frac{S_{пбсм}}{3} + \frac{S_A}{1,65}},$$

где  $\rho_m=18,8 \text{ Ом} \cdot \text{км}/\text{мм}^2$  - удельное сопротивление меди.

Таблица 20.1 - Исходные данные

Вариант	Напряжение на шинах тяговой подстанции А $U_A$ , кВ	Напряжение на шинах тяговой подстанции Б $U_B$ , кВ	Расстояние между тяговыми подстанциями L, км	Расстояния от тяговой подстанции А до токоприемников поездов, км			Токи, потребляемые поездами, А			Тип подвески	Тип рельсов
				$l_1$	$l_2$	$l_3$	$I_1$	$I_2$	$I_3$		
1	3300	3300	20	8	12	16	500	400	600	М-120+2МФ-100	Р 65
2	3200	3300	21	5	15	18	300	600	800	ПБСМ-95+2МФ-100	Р 65
3	3100	3300	22	6	10	14	400	800	1000	М-120+2МФ-100+А-185	Р 50
4	3000	3300	23	7	11	20	600	1000	500	ПБСМ-95+2МФ-100+А-185	Р 50
5	3300	3200	24	4	14	19	800	500	700	М-120+2МФ-100+2А-185	Р 65
6	3200	3200	25	3	13	16	700	700	600	ПБСМ-95+2МФ-100+2А-185	Р 65
7	3100	3200	20	8	16	18	500	900	800	М-120+2МФ-100	Р 50
8	3000	3200	21	5	9	15	300	1100	1000	ПБСМ-95+2МФ-100	Р 50
9	3300	3100	22	6	17	20	400	1200	500	М-120+2МФ-100+А-185	Р 65
10	3200	3100	23	7	12	16	600	400	700	ПБСМ-95+2МФ-100+А-185	Р 65
11	3100	3100	24	4	15	20	800	600	600	М-120+2МФ-100+2А-185	Р 50
12	3000	3100	25	3	10	18	700	800	800	ПБСМ-95+2МФ-100+2А-185	Р 50
13	3300	3000	20	8	11	15	500	1000	1000	М-120+2МФ-100	Р 65
14	3200	3000	21	5	14	17	300	500	500	ПБСМ-95+2МФ-100	Р 65
15	3100	3000	22	6	13	19	400	700	700	М-120+2МФ-100+А-185	Р 50
16	3000	3000	23	7	16	20	600	900	600	ПБСМ-95+2МФ-100+А-185	Р 50
17	3300	3300	24	4	9	13	800	1100	800	М-120+2МФ-100+2А-185	Р 65
18	3200	3300	25	3	17	20	700	1200	1000	ПБСМ-95+2МФ-100+2А-185	Р 65
19	3100	3300	20	8	12	17	500	400	500	М-120+2МФ-100	Р 50
20	3000	3300	21	5	15	18	300	600	700	ПБСМ-95+2МФ-100	Р 50
21	3300	3200	22	6	10	15	400	800	600	М-120+2МФ-100+А-185	Р 65
22	3200	3200	23	7	11	19	600	1000	800	ПБСМ-95+2МФ-100+А-185	Р 65
23	3100	3200	24	4	14	20	800	500	1000	М-120+2МФ-100+2А-185	Р 50
24	3000	3200	25	3	13	19	700	700	500	ПБСМ-95+2МФ-100+2А-185	Р 50
25	3300	3100	20	8	16	18	500	900	700	М-120+2МФ-100	Р 65
26	3200	3100	21	5	9	17	300	1100	600	ПБСМ-95+2МФ-100	Р 65
27	3100	3100	22	6	17	20	400	1200	800	М-120+2МФ-100+А-185	Р 50
28	3000	3100	23	7	12	15	600	400	1000	ПБСМ-95+2МФ-100+А-185	Р 50
29	3300	3000	24	4	15	19	800	600	500	М-120+2МФ-100+2А-185	Р 65
30	3200	3000	25	3	10	14	700	800	700	ПБСМ-95+2МФ-100+2А-185	Р 65
31	3100	3000	20	8	11	16	500	1000	600	М-120+2МФ-100	Р 50
32	3000	3000	21	5	14	17	300	500	800	ПБСМ-95+2МФ-100	Р 50
33	3300	3300	22	6	13	18	400	700	1000	М-120+2МФ-100+А-185	Р 65
34	3200	3300	23	7	16	19	600	900	500	ПБСМ-95+2МФ-100+А-185	Р 65
35	3100	3300	24	4	9	20	800	1100	700	М-120+2МФ-100+2А-185	Р 50
36	3000	3300	25	3	17	21	700	1200	400	ПБСМ-95+2МФ-100+2А-185	Р 50

2.2. Сопротивление рельсовой цепи, Ом/км:

$$r_p = \frac{2}{m \cdot N},$$

где  $N=2$  – число рельсов,

$m=65$ кг - масса 1 м рельсов.

2.3. Удельное эквивалентное сопротивление тяговой сети, Ом/км:

$$r_0 = r_k + r_p,$$

3. Расчет токов фидеров подстанций.

