

Лабораторная работа

**«Электропитание и электроснабжение  
нетяговых потребителей»**

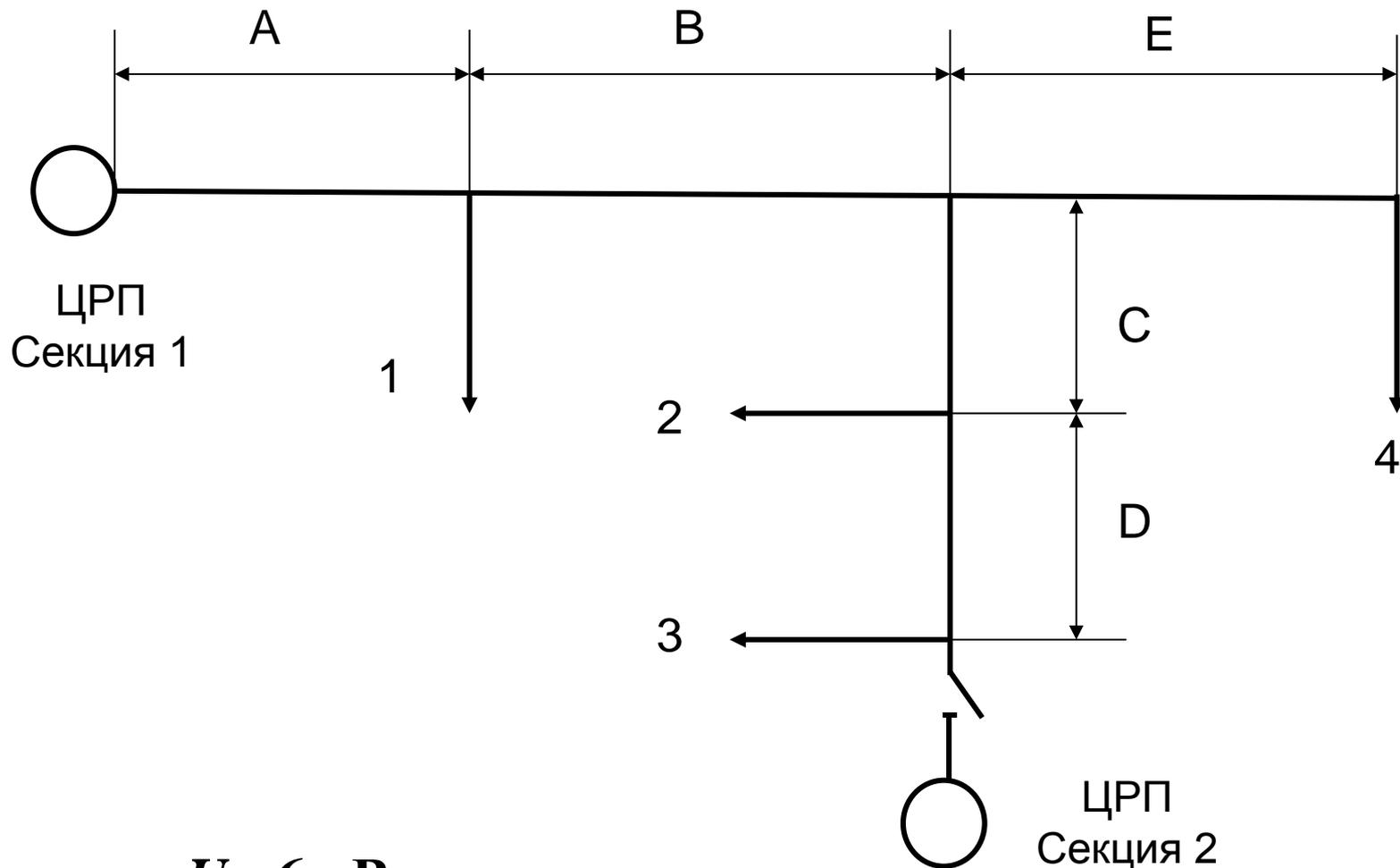
## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Нетяговые потребители станции питаются от двух секций шин ЦРП по кольцевой схеме. Для расчетов рассматриваются 4 подстанции, питающихся от 1 секции шин.

Необходимо выполнить электрический расчет разомкнутой распределительной сети, по которой осуществляется питание потребителей №1-4. Номинальное напряжение сети 6 кВ, токи нагрузок и длины участков сети выбираются по таблице. Коэффициенты мощности нагрузок выбираются по табл.

