

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет Энергетический
Кафедра Энергетики
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Направленность (профиль) образовательной программы «Электроснабжение»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

И.о. зав. кафедрой

 Н.В. Савина

« 28 » 06 2018 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Проектирование внутренней системы электроснабжения жилого микрорайона в центральной части города Владивосток

Исполнитель
студент группы 442-064

 28.06.2018
подпись, дата


Ю. О. Лунченко

Руководитель
доцент

 21.06.2018
подпись, дата


А.Г. Ротачева

Консультант:
безопасность и
экологичность
канд. техн. наук, доцент

 21.06.2018
подпись, дата

А.Б. Булгаков

Нормоконтроль
доцент

 21.06.2018
подпись, дата

А.Г. Ротачева

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет Энергетический
Кафедра Энергетики

Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Направленность (профиль) образовательной программы «Электроснабжение»

УТВЕРЖДАЮ

И.о. зав. кафедрой



Н.В. Савина

« 07 » 05 2018 г.

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента Лунченко Юлии Олеговны

1. Тема выпускной квалификационной работы: Проектирование внутренней системы электроснабжения жилого микрорайона в центральной части города Владивосток
(утверждено приказом от 22.05.2018 № 383-92)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта) _____

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: Схема проектируемого района и график по нагрузкам нагрузки в РМ.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов):

Проектирование системы внутреннего электроснабжения района, произведен расчет нагрузки, токов КЗ, выбрано и проверено оборудование.

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.) _____

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указанием относящихся к ним разделов) Безопасность и экологичность А.Б. Бугаков, доцент,
кадр. тех. наук

7. Дата выдачи задания 07.05.18

Руководитель выпускной квалификационной работы: Ротачева Алла Георгиевна, доцент


(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): _____

_____ (подпись студента)

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 84с., 6 рисунков, 89 формул, 22 таблиц, 17 использованных источников.

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СЕТЬ ГОРОДА, НАГРУЗКИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ, ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПОДСТАНЦИИ, ТОКИ, КАБЕЛИ, КОРОТКИЕ ЗАМЫКАНИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ ЗАЩИТЫ, ЗАЗЕМЛЕНИЕ.

В рассматриваемой работе предлагается вариант развития системы электроснабжения жилого района города Владивостока с центром питания ПС «Зарядная» в связи с реконструкцией сетей и вводом новых потребителей. Основной задачей данной работы является расчет электрических нагрузок на стороне низкого напряжения комплектных трансформаторных подстанций районных электрических сетей, выбор числа и мощности ТП, выбор сечений кабельных линий электропередачи, и выбор оборудования на ТП.

СОДЕРЖАНИЕ

Перечень условных обозначений	6
Введение	7
1 Краткая характеристика жилого района	9
1.2 Анализ потребителей проектируемого района	9
2 Расчет электрических нагрузок 0,4 кВ	12
2.1 Расчет электрических нагрузок бытовых потребителей	12
2.1.1 Расчет электрических нагрузок жилых зданий	12
2.1.2 Расчет электрических нагрузок жилых зданий со встроенными предприятиями	14
2.2 Расчет электрических нагрузок коммунально-бытовых потребителей	14
2.2.1 Расчет электрических нагрузок общественных зданий и сооружений	14
2.3 Выбор схемы распределительной сети 0,4 кВ	17
2.4 Расчет электрических нагрузок распределительной сети 0,4 кВ	17
2.5 Выбор сечений распределительной сети 0,4 кВ	19
2.6 Расчет электрических нагрузок на шинах ТП 0,4 кВ	22
3 Выбор числа и мощности трансформаторов	24
4 Выбор схемы и конструкции ТП	28
5 Определение потерь мощности и энергии в трансформаторах ТП и линиях	29
6 Расчет электрических нагрузок на стороне 10 кВ жилого района	33
6.1 Расчет электрических нагрузок на стороне 10 кВ ТП	34
6.2 Выбор схемы распределительной сети 10 кВ	34
6.3 Выбор сечений распределительной сети 10 кВ	35
6.4 Расчет электрических нагрузок ТП	38
7 Расчет токов КЗ	40
7.1 Расчет токов КЗ в сети 10 кВ	40
7.2 Расчет токов КЗ в сети 0,4 кВ	42

8 Проверка выбранных сечений на воздействие токов КЗ	46
9 Проверка выбранных сечений по допустимой потере напряжения	48
10 Выбор и проверка электрических аппаратов	49
10.1 Выбор и проверка предохранителей	49
10.2 Выбор и проверка автоматических выключателей	52
11 Расчет емкостных токов замыкания на землю	54
12 Релейная защита и автоматика	56
12.1 Расчет релейной защиты отходящих присоединений РП 10кВ	56
12.1.1 Расчет уставок токовой отсечки	56
12.1.2 Расчет уставок максимальной токовой защиты	59
12.1.3 Расчет уставок защиты от замыканий на землю	62
12.2 Виды защит силового трансформатора	63
13 Заземление	67
14 Экономическая часть	69
14.1 Техничко-экономическое сравнение двух вариантов сети	69
15 Безопасность и экологичность	74
15.1 Безопасность	74
15.2 Техника безопасности при эксплуатации электроустановок	74
15.3 Экологичность	75
15.4 Чрезвычайные ситуации	76
Заключение	79
Библиографический список	80
Приложение А - Типовые расчеты	83

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АВ – автоматический выключатель;

ВН – высокое напряжение;

КЗ – короткое замыкание;

НН – низкое напряжение;

Руб. - рубли

ТП – трансформаторная подстанция;

ТТ – трансформатор тока;

Тыс. руб. - тысячи рублей

Чел. – человек;

ЭП – электроприёмник;

ВВЕДЕНИЕ

Город Владивосток является крупнейшим по численности населения (по данным на 2017 год, население города составляло 606589 человек). Численность населения увеличивается, развивается инфраструктура и промышленность, в связи с чем наблюдается рост потребления электроэнергии.

По оперативным данным Филиала АО «СО ЕЭС» «Региональное диспетчерское управление энергосистемы Приморского края», в мае 2018г. потребление электроэнергии в Приморской энергосистеме составило 953,6 млн кВт•ч, что на 2,1 % превосходит уровень потребления мая 2017 года. За пять месяцев текущего года потребление в энергосистеме Приморского края составило 6222,2 млн кВт•ч, что превышает уровень аналогичного периода прошлого года на 5,1 %. Электростанции региона за январь–май 2018 года выработали 4749,4 млн кВт•ч, это на 6,6 % больше, чем за аналогичный период 2017 года. По этим причинам, вопрос о проектировании и реконструкции новых систем электроснабжения города является актуальным.