3.1. Ток подстанции А, А:

$$I_A = I_1 \left(1 - \frac{l_1}{L}\right) + I_2 \left(1 - \frac{l_2}{L}\right) + I_3 \left(1 - \frac{l_3}{L}\right) + \frac{U_A - U_B}{r_0 L}$$

3.2. Ток подстанции Б, А:

$$I_B = I_1 \frac{l_1}{L} + I_2 \frac{l_2}{L} + I_3 \frac{l_3}{L} - \frac{U_A - U_B}{r_0 L}$$

3.3. Проверка правильности расчета токов подстанций

$$I_A + I_B = I_1 + I_2 + I_3$$

4. Найти точку токораздела и привести схему двустороннего питания к двум схемам одностороннего питания.

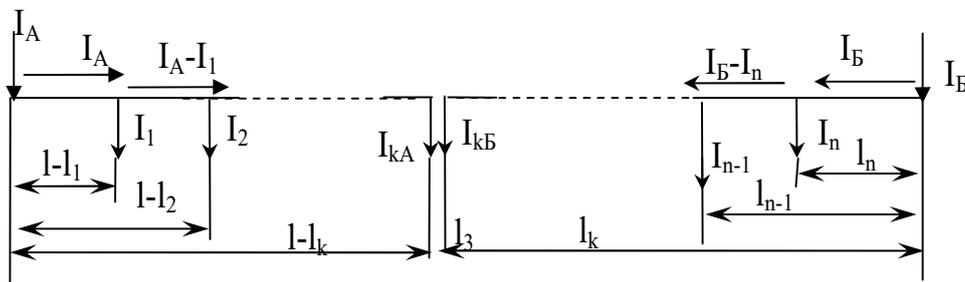


Рисунок 20.2 Схема нахождения точки токораздела

5. Определение потерь напряжения до токоприемников поездов

В общем случае потери напряжения определяются по формуле:

$$\Delta U_k = r_0 \left[ \sum_{i=1}^{i=k} l_i I_i + l_k \sum_{i=k+1}^{i=n} I_i \right]$$

Если точка токораздела соответствует нагрузке 2 поезда при данной схеме, то потери определяются следующим образом:

5.1. Потери до токоприемника 1 поезда от подстанции А, В:

$$\Delta U_1 = r_0 l_1 \cdot I_A$$

5.2. Потери до токоприемника 2 поезда от подстанции А, В:

$$\Delta U_{2A} = \Delta U_1 + r_0 (l_2 - l_1) (I_A - I_1)$$

5.3. Потери до токоприемника 3 поезда от подстанции Б, В:

$$\Delta U_3 = r_0 (L - l_3) I_B$$

5.4. Потери до токоприемника 2 поезда от подстанции А, В:

$$\Delta U_{2B} = \Delta U_3 + r_0 (l_3 - l_2) (I_B - I_3)$$

Максимальная потеря напряжения до токоприемника поезда в точке токораздела, В:

$$\Delta U_{\text{макс}} = r_0 \sum_{i=1}^{i=n} l_i I_i,$$

6. Определение напряжения на токоприемниках поездов:

$$U_1 = U_A - \Delta U_1$$

$$U_2 = U_A - \Delta U_{2A} = U_B - \Delta U_{2B}$$

$$U_3 = U_B - \Delta U_3$$

7. Определение потерь мощности.

7.1. Потери мощности в тяговой сети, Вт:

$$\Delta P = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta U_i I_i,$$

где  $\Delta U_i$  – потери напряжения до токоприемника поезда, В;

$I_i$  – ток поезда, А.

7.2. Мощность, отдаваемая тяговой подстанцией, Вт:

$$P_{A(B)} = U_{A(B)} I_{A(B)},$$

8. Определение КПД схемы:

$$\eta = \frac{P_A + P_B - \Delta P}{P_A + P_B} \cdot 100\%$$

9. Построить графики изменения токов и напряжений в тяговой сети в зависимости от расстояния между подстанциями.

10. Сравнить напряжения на токоприемниках с минимально допустимым напряжением в контактной сети и сделать вывод о работоспособности схемы.

#### Содержание отчета

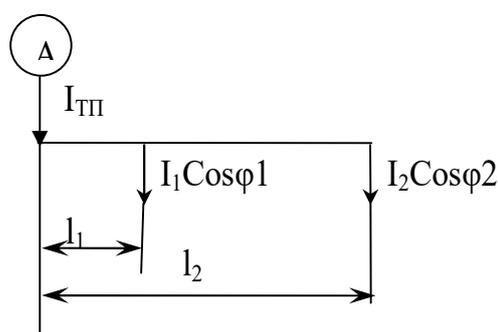
1. Цель работы.
2. Мгновенная схема и графики распределения токов и напряжений между подстанциями.
3. Расчет токов подстанций.
4. Расчет напряжений, потерь мощности и КПД
5. Вывод о работоспособности схемы.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 21

Тема: Расчет мгновенных схем для участка переменного тока

Цель работы: научиться производить электрические расчеты тяговых сетей переменного тока.