- 1. Выбрать сечение проводов распределительной сети заданной конфигурации по допустимой потере напряжения в сети,**
- 2. Рассчитать отклонение напряжения от номинального значения для заданного потребителя,**
- 3. Рассчитать потерю и уровень напряжения у потребителей,**
- 4. Выбрать конденсаторную установку 0,4 кВ для каждой нагрузки.**
- 5. Пересчитать потери напряжения и уровень напряжения у каждого потребителя.**
- 6. Составить однолинейную схему ТП 1.**

# Исходные данные



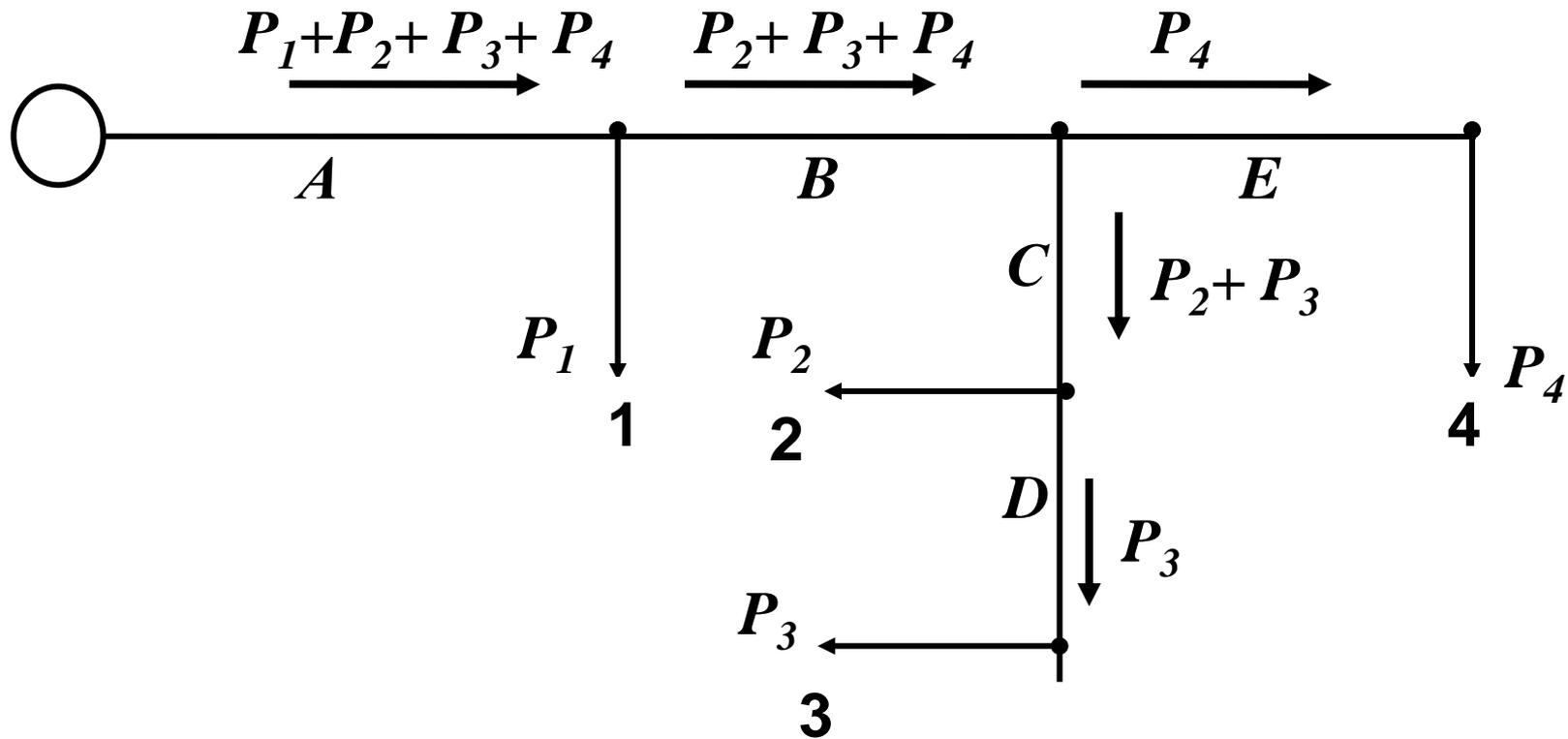
$U = 6$  кВ

Питающая линия- воздушная

Исходные данные	Последняя цифра учебного шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Токи нагрузок, А	Номинальное напряжение линии 6 кВ									
1	45	50	55	40	50	48	46	50	55	40
2	25	25	15	30	10	22	25	16	15	25
3	25	15	16	20	30	20	20	18	20	22
4	30	35	45	40	50	35	40	45	50	35
Длины участков, км										
А	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	2,0	2,5	3,0	3,5
В	3,5	1,5	3,0	2,5	2,0	1,5	3,0	2,5	2,0	2,0
С	2,0	2,5	1,5	1,5 ,	2,5	3,0	3,5	4,0	2,5	1,5
Д	2,5	3,0	2,0	2,0	1,5	2,0	2,5	2,0	1,5	2,5
Е	3,0	3,5	3,5	4,0	4,0	3,5	4,0	3,5	3,5	3,0

Исходные данные	Предпоследняя цифра учебного шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Коэффициенты мощности нагрузок, $\cos \varphi$										
1	<b>0,77</b>	<b>0,95</b>	<b>0,90</b>	<b>0,89</b>	<b>0,87</b>	<b>0,85</b>	<b>0,82</b>	<b>0,8</b>	<b>0,82</b>	<b>0,89</b>
2	<b>0,87</b>	<b>0,88</b>	<b>0,85</b>	<b>0,82</b>	<b>0,95</b>	<b>0,90</b>	<b>0,89</b>	<b>0,87</b>	<b>0,74</b>	<b>0,85</b>
3	<b>0,89</b>	<b>0,82</b>	<b>0,78</b>	<b>0,85</b>	<b>0,82</b>	<b>0,87</b>	<b>0,92</b>	<b>0,90</b>	<b>0,95</b>	<b>0,76</b>