Под системой электроснабжения города понимается совокупность электрических сетей всех напряжений, расположенных на территории города и предназначенных для его потребителей [16]. Для питания потребителей, расположенных на территории городов, создаются специальные электрические сети, которые по сравнению с электрическими сетями энергетических систем имеют свои характерные особенности. Наиболее полно эти особенности выявляются при создании электрических сетей в больших городах. В настоящее время такие сети образуют специфические системы электроснабжения городов.

К системе электроснабжения города предъявляют следующие основные требования:

- обеспечение потребителей необходимым количеством электрической энергии;
- обеспечение требуемого качества электроснабжения потребителей;
- экономическая целесообразность сооружения и эксплуатации [17].

Цель данной выпускной квалификационной работы – проектирование системы электроснабжения района в городе Владивостоке. Разработать наиболее экономичный и надёжный, с точки зрения эксплуатации, вариант. И заложить основу для перспективы развития района, с точки зрения прироста электрической нагрузки.

1 КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЕКТИРУЕМОГО РАЙОНА

1.1 Климатическая характеристика Приморского края

Выбор и проверка электротехнического оборудования в данной работе проводится с учетом климатической характеристики района в котором оно будет эксплуатироваться. Основные климатические данные по рассматриваемому району представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Климатические условия района проектирования

Климатические данные	Величина
Район по ветру	III
Максимальный скоростной напор, (Н/м ²)	650
Максимальная скорость ветра, (м/с)	32
Район по гололеду	III
Толщина стенки гололеда (с плотностью 0,9 г/см ³), (мм)	20
Температура воздуха высшая, (град С)	41
Температура воздуха низшая, (град С)	-45
Температура воздуха среднегодовая, (град С)	0
Число грозových часов	49
Степень загрязнения атмосферы	I
Сейсмичность района, (бал.)	6

Приведенные в таблице 1 данные используем в дальнейших расчетах и при выборе основного электротехнического оборудования в системе электро-снабжения 10, 0,4 кВ.

1.2 Анализ потребителей проектируемого района.

Основу нагрузок выбранного района составляет бытовые потребители и коммунально-бытовая нагрузка, а так же предприятия торговли, и общественные предприятия. Преобладают потребители II-ой категории.

В качестве исходных данных была использована схема проектируемого жилого района, показанная на рисунке 1, и была составлена экспликация, результаты которой сведены в таблицу 2.

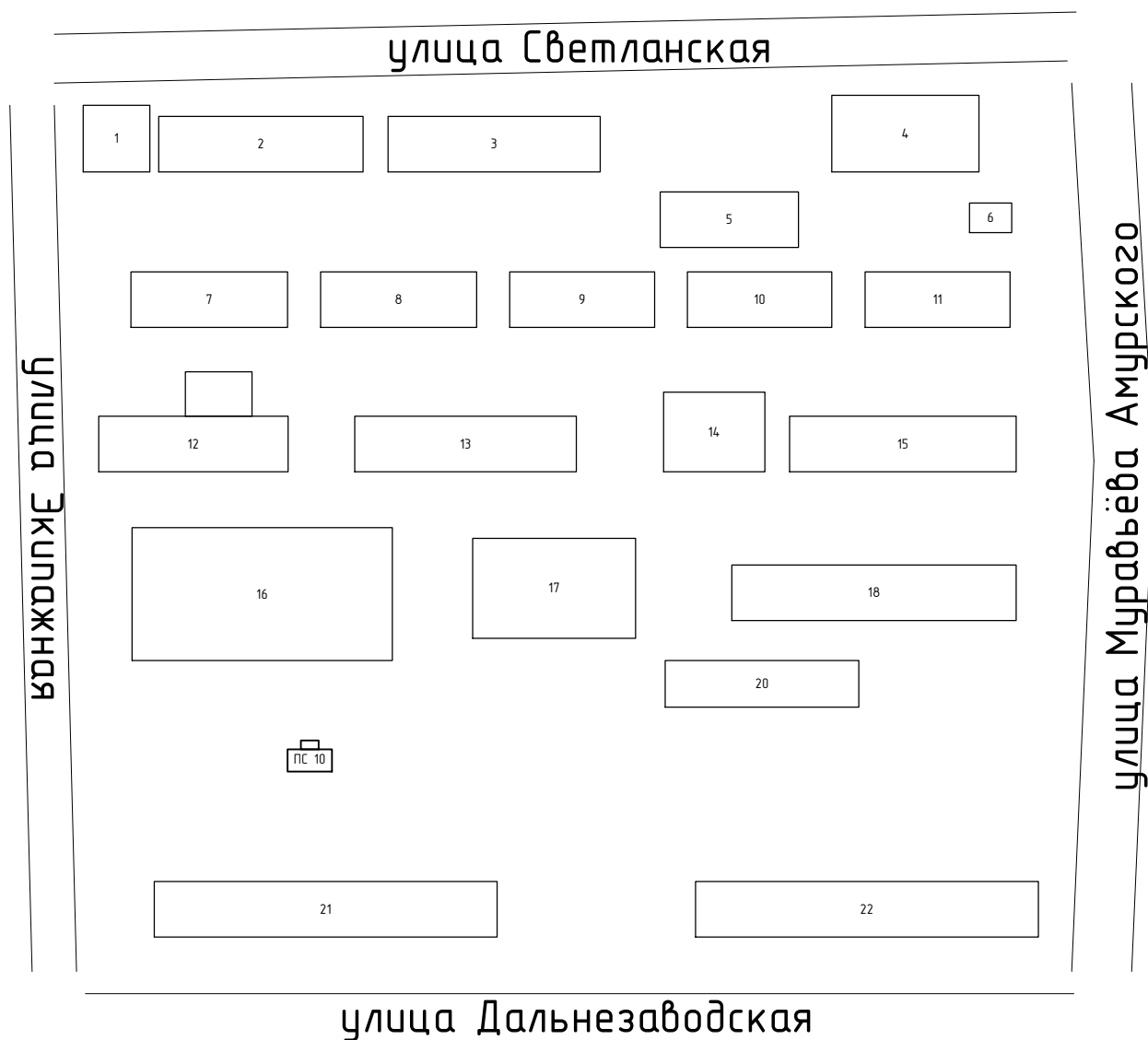


Рисунок 1. Схема проектируемого района

Таблица 2. Экспликация

Наименование	№ на плане	Кол-во квартир, площадь, посещение	Лифты	Кол-во этажей
Жилой дом	1	36		4
Жилой дом / кафе	2	69/150	4	6
Жилой дом	3	72	4	6
ТЦ	4	2500 м ²		3
Гостиница	5	243		5
Церковь	6	100		1
Училище	7	400		3