Исходные данные



Напряжение на шинах  
тяговой подстанции  
 $U_{ТП} = 27,5$  кВ  
Участок однопутный

Рисунок 21.1 Мгновенная схема при консольном питании нагрузок на переменном токе

Данные по вариантам приведены в таблице 21.1

**Задание:** произвести расчет токов подстанций, мгновенных потерь напряжения до токоприемников поездов, определить потерю мощности и КПД; сделать вывод о работоспособности данной схемы по минимально допустимому уровню напряжения на токоприемнике.

Порядок выполнения работы

1. Вычертить мгновенную схему согласно Рисунку 21. 1 и нанести на нее заданные токи и расстояния.
2. Определение активного и реактивного удельных сопротивлений тяговой сети для однопутного участка следует выполнить по данным Приложения 21.1.
3. Определить  $\text{Cos } \varphi_1$ ,  $\text{Cos } \varphi_2$ ,  $\text{Sin } \varphi_1$ ,  $\text{Sin } \varphi_2$ .
4. Расчет тока подстанции.

4.1. Активная составляющая тока подстанции, А:

$$I_{aТП} = I_1 \cdot \cos\phi_1 + I_2 \cdot \cos\phi_2$$

4.2. Реактивная составляющая тока подстанции, А:

$$I_{pТП} = I_1 \cdot \sin\phi_1 + I_2 \cdot \sin\phi_2$$

Таблица 21.1 - Исходные данные

Вариант	Расстояния от тяговой подстанции до токоприемников поездов, км		Токи, потребляемые поездами, А		Углы сдвига фаз между током и напряжением поездов		Тип подвески	Тип рельсов
	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	φ <sub>1</sub> , °	φ <sub>2</sub> , °		
1	10	15	100	600	25	35	ПБСМ-70+МФ-85	Р 65
2	13	18	70	350	30	32	ПБСМ-70+МФ-100	Р 65
3	8	14	250	170	27	34	ПБСМ-95+МФ-100	Р 50
4	6	11	400	120	33	36	ПБСМ-70+МФ-85	Р 50
5	5	16	150	270	37	39	ПБСМ-70+МФ-100	Р 65
6	11	17	300	400	40	25	ПБСМ-95+МФ-100	Р 65
7	15	20	500	180	20	30	ПБСМ-70+МФ-85	Р 50
8	9	19	600	260	24	27	ПБСМ-70+МФ-100	Р 50
9	7	10	350	340	38	33	ПБСМ-95+МФ-100	Р 65
10	12	22	170	450	26	37	ПБСМ-70+МФ-85	Р 65
11	14	18	120	300	22	40	ПБСМ-70+МФ-100	Р 50
12	4	10	270	480	21	20	ПБСМ-95+МФ-100	Р 50
13	10	14	400	70	23	24	ПБСМ-70+МФ-85	Р 65
14	13	21	180	250	28	38	ПБСМ-70+МФ-100	Р 65
15	8	16	260	400	31	40	ПБСМ-95+МФ-100	Р 50
16	6	17	340	150	35	20	ПБСМ-70+МФ-85	Р 50
17	5	20	450	300	32	24	ПБСМ-70+МФ-100	Р 65
18	11	19	300	500	34	38	ПБСМ-95+МФ-100	Р 65
19	15	25	480	600	36	26	ПБСМ-70+МФ-85	Р 50
20	9	22	500	350	39	22	ПБСМ-70+МФ-100	Р 50
21	7	18	250	170	25	21	ПБСМ-95+МФ-100	Р 65
22	12	16	360	120	30	23	ПБСМ-70+МФ-85	Р 65
23	14	19	470	270	27	35	ПБСМ-70+МФ-100	Р 50
24	4	18	120	260	33	32	ПБСМ-95+МФ-100	Р 50
25	10	20	340	340	37	34	ПБСМ-70+МФ-85	Р 65
26	13	19	450	450	40	36	ПБСМ-70+МФ-100	Р 65
27	8	25	380	300	20	39	ПБСМ-95+МФ-100	Р 50
28	6	22	560	480	24	25	ПБСМ-70+МФ-85	Р 50
29	5	18	400	500	38	30	ПБСМ-70+МФ-100	Р 65
30	11	16	100	250	26	27	ПБСМ-95+МФ-100	Р 65
31	15	19	200	360	22	33	ПБСМ-70+МФ-85	Р 50
32	9	18	300	470	21	37	ПБСМ-70+МФ-100	Р 50
33	7	15	500	120	23	37	ПБСМ-95+МФ-100	Р 65
34	12	18	600	340	33	40	ПБСМ-70+МФ-85	Р 65
35	14	17	250	450	37	20	ПБСМ-70+МФ-100	Р 50
36	4	12	350	600	40	24	ПБСМ-95+МФ-100	Р 50

4.3. Полный ток подстанции, А:

$$I_{ТП} = \sqrt{I_{aТП}^2 + I_{pТП}^2}$$

5. Определить потери напряжения до токоприемников поездов по упрощенному методу (без учета поперечной составляющей).