4	<b>0,82</b>	<b>0,85</b>	<b>0,87</b>	<b>0,75</b>	<b>0,89</b>	<b>0,90</b>	<b>0,95</b>	<b>0,89</b>	<b>0,82</b>	<b>0,82</b>

# Схема потока мощностей по ВЛ



## Расчет мощностей потребителей

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot I_1 \cdot U \cdot \cos \varphi_1 = 1,73 \cdot 10 \cdot 6 \cdot 0,8 = 83,22 \text{ кВт},$$

$$P_2 = \sqrt{3} \cdot I_2 \cdot U \cdot \cos \varphi_2 = \dots \text{ кВт},$$

$$P_3 = \sqrt{3} \cdot I_3 \cdot U \cdot \cos \varphi_3 = \dots \text{ кВт},$$

$$P_4 = \sqrt{3} \cdot I_4 \cdot U \cdot \cos \varphi_4 = \dots \text{ кВт},$$

.....

$$Q_1 = \sqrt{3} \cdot I_1 \cdot U \cdot \sin \varphi_1 = 1,73 \cdot 10 \cdot 6 \cdot 0,6 = 62,44 \text{ квар},$$

$$Q_2 =$$

$$Q_3 =$$

$$Q_4 =$$

$$\sin \varphi_1 = \sin(\arccos(\varphi)) = \sin(\arccos(0,8)) = 0,6$$

Расчет потери напряжения от реактивной мощности

*Среднее удельное индуктивное сопротивление  $X_0 = 0.35$  Ом/км*

$$\Delta U_p^A = \frac{\sum_1^4 Q}{U_{ном}} X_0 \cdot l_A = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4}{U_{ном}} X_0 \cdot l_A$$

$$\Delta U_p^B = \frac{\sum Q}{U_{ном}} X_0 \cdot l_B = \frac{Q_2 + Q_3 + Q_4}{U_{ном}} X_0 \cdot l_B$$

$$\Delta U_p^C = \frac{\sum Q}{U_{ном}} X_0 \cdot l_C = \frac{Q_2 + Q_3}{U_{ном}} X_0 \cdot l_C$$

$$\Delta U_p^D = \frac{\sum Q}{U_{ном}} X_0 \cdot l_D = \frac{Q_3}{U_{ном}} X_0 \cdot l_D$$

Расчет потери напряжения ведём до нагрузки **№ 3**

$$\Delta U_p = \Delta U_p^A + \Delta U_p^B + \Delta U_p^C + \Delta U_p^D$$

Допустимая потеря напряжения на ВЛ

$$\Delta U_{\text{доп}} = \frac{U_{\text{ном}} \cdot \delta U_{\text{ном}}}{100\%} (В)$$

$$\Delta U_a = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_p,$$

Где  $\delta U_{\text{НОМ}}$  = допустимая потеря напряжения в сети, %.