Продолжение таблицы 2

Наименование	№ на плане	Кол-во квартир, площадь, посещение	Лифты	Кол-во этажей
Банк	8	500		3
Столовая	9	300		3
Управление жилищного обеспечения	10	250		3
Управление жилищного обеспечения	11	250		3
Университет	12	400		3
Военное управление	13	100		3
Университет	14	150		1
Управление	15	200		3
ТЦ, офисы	16	6700 м ²		5
Офисы	17	7000 м ²		5
Магазин	18	500		4
Фонд соц. страхования / магазин	20	350		10
Жилой дом / магазин / дошкольное учреждение	21	170/90/50	4	9
Жилой дом / аптека / дошкольное учреждение	22	175/50/50	4	9

2 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК 0,4 КВ

Первым этапом проектирования систем электроснабжения является расчёт электрических нагрузок. Расчётная нагрузка – это нагрузка, по которой производится выбор электрооборудования, определяется мощность источников питания, сечение кабелей и проводов. Особенностью расчёта в городских системах является то, что данные о характеристиках ЭП могут быть не известны. Расчёт производится с помощью метода удельных электрических нагрузок.

2.1 Расчет электрических нагрузок бытовых потребителей

2.1.1 Расчет электрических нагрузок жилых зданий

Расчетная электрическая нагрузка квартир, приведенная к вводу жилого здания определяется по формуле [15]:

$$P_{кв} = p_{кв.уд} \cdot n, \quad (1)$$

где $p_{кв.уд}$ - удельная расчетная электрическая нагрузка ЭП квартир (зданий), кВт/кв, [15];

n - количество квартир.

Удельная расчетная нагрузка учитывает только осветительную и бытовую нагрузку квартир.

Расчетная нагрузка силовых ЭП, приведенная к вводу жилого дома определяется по формуле [3]:

$$P_c = P_{р.л} + P_{стп}, \quad (2)$$

где $P_{р.л}$ - расчетная мощность лифтовых установок, кВт;

$P_{стп}$ - мощность электродвигателей насосов водоснабжения, вентиляторов и других санитарно-технических устройств, кВт.

Мощность лифтовых установок определяется по выражению:

$$P_{p.l} = k'_c \cdot \sum_{i=1}^n p_{ni}, \quad (3)$$

где k'_c - коэффициент спроса лифтовых установок жилых домов определяется зависимостью от количества лифтов, [3];

p_{ni} - установленная мощность электродвигателя лифта, кВт. В данном проекте принимаем равной 1 и 2 кВт.

Мощность электродвигателей санитарно-технических устройств определяется по формуле:

$$P_{cmy} = k''_c \cdot \sum_{i=1}^n P_{CTVi}, \quad (4)$$

где P_{CTVi} – мощность электродвигателей СТУ приходящаяся на один подъезд, 5 кВт;

n – количество подъездов.

Расчетная электрическая нагрузка жилого дома определяется по формуле [3]:

$$P_{p.ж.д} = P_{кв} + k_y \cdot P_c, \quad (5)$$

где k_y - коэффициент участия в максимуме нагрузок силовых ЭП [3].

Рассмотрим пример расчета здания №2.

$$P_{кв} = 1,95 \cdot 69 = 134,55 \text{ кВт},$$

$$P_{cmy} = 0,7 \cdot (4 \cdot 5) = 14 \text{ кВт},$$

$$P_{p.l} = 0,7 \cdot (1 \cdot 4) = 2,8 \text{ кВт},$$

$$P_c = 2,8 + 14 = 16,8$$

$$P_{p.ж.д} = 134,55 + 0,9 \cdot (16,8) = 149,67 \text{ кВт}.$$

Аналогично рассчитывается реактивная и полная мощность с учетом коэффициента мощности для соответствующего потребителя [3].

Результаты расчетов сведены в таблицу 3.

2.1.2 Расчет электрических нагрузок жилых зданий со встроенными предприятиями

Нагрузка коммунально-бытовых потребителей, расположенных в жилых домах определяется по выражению [3]:

$$P_{общ.зд} = P_{ж.кв} + \sum_{i=1}^n k_{yi} \cdot P_i, \quad (6)$$

где $P_{ж.кв.}$ - максимальная нагрузка жилого здания (или помещения в здании), кВт;

P_i - нагрузка коммунально-бытового потребителя, кВт;

k_{yi} - коэффициент участия в максимуме нагрузки.

Результаты расчетов сведены в таблицу 3.

2.2 Расчет электрических нагрузок коммунально-бытовых потребителей

2.2.1 Расчет электрических нагрузок общественных зданий и сооружений

Расчет нагрузок данного типа потребителей схож с расчетом нагрузок жилых зданий и определяется по формуле [3]:

$$P_{p.общ.зд} = P_{уд.общ.зд} \cdot n, \quad (7)$$

где $P_{уд.общ.зд}$ - удельная мощность общественных зданий кВт/показатель кВт/место, кВт/ учащийся и т.д. [3];

n - количественный показатель, учащийся, место, м².

Для примера рассмотрим расчет электрической нагрузки здания университета №12.

$$P_{p.общ.зд} = 0,46 \cdot 400 = 184 \text{ кВт.}$$

где 0,46 – удельная нагрузка университета кВт/м² [3].