В общем случае потери напряжения определяются по формуле:

$$\Delta U_k = r \left[ \sum_{i=1}^{i=k} l_i I_i \cos \varphi_i + l_k \sum_{i=k+1}^{i=n} I_i \cos \varphi_i \right] + x \left[ \sum_{i=1}^{i=k} l_i I_i \sin \varphi_i + l_k \sum_{i=k+1}^{i=n} I_i \sin \varphi_i \right]$$

5.1. Потери до токоприемника 1 поезда, В:

$$\Delta U_1 = r [l_1 I_1 \cos \varphi_1 + l_1 I_2 \cos \varphi_2] + x [l_1 I_1 \sin \varphi_1 + l_1 I_2 \sin \varphi_2]$$

5.2. Потери до токоприемника 2 поезда, В:

$$\Delta U_2 = r [l_1 I_1 \cos \varphi_1 + l_2 I_2 \cos \varphi_2] + x [l_1 I_1 \sin \varphi_1 + l_2 I_2 \sin \varphi_2]$$

6. Определить напряжения на токоприемниках поездов, В:

$$U_1 = U_{ТП} - \Delta U_1$$

$$U_2 = U_{ТП} - \Delta U_2$$

7. Определить потери мощности.

7.1. Потери активной мощности в тяговой сети, Вт:

$$\Delta P = r (I_1^2 l_1 + I_2^2 l_2)$$

7.2. Потери реактивной мощности в тяговой сети, вар:

$$\Delta Q = x (I_1^2 l_1 + I_2^2 l_2)$$

8. Определить КПД схемы:

$$\eta = \frac{U_{ТП} I_{ТП} \cdot \cos \varphi_{ТП} - \Delta P}{U_{ТП} I_{ТП} \cdot \cos \varphi_{ТП}} \cdot 100 \%$$

где

$$\cos \varphi_{ТП} = \frac{I_{aТП}}{I_{ТП}}$$

9. Построить векторную диаграмму потерь напряжения.

10. Сравнить напряжения на токоприемниках с минимально допустимым напряжением в контактной сети и сделать вывод о работоспособности схемы.

## Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Мгновенная схема консольного питания.
3. Расчет токов подстанций.
4. Расчет напряжений, потерь мощности и КПД
5. Векторная диаграмма потерь напряжения.
6. Вывод о работоспособности схемы.

## Приложение 21.1

Средние значения удельных сопротивлений тяговой сети для однопутных участков

Тип подвески	Тип рельса	$Z_0=r_{a0}+jx_0$ , Ом/км
ПБСМ-70+МФ-85	P50	0,27+j0,53
	P65	0,26+j0,51
ПБСМ-70+МФ-100	P50	0,27+j0,52
	P65	0,25+j0,50
ПБСМ-95+МФ-100	P50	0,25+j0,49

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 22-23

Тема: Расчет мгновенных схем для участка постоянного тока узлового питания

Цель работы: практически ознакомиться с методом равномерного сечения графика движения поездов, научиться составлять мгновенные схемы расположения поездов по графику движения поездов, анализировать полученные результаты расчетов.

Исходные данные: график движения поездов и тяговый расчет выдается преподавателем. Номер сечения по варианту приведен в таблице 22.1. Напряжение на шинах подстанций  $U_A = U_B = 3300$  В. Удельное сопротивление тяговой сети  $r_0 = 0,05$  Ом/км.

**Задание:** построить в соответствии с заданием мгновенную схему узлового питания; выполнить электрический расчет схемы, сделать вывод по уровню напряжения на токоприемниках, рассчитать средние и эффективные токи подстанций.

Таблица 22.1 - Исходные данные сечений

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Сечение	0	0a	0б	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Ia	IIa	IIIa	IVa	Va
Вариант	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Сечение	VIa	VIIa	VIIIa	IXa	Xa	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	0	0a	0б

### Порядок выполнения работы

1. По графику движения поездов и кривым потребления тока для заданного сечения составить мгновенную схему по образцу, представленному на рисунке 22.1.

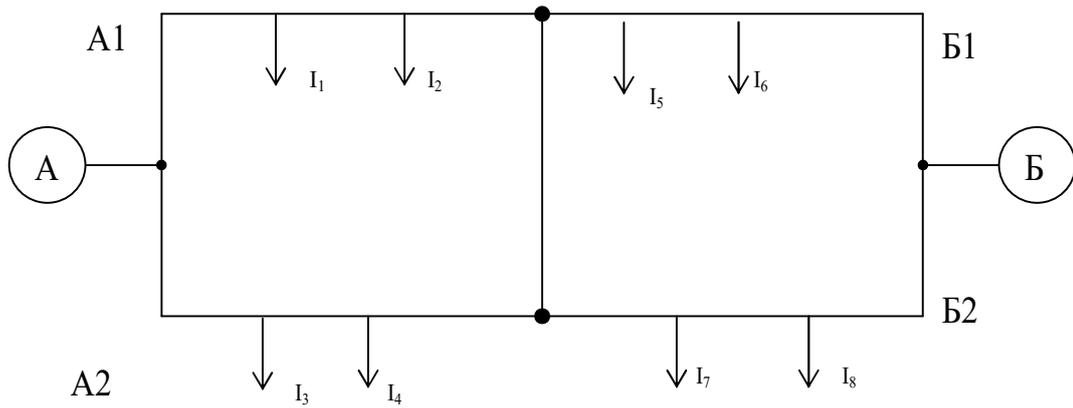


Рисунок 22.1. Мгновенная схема для участка узлового питания

2. Определить расстояния от подстанций и до нагрузок и нанести их на схему.
3. Составить уравнения фиктивных токов, отходящих от поста секционирования