Для распределительных сетей высшего напряжения (6 - 35 кВ) допустимая потеря напряжения составляет 6 - 8 % (меньшее значение соответствует кабельным сетям, большее - воздушным);

Удельная проводимость алюминия:

$$\gamma = 0,0315 \text{ км}/(\text{мм}^2 \cdot \text{Ом})$$

Из слайда по потоку мощностей:

$$P_A = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$$

$$P_B = P_2 + P_3 + P_4$$

$$P_C = P_2 + P_3$$

$$P_D = P_3$$

## Расчет сечения проводов.

$$F = \frac{P_A \cdot l_A + P_B \cdot l_B + P_C \cdot l_C + P_D \cdot l_D}{\gamma \cdot U_{ном} \Delta U_a}$$

Размерность  $F = \left( \frac{\text{кВт} \cdot \text{км}}{\text{км}} \right) = \left( \frac{\text{кВ} \cdot \text{А} \cdot \text{км} \cdot \text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{км} \cdot \text{кВ} \cdot \text{В}} \right)$   
 $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{км} \cdot \text{кВ} \cdot \text{В}}$

Выбираем по справочнику сечение провода  $F$ .

Удельное активное сопротивление выбранного сечения  $R_0, \text{Ом/км}$  и пересчитаем потерю напряжения от активной мощности.

Марка	<b>A-35</b>	<b>A-50</b>	<b>A-70</b>	<b>A-95</b>	<b>A-120</b>	<b>A-150</b>	<b>A-185</b>
<b><math>R_0, \text{Ом/км}</math></b>	<b>0,91</b>	<b>0,63</b>	<b>0,45</b>	<b>0,33</b>	<b>0,27</b>	<b>0,21</b>	<b>0,17</b>

$$\Delta U_a = \frac{P_A \cdot l_A + P_B \cdot l_B + P_C \cdot l_C + P_D \cdot l_D}{U_{ном}} R_0$$

$$\Delta U = \Delta U_a + \Delta U_p$$

Проверка :  $\Delta U \leq \Delta U_{доп}$

## Отклонение напряжения от номинального значения

$$\delta U = 100 - \frac{U_{\text{ном}} - \Delta U}{U_{\text{ном}}} \cdot 100(\%)$$

Расчет потери напряжения от активной мощности

$$\Delta U_a^A = \frac{\sum^1 P}{U_{\text{ном}}} R_0 \cdot l_A = \frac{P_A}{U_{\text{ном}}} R_0 \cdot l_A$$

$$\Delta U_a^B = \frac{\sum^2 P}{U_{\text{ном}}} R_0 \cdot l_B = \frac{P_B}{U_{\text{ном}}} R_0 \cdot l_B$$

$$\Delta U_a^C = \frac{\sum^3 P}{U_{\text{ном}}} R_0 \cdot l_C = \frac{P_C}{U_{\text{ном}}} R_0 \cdot l_C$$

$$\Delta U_a^D = \frac{\sum^4 P}{U_{\text{ном}}} R_0 \cdot l_D = \frac{P_D}{U_{\text{ном}}} R_0 \cdot l_D$$

$$\Delta U_a^E = \frac{\sum^5 P}{U_{\text{ном}}} R_0 \cdot l_E = \frac{P_4}{U_{\text{ном}}} R_0 \cdot l_E$$