Результаты расчетов сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Расчет электрических нагрузок

№	Объект	Руд	n	P	tg	Q	Рзд	Qзд	Sзд
1	Жилой дом №1	3,3	36	118,8	0,2	23,76	128,25	31,635	132,094
	СТУ	-	3	10,5	0,75	7,875			
2	Жилой дом №2	1,95	69	134,55	0,2	26,91	258,87	193,566	323,236
	СТУ	-	4	14	0,75	10,5			
	Лифты	-	4	2,8	1,17	3,276			
	Кафе	0,9	150	156	0,98	152,88			
3	Жилой дом №3	1,95	72	140,4	0,2	28,08	155,52	41,856	161,054
	СТУ	-	4	14	0,75	10,5			
	Лифты	-	4	2,8	1,17	3,276			
4	ТЦ	0.2	250 0	705,75	0,8	564,6	705,75	564,6	903,801
5	Гостиница	0,05	245	112,7	0,85	95,975	112,7	95,975	147,912
6	Церковь	0,043	100	4,3	0,9	3,87	4,3	3,87	5,785
7	Училище	0,46	400	184	0,8	147,2	184	147,2	235,635
8	Банк	0,054	500	27	0,87	23,49	27	23,49	35,788
9	Столовая	1,04	300	312	0,98	305,76	318,3	311,01	445,857

Продолжение таблицы 3

№	Объект	Руд	n	P	tg	Q	Рзд	Qзд	Сзд
10	Управление	0,054	250	13,5	0,87	11,745	13,5	11,745	17,894
11	Управление	0,054	250	13,5	0,87	11,745	13,5	11,745	17,894
12	Университет	0,46	400	184	0,8	147,2	184	147,2	235,635
13	Управление	0,054	100	5,4	0,87	4,698	5,4	4,968	7,158
14	Университет	0,46	150	69	0,8	55,2	69	55,2	88,363
15	Управление	0,054	200	10,8	0,87	9,396	10,8	9,396	14,315
16	ТЦ	0,2	670 0	1501	0,8	1201	1501	1201	1922
17	Офисы	0,217	700 0	1519	0,87	1332	1519	1332	2013
18	Магазин	0,25	500	125		100	125	100	160,078
20	Фонд	0,054	350	18,9	0,87	16,443	45,9	52,443	69,693
	Магазин	0,25	180	45		36			
21	Жилой дом №5	1,83	270	494,1	0,2	98,82	623,25	323,09	702,017
	СТУ	-	5	17,5	0,75	13,125			
	Лифты	-	10	10,5	1,17	12,285			
	Магазин	0,25	325	146,4	0,8	65			
	Д.сад	0,46	300	138	0,97	133,86			
22	Жилой дом №6	1,83	324	592,92	0,2	118,58 4	784,6	444,676	901,85
	СТУ	-	6	21	0,75	15,75			
	Лифты	-	12	12,6	1,17	14,742			
	Магазин	0,25	915	81,25	0,9	117,2			
	Д.сад	0,46	400	184		178,48			

Подробный расчет приведен в приложении А.

2.3 Выбор схемы распределительной сети 0,4 кВ

При проектировании городской распределительной сети 0,4 кВ обычно используют радиальную, лучевую или петлевую схему электроснабжения.

В радиальной схеме электроэнергия передается по линии от источника питания напрямую к потребителю.

При лучевой схеме электропитания, от источника питания отходит магистраль, от которой отпайками питаются соответствующие потребители.

Петлевая схема электроснабжения потребителей 0,4 кВ является надежной схемой. Особенностью схемы является то, что головные участки питаются от разных секций шин. В нормальном режиме схема работает как лучевая, т.к. в середине схемы имеется разъединитель, который в нормальном режиме разомкнут. При возникновении аварии разъединитель включается, и схема получает свое питание от другой секции шин.

Для потребителей II категории необходимо обеспечить резервирование. Таким образом, для данных потребителей питание должно осуществляться по петлевой, либо по лучевой схеме. Так же, можно использовать радиальную схему, но при условии прокладки двух кабелей к каждому потребителю.

2.4 Расчет электрических нагрузок распределительной сети 0,4 кВ

Для расчета мощности и расстановки нужного количества ТП, необходимо сгруппировать нагрузку бытовых и коммунально-бытовых потребителей таким образом, чтобы данная суммарная величина не превышала стандартной мощности трансформаторов на ТП.

Расчетная электрическая нагрузка линий до 1 кВ при смешанном питании потребителей жилых домов и общественных зданий (помещений) определяется по выражению [3]:

$$P_{P..Л} = P_{зд.маx} + \sum_{i=1}^n k_{yi} \cdot P_{зд.i}, \quad (8)$$

где $P_{зд.маx}$ - наибольшая нагрузка здания из числа зданий питаемых по линии, кВт;

$P_{зд.i}$ - расчетная нагрузка зданий, питаемых по линии, кВт;

k_{yi} - коэффициент участия в максимуме электрических нагрузок зданий или жилых домов [3].

Для расчета реактивной и полной мощности, которая протекает по линии используем аналогичную формулу.

Рассмотрим пример для расчета нагрузки ТП 2-2.4

$$P_{P.L} = 112,7 + 0,8 \cdot 13,5 = 123,5 \text{ кВт},$$

$$Q_{P.L} = 95,795 + 0,8 \cdot 11,745 = 105,191 \text{ квар}.$$

Расчет нагрузки линий 0,4 кВ приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Расчетная электрическая нагрузка линий до 1 кВ

Номер ТП-крайняя нагрузка	P, кВт	Q, квар
1	2	3
ТП1-1	128,25	31,653
ТП1-2	149,67	193,566
ТП1-3	155,52	41,856
ТП2-4	123,5	105,191
ТП2-5	69	55,2
ТП2-6	260	254,8
ТП2-14	133,64	107,517
ТП3-7	205,6	165,992
ТП3-8	188,32	150,958
ТП4-9	750,4	600,32
ТП5-17	750,4	600,32
ТП5-18	759,5	660,765
ТП6-10	759,5	660,765
ТП6-11	45,9	52,443
ТП7-12	623,25	323,09

Номер ТП-крайняя нагрузка	P, кВт	Q, квар
ТП8-13	784,6	444,676
ТП9-15	716,55	573,996
ТП9-16	4,3	3,87

Подробный расчет приведен в приложении А.