$$I_{A10} = I_1 \frac{l_1}{L_A} + I_2 \frac{l_2}{L_A} - \frac{U_{A1} - U_0}{r_0 L_A}$$

$$I_{A20} = I_3 \frac{l_3}{L_A} + I_4 \frac{l_4}{L_A} - \frac{U_{A2} - U_0}{r L_A}$$

$$I_{B10} = I_5 \frac{l_5}{L_B} + I_6 \frac{l_6}{L_B} - \frac{U_{B1} - U_0}{r_0 L_B}$$

$$I_{B20} = I_7 \frac{l_7}{L_B} + I_8 \frac{l_8}{L_B} - \frac{U_{B2} - U_0}{r_0 L_B}$$

4. Сумма токов в узле

$$I_{A10} + I_{A20} + I_{B10} + I_{B20} = 0$$

5. Подставив известные значения, решить уравнение и найти  $U_0$ .
6. Найти токи, отходящие от поста секционирования  $I_{A10}$ ,  $I_{A20}$ ,  $I_{B10}$ ,  $I_{B20}$ .
7. Рассчитать токи питающих линий подстанций

$$I_{A1} = I_1 \frac{L_A - l_1}{L_A} + I_2 \frac{L_A - l_2}{L_A} + \frac{U_{A1} - U_0}{r_0 L_A}$$

$$I_{A2} = I_3 \frac{L_A - l_3}{L_A} + I_4 \frac{L_A - l_4}{L_A} + \frac{U_{A2} - U_0}{r_0 L_A}$$

$$I_{B1} = I_5 \frac{L_B - l_5}{L_B} + I_6 \frac{L_B - l_6}{L_B} + \frac{U_{B1} - U_0}{r_0 L_B}$$

$$I_{B2} = I_7 \frac{L_B - l_7}{L_B} + I_8 \frac{L_B - l_8}{L_B} + \frac{U_{B2} - U_0}{r_0 L_B}$$

Токи остальных питающих линий находятся по аналогичным формулам.

8. Нанести токи на схему и определить точки токораздела.
9. По формулам, приведенным в указаниях к практическому занятию 20, найти:
  - потери до токоприемников поездов;
  - напряжения на токоприемниках;
  - потери мощности.
10. Сравнить напряжения на токоприемниках с минимально допустимым напряжением в контактной сети и сделать вывод о работоспособности схемы.

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Мгновенная схема.
3. Расчет токов подстанций.
4. Расчет напряжений, потерь мощности и КПД
5. Вывод о работоспособности схемы.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Тема: Проверка распределения напряжения вдоль гирлянды изоляторов

Цель работы: практически изучить методику проверки распределения напряжения, научиться по измеренным параметрам определять дефектные изоляторы в гирлянде.

Оборудование и приборы: установка высокого напряжения на напряжение до 40 кВ; универсальная измерительная штанга; гирлянда из 4 исправных изоляторов; гирлянда из 4 изоляторов с 1 дефектным; мультимедийный проектор с презентацией к работе, альбом плакатов "Техника высоких напряжений".

### Краткие теоретические сведения

Гирлянду изоляторов можно представить в виде емкостной цепочки (стр.25 альбома), в которой  $C$  – собственная емкость тарельчатого изолятора,  $C_1$  – емкость отдельных тарельчатых изоляторов на землю и  $C_2$  – емкость изоляторов на провод. Наличие емкостей  $C_1$  и  $C_2$  приводит к неравномерному распределению напряжения по элементам гирлянды. В реальных условиях на первый от провода изолятор гирлянды приходится наибольшее напряжение, наименьшее – на изоляторы в ее середине и несколько повышенное – на изоляторы у заземленного ее конца.

Установка высокого напряжения состоит из: испытательного трансформатора на напряжение 40 кВ с регулятором напряжения; защитной, коммутационной и сигнальной аппаратуры.

Измерительная штанга состоит из собственно изоляционной штанги, длина которой обеспечивает безопасную работу под напряжением, и искрового промежутка с регулируемым расстоянием между электродами. Штанга снабжена металлическими захватами и указателем напряжения.