## Расчет напряжения у каждой нагрузки

$$\Delta U^A = \Delta U_a^A + \Delta U_p^A$$

$$\Delta U^C = \Delta U_a^C + \Delta U_p^C$$

$$\Delta U_p^E = \frac{Q_4}{U_{ном}} X_0 \cdot l_E$$

$$\Delta U^B = \Delta U_a^B + \Delta U_p^B$$

$$\Delta U^D = \Delta U_a^D + \Delta U_p^D$$

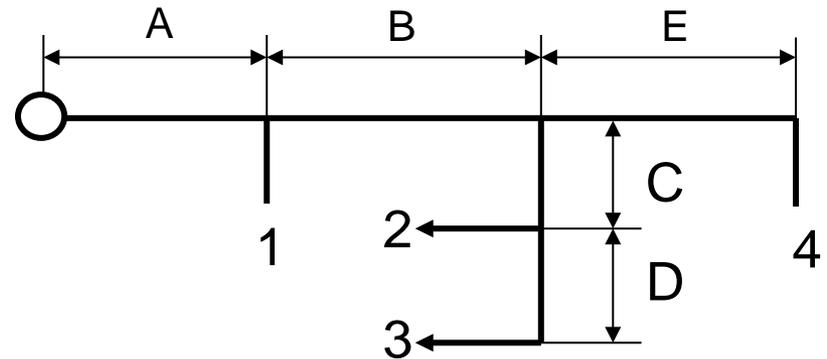
$$\Delta U^E = \Delta U_a^E + \Delta U_p^E$$

$$U_1 = U_{ном} - \Delta U^A$$

$$U_2 = U_1 - (\Delta U^B + \Delta U^C)$$

$$U_3 = U_2 - \Delta U^D$$

$$U_4 = U_1 - (\Delta U^B + \Delta U^E)$$



# Выбор компенсирующих устройств

Основным параметром установки при ее выборе устройств является реактивная мощность потребляемая установкой из сети -  $Q_{уст}$ , измеряемая в киловольт – амперах реактивных (*квар*).

Реактивная мощность компенсирующего устройства рассчитывается по формуле:

$$Q_{расч} = P \cdot K$$

где:

-  $P$  - активная мощность нагрузки, кВт;

-  $K$  – поправочный коэффициент (выбирается по таблице).

$$K = \frac{1}{\cos(\varphi)} = \frac{1}{\cos(\varphi_1)}$$

## ПРИМЕР:

Активная мощность нагрузки:  $P=100$  кВт

Действующий  $\cos(\varphi)=0.61$

Требуемый  $\cos(\varphi)=0.96$

Коэффициент  $K$  из таблицы

Необходимая реактивная мощность установки =  $100 \cdot 1.01=101$  *квар*

**Таблица – поправочный коэффициент  
( при действующем  $\cos \geq 0,93$  выбор КУ не производить )**

Текущий (действующий)		Требуемый (достижимый) $\cos (\varphi)$									
tan ( $\varphi$ )	cos ( $\varphi$ )	0.80	0.82	0.85	0.88	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	1.00
		Коэффициент К									
1.02	0.70	0.27	0.32	0.40	0.48	0.54	0.59	0.66	0.73	0.82	1.02
0.99	0.71	0.24	0.29	0.37	0.45	0.51	0.57	0.63	0.70	0.79	0.99
0.96	0.72	0.21	0.26	0.34	0.42	0.48	0.54	0.60	0.67	0.76	0.96
0.94	0.73	0.19	0.24	0.32	0.40	0.45	0.51	0.58	0.65	0.73	0.94
0.91	0.74	0.16	0.21	0.29	0.37	0.42	0.48	0.55	0.62	0.71	0.91
0.88	0.75	0.13	0.18	0.26	0.34	0.40	0.46	0.52	0.59	0.68	0.88
0.86	0.76	0.11	0.16	0.24	0.32	0.37	0.43	0.50	0.57	0.65	0.86
0.83	0.77	0.08	0.13	0.21	0.29	0.34	0.40	0.47	0.54	0.63	0.83
0.80	0.78	0.05	0.10	0.18	0.26	0.32	0.38	0.44	0.51	0.60	0.80
0.78	0.79	0.03	0.08	0.16	0.24	0.29	0.35	0.42	0.49	0.57	0.78
0.75	0.80		0.05	0.13	0.21	0.27	0.32	0.39	0.46	0.55	0.75
0.72	0.81			0.10	0.18	0.24	0.30	0.36	0.43	0.52	0.72
0.70	0.82			0.08	0.16	0.21	0.27	0.34	0.41	0.49	0.70
0.67	0.83			0.05	0.13	0.19	0.25	0.31	0.38	0.47	0.67
0.65	0.84			0.03	0.11	0.16	0.22	0.29	0.36	0.44	0.65
0.62	0.85				0.08	0.14	0.19	0.26	0.33	0.42	0.62
0.59	0.86				0.05	0.11	0.17	0.23	0.30	0.39	0.59
0.57	0.87					0.08	0.14	0.21	0.28	0.36	0.57
0.54	0.88					0.06	0.11	0.18	0.25	0.34	0.54
0.51	0.89					0.03	0.09	0.15	0.22	0.31	0.51
0.48	0.90						0.06	0.12	0.19	0.28	0.48
0.46	0.91						0.03	0.10	0.17	0.25	0.46
0.43	0.92							0.07	0.14	0.22	0.43