2.5 Выбор сечений распределительной сети 0,4 кВ

Выбор площади сечения осуществляется по расчетному максимальному току, с последующей проверкой выбранного сечения проводов на потерю напряжения. Затем по справочным данным в зависимости от расчетного максимального тока определяется ближайшее большее стандартное сечение. Это сечение приводится для конкретных условий среды и способа прокладки проводов. Расчетный ток определяется по формуле:

$$I_{\max} = \frac{\sqrt{\left(\frac{P_{p.l}}{2}\right)^2 + \left(\frac{Q_{p.l}}{2}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (9)$$

где $P_{p.l}$ – расчетная активная нагрузка линии, кВт;

$Q_{p.l}$ – расчетная реактивная нагрузка линии, квар;

U_H – номинальное напряжение, принимается равным 0,4 кВ;

Определение расчетного с учетом пятилетнего прироста нагрузки тока:

$$I_{p.\max} = \alpha_i \alpha_T I_{\max}, \quad (10)$$

Условие выбора проводов:

$$I_{\text{дл.дон}} \geq \frac{I_{p.\max}}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}, \quad (11)$$

где $I_{\text{доп}}$ – длительно допустимый ток для данной среды по справочнику [7], А;
 K_1 – коэффициент снижения токовой нагрузки в зависимости от количество кабелей в траншее [7];
 K_2 – допустимая перегрузка кабелей с пропитанной бумажной изоляцией принимается равным 0,95 по справочнику [7];
 K_3 – поправочный коэффициент на токи для кабелей в зависимости от температуры земли и воздуха по справочнику [7] принимаем 1.

По расчетному току определяется сечение линий, а затем проверяется по потере напряжения.

Выбранное сечение проводов проверяется на отклонение напряжения. Зная напряжение на шинах источника питания, и подсчитав потери напряжения в сети, определяют напряжение у потребителей. Согласно ГОСТ 32144-2013 нормально допустимое значение отклонения напряжения 10 %.

Потеря напряжения в линиях определяется по формуле:

$$\Delta U = \frac{I_{\text{расч}} \cdot L \cdot \sqrt{3}}{U_{\text{ном}}} \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) \cdot 100\%, \quad (12)$$

где $I_{\text{расч}}$ - рабочий максимальный ток, А;
 L - длина линии, км;
 $U_{\text{ном}} = 380$ В - номинальное напряжение ;
 r_0 и x_0 - удельные активное и индуктивное сопротивление, Ом/км;
 φ - угол нагрузки, определяется в зависимости от соотношения $\text{tg } \varphi = Q/P$.

Определим сечение кабеля для линии ТП1-2:

$$I_{\text{max}} = \frac{\sqrt{\left(\frac{149,67}{2}\right)^2 + \left(\frac{193,566}{2}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 185,877 \text{ А},$$

$$I_{p.\max} = 1,05 \cdot 1,1 \cdot 185,877 = 214,688 \text{ А,}$$

$$241 \geq \frac{214,688}{0,95 \cdot 1 \cdot 1,13}$$

Условие соблюдается. Сечение проводника выбрано верно.

Проверяем выбранное сечение кабеля на отклонение напряжения:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 214,688 \cdot 0,06}{380} \cdot (0,203 \cdot 0,612 + 0,06 \cdot 0,791) \cdot 100\% = 1,241\%$$

Отклонение напряжения в конце линии удовлетворяет ГОСТ 32144-2013.

Аналогично определяем сечения остальных кабелей. Результаты расчета сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Марки и сечения кабелей

Участок сети	Ирасч, А	Сечение, мм ²	Идл.доп, А	Марка	ΔU, %
1	2	3	4	5	6
ТП1-1	115,902	50	147	АВВГ 4x50	3,585
ТП1-2	214,688	150	274	АВВГ 4x150	1,241
ТП1-3	141,312	70	178	АВВГ 4x70	1,715
ТП2-4	141,341	70	178	АВВГ 4x70	2,446
ТП2-5	77,532	25	100	АВВГ 4x25	1,953
ТП2-6	186,645	150	274	АВВГ 4x150	0,291
ТП2-14	150,496	70	178	АВВГ 4x70	2,631
ТП3-7	231,583	150	274	АВВГ 4x150	2,684
ТП3-8	211,771	150	274	АВВГ 4x150	3,4
ТП3-8	211,771	150	274	АВВГ 4x150	3,4

Участок сети	Ирасч, А	Сечение, мм ²	Идл.доп, А	Марка	ΔU, %
ТП4-9	365,015	240	477	ВВБГ 4x240	0,558
ТП5-17	365,015	240	477	ВВБГ 4x240	0,558
ТП5-18	254,921	185	105	ВВБГ 4x185	0,993
ТП6-10	254,921	185	385	ВВБГ 4x185	0,993
ТП6-11	61,15	16	77	АВБГ 4x16	3,584
ТП7-12	205,321	150	274	АВБГ 4x150	1,192
ТП8-13	263,767	150	274	АВБГ 4x150	1,528
ТП9-15	268,521	150	274	АВБГ 4x150	2,018
ТП9-16	10,152	4	37	АВБГ 4x4	3,065

Подробный расчет приведен в приложении А.

2.6 Расчет электрических нагрузок на шинах ТП 0,4 кВ

Для расчета электрической нагрузки на вводе в ТП на стороне 0,4 кВ, необходимо просуммировать нагрузки всех отходящих линий.

$$P_{\Sigma P.L} = \sum_{i=1}^n P_{P.L.}, \quad (13)$$

$$Q_{P.TП} = \sum_{i=1}^n Q_{P.L.}, \quad (14)$$

Рассмотрим расчет электрических нагрузок на примере ТП 2

$$P_{P.TП} = P_{Л4} + P_{Л5} + P_{Л6} + P_{Л14},$$

$$P_{P.TП} = 79,8 + 260 + 112,7 + 133,64 = 586,14 \text{ кВт},$$

$$Q_{P,ТП} = Q_{л4} + Q_{л5} + Q_{л6} + Q_{л14},$$

$$Q_{P,ТП} = 64,596 + 254,8 + 95,795 + 107,517 = 522,708.$$

Аналогично производится расчет для других ТП. Результаты расчета сведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результат расчета нагрузок на стороне 0,4 кВ ТП

Номер ТП	$P_{P,ТП}$, кВт	$Q_{P,ТП}$, квар
1	2	3
ТП1	433,44	267,057
ТП2	586,14	522,708
ТП3	393,92	316,95
ТП4	750,4	600,32
ТП5	1510	1261
ТП6	805,4	713,208
ТП7	623,25	323,09
ТП8	784,6	444,676
ТП9	720,85	577,866

Подробный расчет приведен в приложении А.

3 ВЫБОР ЧИСЛА И МОЩНОСТИ ТП

Правильное определение числа и мощности трансформаторов возможно только путем технико-экономических расчетов с учетом следующих факторов:

- 1) категории надежности электроснабжения потребителей;
- 2) компенсации реактивных нагрузок на напряжении до 1 кВ;
- 3) перегрузочной способности трансформаторов в нормальных и аварийных режимах.