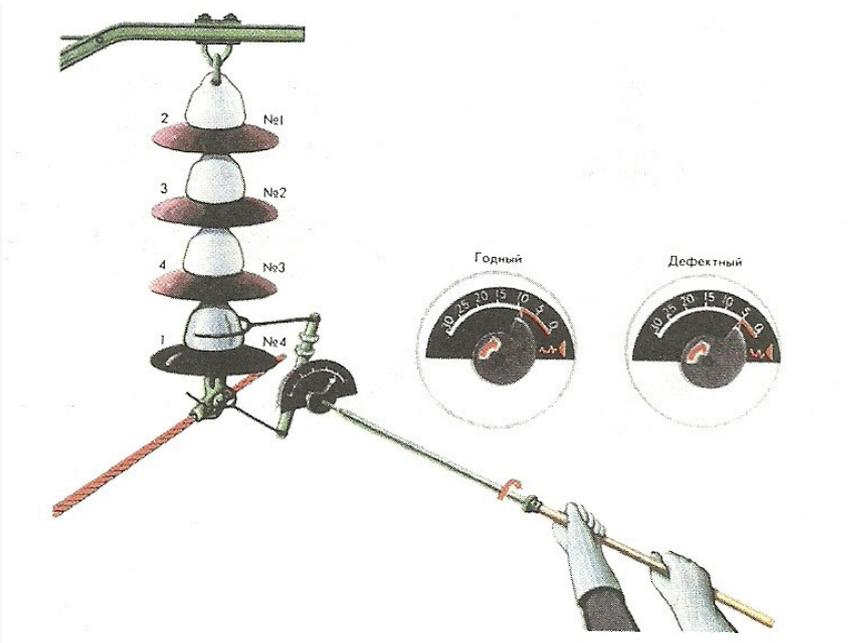


Рисунок 2.1.1. Измерительная штанга ШИ-35/110

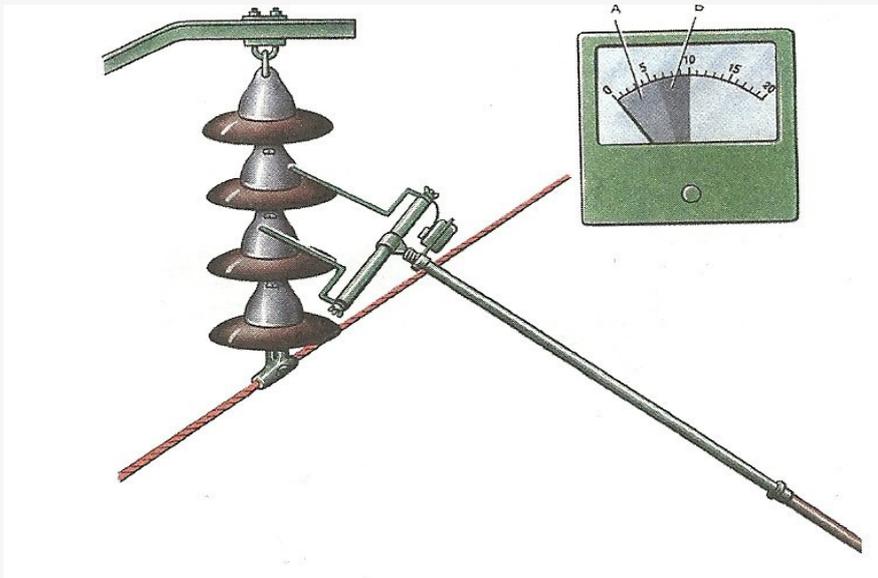


Рисунок 2.1.2. Измерительная штанга ШДИ-25.

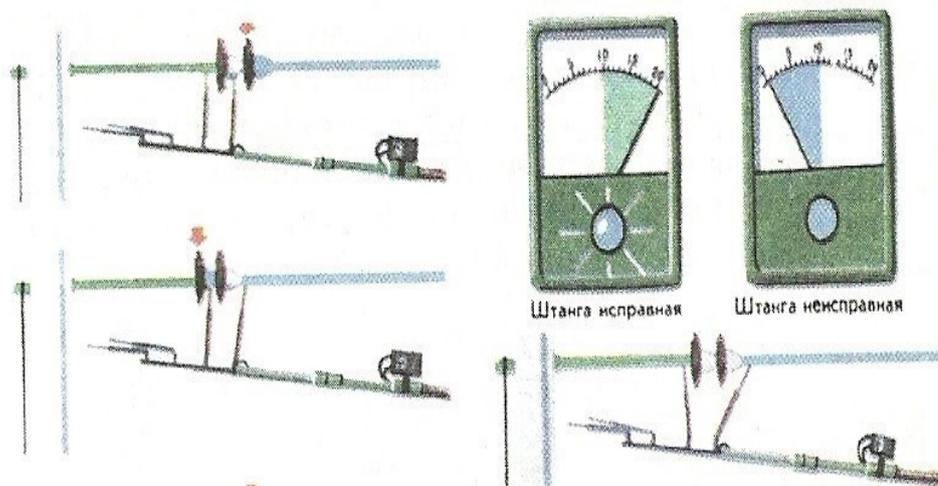


Рисунок 2.1.3. Предварительная проверка измерительной штанги

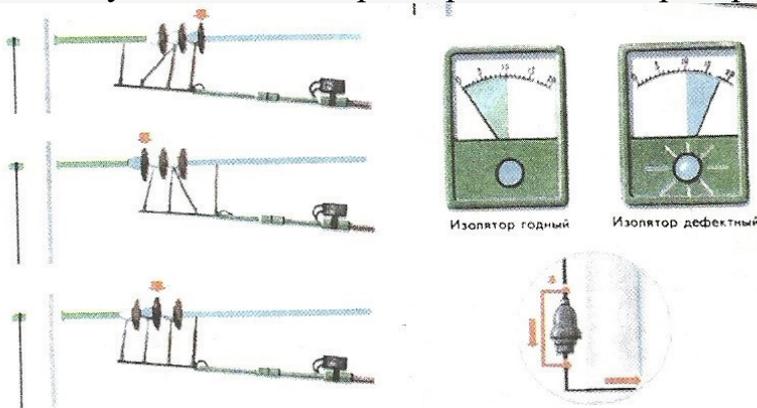


Рисунок 2.1.4. Проверка изоляторов

#### Методика измерения

1. С помощью изоляционной штанги и захватов искровой промежуток подключается параллельно изолятору.
2. Медленным вращением штанги производится постепенное уменьшение расстояния между электродами искрового промежутка до возникновения в нем разрядов.
3. Стрелка указателя, связанная с подвижным электродом, указывает на шкале измеряемое напряжение в кВ.