## Конденсаторные установки

**АУКРМ - установка компенсации реактивной мощности с автом. регулированием;**  
**0,4 - номинальное напряжение, кВ; 400 - номинальная мощность, квар;**  
**50 - мощность ступени регулирования, квар; УХЛ4 - климатическое исполнение и категория размещения.**

<b>Тип исполнение установки</b>	<b>Мощность, квар</b>	<b>Кол- во ступеней</b>	<b>Мощность ступеней, квар</b>	<b>Номинальный ток фазы, А</b>
<b>АУКРМ -0,4-10-2,5-УХЛ4</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>2,5</b>	<b>14</b>
<b>АУКРМ -0,4-15-5-УХЛ4</b>	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>22</b>
<b>АУКРМ -0,4-30-5-УХЛ4</b>	<b>30</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>43</b>
<b>АУКРМ -0,4-40-10-УХЛ4</b>	<b>40</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>58</b>
<b>АУКРМ -0,4-50-10-УХЛ4</b>	<b>50</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>72</b>
<b>АУКРМ -0,4-60-15-УХЛ4</b>	<b>60</b>	<b>4</b>	<b>15</b>	<b>87</b>
<b>АУКРМ -0,4-75-25-УХЛ4</b>	<b>75</b>	<b>3</b>	<b>25</b>	<b>108</b>
<b>АУКРМ -0,4-80-20-УХЛ4</b>	<b>80</b>	<b>4</b>	<b>20</b>	<b>116</b>
<b>АУКРМ -0,4-90-15-УХЛ4</b>	<b>90</b>	<b>6</b>	<b>15</b>	<b>130</b>
<b>АУКРМ -0,4-100-25-УХЛ4</b>	<b>100</b>	<b>4</b>	<b>25</b>	<b>145</b>
<b>АУКРМ -0,4-125-25-УХЛ4</b>	<b>125</b>	<b>5</b>	<b>25</b>	<b>181</b>
<b>АУКРМ -0,4-150-25-УХЛ4</b>	<b>150</b>	<b>4</b>	<b>25</b>	<b>217</b>
<b>АУКРМ -0,4-175-25-УХЛ4</b>	<b>175</b>	<b>5</b>	<b>25</b>	<b>254</b>
<b>АУКРМ -0,4-200-25-УХЛ4</b>	<b>200</b>	<b>6</b>	<b>25</b>	<b>289</b>
<b>АУКРМ -0,4-225-25-УХЛ4</b>	<b>225</b>	<b>7</b>	<b>25</b>	<b>325</b>
<b>АУКРМ -0,4-250-25-УХЛ4</b>	<b>250</b>	<b>8</b>	<b>25</b>	<b>361</b>
<b>АУКРМ -0,4-300-25-УХЛ4</b>	<b>300</b>	<b>8</b>	<b>25</b>	<b>434</b>
<b>АУКРМ -0,4-400-50-УХЛ4</b>	<b>400</b>	<b>8</b>	<b>50</b>	<b>578</b>