Количество ТП непосредственно влияет на затраты на распределительные устройства напряжением 10 кВ электрические сети.

Для обеспечения II категории надежности необходимо использовать двух трансформаторную подстанцию с коэффициентом мощности на шинах 0,4 кВ равным 0,35 т.е. $tg(\varphi)_{np} = 0,35$.

Исходной информацией для выбора мощности ТП является активная и реактивная некомпенсируемая мощность на шинах 0,4 кВ.

Фактическая мощность компенсирующего устройства:

$$Q_{\phi.ky} = P_{P.TП} \cdot (tg(\varphi)_p - tg(\varphi)_{np}), \quad (15)$$

где $tg(\varphi)_p$ – фактический коэффициент мощности нагрузки [13].

Мощность компенсирующего устройства на каждую секцию шин с учетом 10% запаса для возможности регулирования напряжения:

$$Q_{ky.lull} = \frac{1,1 \cdot Q_{\phi.ky}}{2}, \quad (16)$$

Нескомпенсированная мощность, протекающая через трансформатор:

$$Q_{неск.ТП} = Q_{P.ТП} - Q_{\phi.ky}, \quad (17)$$

Для выбора мощности ТП необходимо знать активную и нескомпенсированную мощность на шинах 0,4 кВ.

$$S_{P.Тр} = \frac{\sqrt{(P_{P.ТП})^2 + (Q_{неск.ТП})^2}}{K_3 \cdot N_T}, \quad (18)$$

где $K_3 = 0,7$ – коэффициент загрузки;

$P_{P.ТП}$ – активная мощность на шинах 0,4 кВ ТП;

$Q_{неск.ТП}$ – некомпенсированная мощность на шинах 0,4 кВ ТП;

N_T – количество трансформаторов на ТП.

После определения расчетной мощности выбирается трансформатор из [4] по условию:

$$S_{T_{ном}} \geq S_{расч}, \quad (19)$$

где $S_{T_{ном}}$ – номинальная мощность трансформатора, МВ·А.

Проверка коэффициента загрузки в послеаварийном режиме:

$$K_{3n/ав} = \frac{\sqrt{(P_{P.ТП})^2 + (Q_{неск.ТП})^2}}{S_{T_{ном}} \cdot N_T}, \quad (20)$$

Коэффициент загрузки в послеаварийном режиме не должен превышать 1,4 [7].

Произведем выбор и проверку трансформаторов для ТП 9:

$$Q_{ф.ку.9} = 720,85 \cdot (0,802 - 0,35) = 325,569 \text{ кВар},$$

$$Q_{ку.9.IIII} = \frac{1,1 \cdot 325,569}{2} = 179,063 \text{ кВар},$$

Выбираем конденсаторные батареи АУКРМ -0.4-200-25-УХЛ4

$$Q_{\text{неск.ТП9}} = 577,866 - 325,569 = 225,297 \text{ кВар},$$

$$S_{\text{расч9}} = \frac{\sqrt{720,85^2 + 252,297^2}}{0,7 \cdot 2} = 545,519 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Принимаем мощность ТП = 630/10 кВА

Проверка коэффициентов загрузки:

$$K_{\text{з.н/а9}} = \frac{\sqrt{720,85^2 + 252,297^2}}{0,7} = 1.212 < 1,4 \text{ кВА}.$$

Трансформатор выбран, верно. Для остальных ТП выбор проведен аналогично. Принятые к установке трансформаторы ТП, их коэффициенты загрузки представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Выбор трансформаторов ТП

Номер ТП	$P_{\text{Р.ТП}}$, кВт	$Q_{\text{неск.ТП}}$, квар	$S_{\text{Т}}$, кВА	k_3	$k_{3.\text{пав}}$	Устройство КРМ	Тип трансформатора
1	2	3	4	5	6	7	8
ТП1	433,44	151,704	400	0,574	1,148	АУКРМ-0,4-175-25-УХЛ4	ТМ-400
ТП2	586,14	205,149	630	0,493	0,986	АУКРМ-0,4-175-25-УХЛ4	ТМ-630
ТП3	393,92	137,872	400	0,522	1,043	АУКРМ-0,4-100-25-УХЛ4	ТМ-400
ТП4	750,4	262,64	630	0,631	1,262	АУКРМ-0,4-200-25-УХЛ4	ТМ-630
ТП5	1510	582,465	1600	0,5	1	АУКРМ-0,4-420-20-УХЛ4	ТМ-1600

Продолжение таблицы 7

Номер ТП	$P_{р.ТП}$, кВт	$Q_{неск.ТП}$, квар	S_T , кВА	k_3	$k_{3.пав}$	Устройство КРМ	Тип транс- форматора
ТП6	805,4	555,876	1000	0,489	0,979	АУКРМ-0,4-90- 15-УХЛ4	ТМ-1000
ТП7	623,25	218,138	630	0,524	1,048	АУКРМ-0.4-60- 20-УХЛ4	ТМ-630
ТП8	784,6	274,61	630	0,66	1,319	АУКРМ-0,4- 100-25-УХЛ4	ТМ-630
ТП9	720,85	252,297	630	0,606	1,212	АУКРМ-0.4- 200-25-УХЛ4	ТМ-630

Подробный расчет приведен в приложении А.

4 ВЫБОР СХЕМЫ И КОНСТРУКЦИИ ТП

Трансформаторные ПС могут быть сборными или комплектными. Для городских условий наиболее приемлемой является подстанции типа КТПН. Подстанции данного типа полностью комплектуются на заводах, а на месте установок они просто монтируются. Они удобны при монтаже и обслуживании. КТП изготавливают номинальной мощностью от 40 до 2500 кВА.

Для приема и распределения электроэнергии в общественных зданиях и жилых домов повышенной этажности используются вводно-распределительные панели шкафного типа одностороннего обслуживания типа ВРУ.