#### Порядок выполнения работы

1. Со страницы 25 альбома срисовать схему замещения и характеристику распределения напряжения по гирлянде изоляторов.
2. В лаборатории изучить конструкцию испытательной установки, выписать назначение ее основных элементов.

3. Выписать порядок подачи напряжения и методику проверки изоляторов.
  4. Записать в таблицу 2.1.1. значения напряжений на изоляторах гирлянды.
- Таблица 2.1.1 - Распределение напряжений на изоляторах

Вариант	Падение напряжения на изоляторе № , кВ			
	1	2	3	4

5. Построить характеристику распределения напряжения по гирлянде.
6. Определить номер дефектного изолятора.
7. Сделать вывод о проделанной работе.

#### Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Используемое оборудование.
3. Схема замещения гирлянды изоляторов с пояснениями.
4. Основные элементы испытательной установки.
5. Методика проведения измерений.
6. Заполненная таблица 2.1.1.
7. Характеристика распределения напряжения по гирлянде изоляторов.
8. Вывод с указанием дефектного изолятора.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Тема: Исследование влияния компенсирующего устройства на качество электроэнергии

Цель работы: исследовать влияние компенсирующего устройства параллельной компенсации для сетей 0,4 кВ

Оборудование и приборы: стенд, имитирующий электрическую нагрузку с приборами учета электрической мощности и устройствами компенсации реактивной мощности.

Исходные данные заносятся в таблицу 2.2.1.:

$S_T$  – мощность трансформатора, кВА;

$S_H$  – номинальная мощность нагрузки, кВА;

$U_{III}$  - номинальное напряжение на шинах, к которым подключается компенсирующая установка

$\operatorname{tg}\varphi_H$  – заданный тангенс угла фазового сдвига после компенсации.

Таблица 2.2.1 - Исходные данные для расчета мощности компенсирующего устройства

Вариант	$S_T$ , кВА	$S_H$ , кВА	$\cos\varphi_H$	$\cos\varphi_{TP}$	$U_{III}$ , В	$u_k$ , %

Краткие теоретические сведения:

Реактивная мощность компенсирующей установки, вар и индуктивное сопротивление компенсирующей установки, Ом:

$$Q_{KV} = S_H \cos\varphi_H (\operatorname{tg}\varphi_H - \operatorname{tg}\varphi_{TP}) * 10^3$$

$$X_{KV} = \frac{U_{III}^2}{Q_{KV}}$$

Емкостное сопротивление компенсирующей установки, Ом:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot X_{KV}}$$

Реактивная мощность нагрузки, Ом:

$$Q_H = S_H \sin \varphi \cdot 10^3$$

Номинальный ток нагрузки, А:

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H}$$

Номинальное активное сопротивление нагрузки, Ом:

$$R_H = \frac{P_H}{3I_H^2}$$

Номинальное реактивное сопротивление нагрузки, Ом:

$$X_H = \frac{Q_H}{3I_H^2}$$

Индуктивность нагрузки, Гн:

$$L_C = \frac{X_H}{\omega} \cdot 10^3$$

Фазное напряжение сети, В:

$$U_C = \frac{U_{ш}}{\sqrt{3}}$$

Порядок выполнения работы

1. Занести исходные данные в таблицу 2.2.1.
2. Ознакомиться со схемой на рисунке 2.2.1., приборами, занести данные в таблицу 2.2.2.

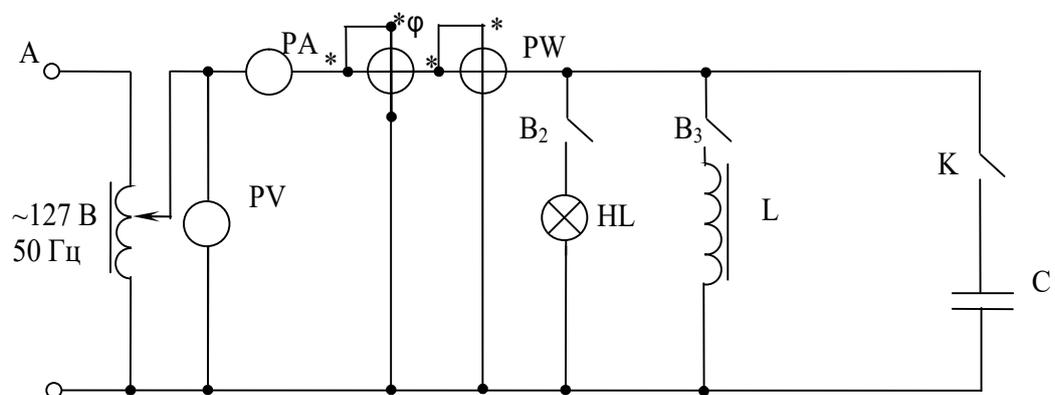


Рисунок 2.2.1. Электрическая схема стенда

Таблица 2.2.2 - Технические данные приборов и оборудования

Обозначение прибора	Наименование прибора	Система прибора	Предел измерения	Цена деления	Класс точности
РА	Тестер		200 мА		
PV	Вольтметр		150 В		
PW	Ваттметр		150 В, 1 А		
Pφ	Фазометр		100 В, 5 А		