# Перерасчет потери напряжения от реактивной МОЩНОСТИ

*Среднее удельное индуктивное сопротивление  $X_0 = 0.35$  Ом/км*

$$Q_1^C = Q_1 - Q_{уст1}, \text{квар},$$

$$Q_2^C = Q_2 - Q_{уст2}, \text{квар},$$

$$Q_3^C = Q_3 - Q_{уст3}, \text{квар},$$

$$Q_4^C = Q_4 - Q_{уст4}, \text{квар},$$

$$\Delta U_p^A = \frac{Q_1^C + Q_2^C + Q_3^C + Q_4^C}{U_{ном}} X_0 \cdot l_A$$

$$\Delta U_p^B = \frac{Q_2^C + Q_3^C + Q_4^C}{U_{ном}} X_0 \cdot l_B$$

$$\Delta U_p^C = \frac{Q_2^C + Q_3^C}{U_{ном}} X_0 \cdot l_C$$

$$\Delta U_p^D = \frac{Q_3^C}{U_{ном}} X_0 \cdot l_D$$

$$\Delta U_p^E = \frac{Q_4^C}{U_{ном}} X_0 \cdot l_E$$

## Расчет напряжения у каждой нагрузки

$$\Delta U^A = \Delta U_a^A + \Delta U_p^A$$

$$\Delta U^C = \Delta U_a^C + \Delta U_p^C$$

$$\Delta U^B = \Delta U_a^B + \Delta U_p^B$$

$$\Delta U^D = \Delta U_a^D + \Delta U_p^D$$

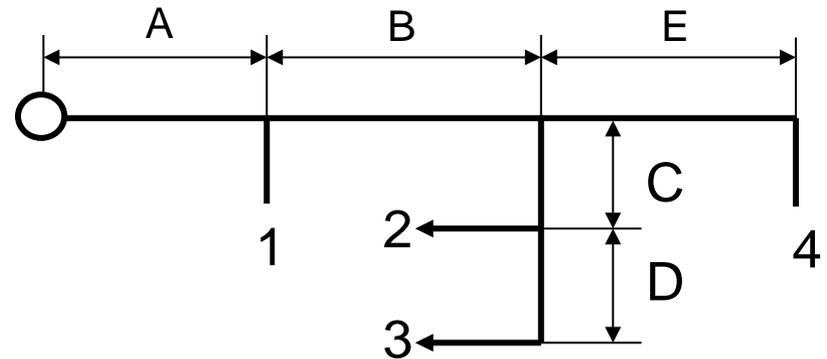
$$\Delta U^E = \Delta U_a^E + \Delta U_p^E$$

$$U_1 = U_{\text{ном}} - \Delta U^A$$

$$U_2 = U_1 - (\Delta U^B + \Delta U^C)$$

$$U_3 = U_2 - \Delta U^D$$

$$U_4 = U_1 - (\Delta U^B + \Delta U^E)$$





№ п/п	Наименование	Автор(ы)	Год и место издания
1	2	3	4
1	Справочник по проектированию электрических сетей под. Ред.Д.Л. Файбисовича		М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006.
2	Электрические железные дороги. Уч. пос.	Фомина З.А.	М.: МИИТ, 2011.
3	Правила устройства электроустановок. – 7-е изд., перераб. и доп.		М.: Главгосэнергонадзор, 2003.
4	Инструкция по безопасности при эксплуатации электроустановок тяговых подстанций и районов электроснабжения железных дорог ОАО «РЖД».		М.: Техинформ, 2008.
5	Устройство, эксплуатация и техническое обслуживание контактной сети и воздушных линий.	Ерохин Е.А.	М.: ГОУ Учебно-методический центр по образованию на ж.д. транспорте. - 2007.
6	Устройство и линии электроснабжения автоблокировки.	Герман Л.А., Векслер М.И., Шелом И.А.	М.: Транспорт, 1987.
7	Электрооборудование и аппаратура электрических подстанций. Уч. пособ. Для студентов вузов, техникумов, колледжей ж.д. транспорта.	Почаевец В.С.	М.: УМК МПС России, 2002э
8	Электроснабжение нетяговых потребителей железнодорожного транспорта. Устройство, обслуживание, ремонт: Учебное <b>пособие</b>	Под ред. В.М. Долдина.	М.: ГОУ Учебно-методический центр по образованию на ж.д. транспорте. - 2010.

№ п/п	Наименование	Автор(ы)	Год и место издания
1	2	3	4
1	Правила устройства системы тягового электроснабжения железных дорог Российской Федерации. ЦЭ-462.		М.: МПС, 1997.
2	Инструкция по заземлению устройств электроснабжения на электрифицированных железных дорогах. ЦЭ-191.		М.: МПС, 1993.
3	Электрические сети и энергосистемы.	Караев Р.И., Волобринский С. Д., Ковалев И.Н.	М.: Транспорт, 1988.
4	Электроснабжение нетяговых потребителей железных дорог.	Ратнер М. П., Могилевский Е.Л.	М.: Транспорт. 1985.
5	Электрические сети. Сборник задач.	Петренко Л. И.	Киев: Виша школа, 1985.
6	Расчеты по электроснабжению промышленных предприятий.	Грейс ух М. В.. Лазарева. С.	М.: Энергия. 1977.
7	Справочник по электроснабжению железных дорог. /под ред. К. Г. Марквардта. -		М.: Транспорт, 1981.
8	Электроснабжение автоблокировки и электрической централизации	Герман. Л.А., Калинин А.Л.	М.: Транспорт, 1974