Схема ТП представлена на рисунке 2:

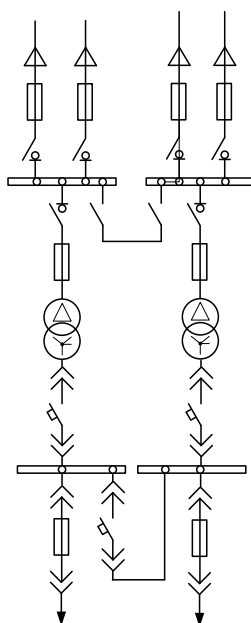


Рисунок 2 – Принципиальная схема ТП 10 кВ с двумя трансформаторами

Обслуживание ввода 6-10 кВ и щита 0,38 кВ осуществляется через двери отсеков, а осмотр и ремонт щита со стороны камеры трансформатора. Подстанция устанавливается на специальном бетонном или кирпичном фундаменте. Присоединение к кабельным сетям может быть выполнено транзитом.

5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ В ТРАНСФОРМАТОРАХ ТП И ЛИНИЯХ

Потери мощности в линии определяются по следующей формуле:

$$\Delta P = \frac{(P_{P.Л.}^2 \cdot r_0 \cdot L + Q_{P.Л.}^2 r_0 \cdot L)}{U^2}, \quad (21)$$

$$\Delta Q = \frac{(P_{P.Л.}^2 \cdot x_0 \cdot L + Q_{P.Л.}^2 \cdot x_0 \cdot L)}{U^2}. \quad (22)$$

где P_{Σ}, Q_{Σ} - активная и реактивная мощность, протекающая по линии, кВт, квар;

x_0, r_0 - удельные реактивное и активное сопротивления, Ом/км;

U - номинальное напряжение, кВ.

Энергия, теряемая на участке линии, определяется по следующей формуле:

$$\Delta W = \Delta P \cdot \tau, \quad (23)$$

где τ - время потерь, час.

Время потерь определяется по формуле:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_m}{10000} \right)^2 \cdot 8760. \quad (24)$$

где T_i - число часов использования максимума нагрузки, час.

Произведем расчет для линии ТП1-1 по формулам:

$$\Delta P = \frac{128,25^2 \cdot 0,62 \cdot 0,011 + 31,635^2 \cdot 0,62 \cdot 0,011}{0,4^2} = 7,483 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q = \frac{128,25^2 \cdot 0,063 \cdot 0,011 + 31,635^2 \cdot 0,063 \cdot 0,011}{0,4^2} = 7,498 \text{ квар},$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{5500}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 3979 \text{ час},$$

$$\Delta W = 1,62 \cdot 7,438 = 2,96 \text{ МВт} \cdot \text{час}.$$

Результаты определения потерь электроэнергии и мощности в линии сведем в таблицу 8.

Таблица 8 – Определение потерь мощности и электроэнергии в линии 0,4 кВ

Участок сети	P, кВт	Q, квар	F, мм ²	r, Ом	x, мОм	ΔP, кВт	ΔQ, квар	ΔW, МВт·ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТП1-1	128,25	31,635	50	0,62	0,063	7,438	7,498	2,96
ТП1-2	149,67	193,566	150	0,203	0,06	4,558	1,338	1,814
ТП1-3	155,52	41,856	70	0,043	0,061	4,309	5,953	1,715
ТП2-4	123,5	105,191	70	0,443	0,061	7,278	1,007	2,9
ТП2-5	69	55,2	25	1,24	0,74	3,026	1,806	1,204
ТП2-6	260	254,8	300	0,129	0,059	3,205	1,459	1,276
ТП2-14	133,64	107,517	70	0,043	0,061	8,146	1,125	3,241
ТП3-7	205,6	165,992	150	0,203	0,06	1,152	3,381	4,583

Участок сети	P, кВт	Q, квар	F, мм ²	r, Ом	x, мОм	ΔP, кВт	ΔQ, квар	ΔW, МВт·ч
ТП3-8	188,32	150,958	150	0,203	0,06	1,33	3,906	5,294
ТП4-9	750,4	600,32	240	0,077	0,059	1,333	1,016	5,306
ТП5-17	750,4	600,32	240	0,077	0,059	1,333	1,016	5,306
ТП5-18	759,5	660,675	185	0,099	0,06	4,076	2,454	1,622
ТП6-10	759,5	660,675	185	0,099	0,06	4,076	2,454	1,622
ТП6-11	45,9	52,443	16	1,94	1,15	3,534	2,095	1,406
ТП7-12	623,25	323,09	300	0,129	0,059	3,576	1,627	1,423
ТП8-13	784,6	444,676	400	0,129	0,059	5,902	2,686	2,349
ТП9-15	716,55	573,996	240	0,077	0,059	8,155	3,711	3,245
ТП9-16	4,3	3,87	4	7,74	4,6	1,21	7,216	4,832

Подробный расчет приведен в приложении А.

Потери мощности в трансформаторах определяются по следующим формулам:

$$\Delta P = \frac{(P_{P.ТП.}^2 R + Q_{P.ТП.}^2 R)}{U^2}, \quad (25)$$

$$\Delta Q = \frac{(P_{P.ТП.}^2 X + Q_{P.ТП.}^2 X)}{U^2}. \quad (26)$$

где $P_{P.ТП.}, Q_{P.ТП.}$ - активная и реактивная мощность, на стороне НН 0,4 кВ трансформатора ТП, кВт, квар;

x, r - удельные реактивное и активное сопротивления трансформаторов, Ом;

U - номинальное напряжение, кВ.

Произведем расчет для ТП2 по формулам:

$$\Delta P = \frac{(586,14^2 \cdot 1,915 + 522,708^2 \cdot 1,915)}{10^2} = 5,905 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q = \frac{(586,17^2 \cdot 8,518 + 522,708^2 \cdot 8,518)}{10^2} = 2,627 \text{ квар}$$

Результаты определения потерь и мощности в трансформаторах сведем в таблицу 9.

Таблица 9 – Потери мощности в трансформаторах ТП

Номер ТП	$P_{P.ТП}$, кВт	$Q_{P.ТП}$, квар	S_T , кВА	ΔP , кВт	ΔQ ,квар
1	2	3	4	5	6
ТП1	433,44	267,057	400	4,455	1,338
ТП2	586,14	522,708	630	5,905	2,627
ТП3	393,92	316,95	400	4,394	1,369
ТП4	750,4	600,32	630	8,842	3,933
ТП5	1510	1261	1600	1,361	7,743
ТП6	805,4	713,208	1000	7,06	3,694
ТП7	623,25	323,09	630	4,718	2,099
ТП8	784,6	444,676	630	7,787	3,464
ТП9	720,85	577,866	630	8,712	3,653

Подробный расчет приведен в приложении А.