3. Собрать электрическую цепь и дать проверить ее преподавателю.
4. Включить выключатель В<sub>2</sub>, собрав цепь с активным сопротивлением. Измерить силу тока, напряжение, мощность электрической цепи и коэффициент мощности. Показания приборов занести в таблицу 2.2.3.
5. Включить выключатель В<sub>3</sub>, собрав цепь с активно-индуктивным сопротивлением. Измерить силу тока, напряжение, мощность электрической цепи и коэффициент мощности. Показания приборов занести в таблицу 2.2.3.
6. Включить выключатель К, подключив таким образом компенсирующую емкость (С = 2 мкФ). Измерить силу тока, напряжение, мощность электрической цепи и коэффициент мощности. Показания приборов занести в таблицу 2.2.3.
7. Отключить стенд. Разобрать электрическую цепь, привести в порядок рабочее место.
8. Выполнить дополнительные расчеты и занести результаты в таблицу 2.2.3.

Полное сопротивление ветви с лампой:

$$z_1 = r_1 = \frac{U}{I_1}$$

Полное сопротивление ветви с катушкой индуктивности:

$$z_2 = \frac{U}{I_2}$$

Полное сопротивление ветви с компенсирующей емкостью:

$$z_3 = \frac{U}{I_3}$$

Полное сопротивление цепи:

$$z = \frac{U}{I}$$

Таблица 2.2.3 – Результаты наблюдений и вычислений

№	Условие проведения опыта	Измерения							Расчеты			
		U	I	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	cosφ	φ	z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	z
		В	А	А	А	А	-	°	Ом	Ом	Ом	Ом
1	Ключ В2 замкнут											
1	Ключ В3 замкнут											
1	Ключ К замкнут											
1	Ключи К и В2 замкнуты											
1	Ключи В2, В3 и К замкнуты											

9. Сделать выводы о влиянии компенсирующей емкости на коэффициент мощности.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Заполненная таблица 2.2.1.
3. Расчет параметров компенсирующей установки.
4. Схема стенда.
5. Заполненная таблица 2.2.2.
6. Заполненная таблица 2.2.3.
7. Вывод о влиянии компенсирующего устройства.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Тема: Исследование схем питания ламп дневного света

Цель работы: практически изучить стандартную схему питания ламп дневного света, проверить исправность элементов схемы питания.

Оборудование и приборы: Стенд со схемой питания ламп дневного света, секундомер, мультиметр.

Порядок выполнения работы

1. Изучить аппаратуру на испытательном стенде. Выписать марки и параметры ламп, стартера, балластного дросселя.
2. С помощью мультиметра проверить исправность цепей схемы, составить и зарисовать в отчет схему подключения ламп.
3. Подготовить секундомер, проверить исправность работы ламп и замерить время включения ламп, а также подаваемое напряжение питания и напряжение на включенных лампах.
4. Сделать вывод об исправности схемы и ламп.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схема питания ламп.
3. Марки ламп, стартера и балласта.
4. Измеренные параметры.
5. Вывод об исправности схемы.

## ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ

### Основные источники:

1. *Конюхова Е.А.* Электроснабжение объектов: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования. – 11-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 320 с.
2. *Почаевец В.С.* Электрические подстанции: учебник. – М.: ФБГОУ "Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте", 2012. – 491 с.

### Дополнительные источники:

1. *Южаков Б.Г.* МДК 01.02. Устройство и техническое обслуживание сетей электроснабжения. Разделы 3, 4. Методическое пособие по проведению лабораторных (практических) занятий профессионального модуля «Техническое обслуживание оборудования электрических подстанций и сетей» для специальности 140409 Электроснабжение (по отраслям). – М.: ФБГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. – 109 с.
2. Правила устройства электроустановок. – М.: КНОРУС, 2011. – 488 с.
3. Инструкция от 18.03.2008 г. № 4054. «Инструкция по безопасности при эксплуатации электроустановок тяговых подстанций и районов электроснабжения железных дорог» (4054). М.: ОАО «РЖД», 2008.
4. Правила содержания тяговых подстанций, трансформаторных подстанций и линейных устройств системы тягового электроснабжения [Электронный ресурс]: Утв. Распоряжением ОАО «РЖД» № 1578р от 5.08.2016.
5. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. Утв. Пр.№328н от 24.07.2013г. – Новосибирск: Норматика, 2014. – 96 с.
6. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. СПб.: ООО «БАРС», 2003.