6 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА СТОРОНЕ 10 КВ ЖИЛОГО РАЙОНА

Питающие сети 10 кВ используются в системах электроснабжения крупных промышленных и коммунальных предприятиях, а так же для питания городской распределительной сети общего пользования. Для питания ТП от ПС мы используем радиально-магистральные схемы.

6.1 Расчет электрических нагрузок на стороне 10 кВ ТП

Электрические нагрузки на стороне ВН 10 кВ ТП определяются путем суммирования мощности протекающей через трансформатор и потери мощности в нем.

Электрические нагрузки на стороне ВН 10 кВ ТП определяются по следующим формулам:

$$P_{ТП.ВН} = P_{Р.ТП} + \Delta P, \quad (27)$$

$$Q_{ТП.ВН} = Q_{Р.ТП} + \Delta Q. \quad (28)$$

Произведем расчет электрических нагрузок ТП1 по формулам:

$$P_{ТП.ВН} = 433,44 + 4,455 = 437,895 \text{ кВт},$$

$$Q_{ТП.ВН} = 267,057 + 1,338 = 268,395 \text{ квар}.$$

Результаты расчета нагрузок занесены в таблицу 10.

Таблица 10 – Электрические нагрузки на стороне ВН 10 кВ ТП

Номер ТП	$P_{Р.ТП}$, кВт	$Q_{Р.ТП}$, квар	S_T , кВА	ΔP , кВт	ΔQ , квар	$P_{ТП.ВН}$, кВт	$Q_{ТП.ВН}$, квар
ТП1	433,44	267,057	400	4,455	1,338	437,895	268,395

Номер ТП	$P_{P.ТП}$, кВт	$Q_{P.ТП}$, квар	S_T , кВА	ΔP , кВт	ΔQ ,квар	$P_{ТП.ВН}$, кВт	$Q_{ТП.ВН}$, квар
ТП2	586,14	522,708	630	5,905	2,627	592,045	8,532
ТП3	393,92	316,95	400	4,394	1,369	398,314	318,319
ТП4	750,4	600,32	630	8,842	3,933	759,242	604,253
ТП5	1510	1261	1600	1,361	7,743	1511,316	1262,361
ТП6	805,4	713,208	1000	7,06	3,694	812,46	716,902
ТП7	623,25	323,09	630	4,718	2,099	627,968	325,189
ТП8	784,6	444,676	630	7,787	3,464	792,387	448,14
ТП9	720,85	577,866	630	8,712	3,653	729,562	581,519

Подробный расчет приведен в приложении А.

6.2 Выбор схемы распределительной сети 10 кВ

Требования к выполнению и условиям выбора схем электрических соединений сетей систем электроснабжения города аналогичны общим требованиям и условиям выбора схем электрических систем. Специфика требований заключается в особенной актуальности применения наиболее простых схем с минимальным количеством электрооборудования и сооружений специализированных конструкций.

В электроснабжении городов применяются схемы:

- 1) радиально-магистральные распределительные сети без резервирования линий и трансформаторов;
- 2) петлевые неавтоматизированные распределительные сети;
- 3) петлевые автоматизированные сети при установке линейных выключателей нагрузки с автоматизированным управлением;
- 4) радиально-магистральные автоматизированные сети с резервированием линий и трансформаторов.

В данном проекте используется третий и четвертый типы сетей.

6.3 Выбор сечений распределительной сети 10 кВ

Выбор площади сечения осуществляется по максимальному расчетному току, с последующей проверкой выбранного сечения кабелей в послеаварийном режиме, и на потерю напряжения. По справочным данным в зависимости от расчетного тока определяют ближайшее большее стандартное сечение. Это сечение приводится для конкретных условий среды и способа прокладки кабелей. Расчетный ток определяется по формуле:

$$I_{\max} = \frac{\sqrt{\left(\frac{P_{p.l.}}{2}\right)^2 + \left(\frac{Q_{p.l.}}{2}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (29)$$

где $P_{p.l.}$ – расчетная активная нагрузка линии, кВт;

$Q_{p.l.}$ – расчетная реактивная нагрузка линии, квар;

U_H – номинальное напряжение, принимается равным 10 кВ;

Определение расчетного с учетом пятилетнего прироста нагрузки тока:

$$I_{p.\max} = \alpha_i \alpha_T I_{\max}, \quad (30)$$

Условие выбора проводов:

$$I_{\text{дл.доп}} \geq \frac{I_{p.\max}}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}, \quad (31)$$

где $I_{\text{дл.доп}}$ – длительно допустимый ток для данной среды по справочнику [7], А;

K_1 – коэффициент снижения токовой нагрузки в зависимости от количество кабелей в траншее [7];

K_2 – допустимая перегрузка кабелей с пропитанной бумажной изоляцией принимается равным 0,95 по справочнику [7];

K_3 – поправочный коэффициент на токи для кабелей в зависимости от температуры земли и воздуха по справочнику [7] принимаем 1,13.

По расчетному току определяется сечение линий, а затем проверяется по потере напряжения.

Для примера определим максимальный ток, протекающего в линии ПС-ТП5-ТП6-ТП7-ТП-8:

$$I_{пс.маx} = \frac{\sqrt{\left(\frac{2326}{2}\right)^2 + \left(\frac{1741}{2}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 167,742 \text{ А,}$$

$$I_{р.пс.маx} = 1,05 \cdot 1,1 \cdot 167,742 = 193,742 \text{ А,}$$

$$300 \geq \frac{193,742}{0,95 \cdot 1 \cdot 1,13}.$$

Выбираем кабель марки АПвПуг сечением 150 мм².

Для проверки выбранного сечения рассчитываются наиболее тяжелые послеаварийные режимы. Из них выбирается больший ток. И по этому току осуществляется проверка по условиям нагрева в длительном режиме:

$$I_{n/ав.маx} = \frac{\sqrt{\left(\frac{P_{n/ав}}{2}\right)^2 + \left(\frac{Q_{n/ав}}{2}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (32)$$

$$I_{дл.доп.} \geq \frac{0,9 \cdot I_{р.на.маx}}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}. \quad (33)$$

$I_{дл.доп.}$ - длительно допустимый ток (определяется по [7]).

$$I_{n/ав. max} = \frac{\sqrt{(3116)^2 + (2472)^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 229,619 \text{ А},$$

$$I_{p.n/ав. max} = 1,05 \cdot 1,1 \cdot 229,619 = 265,21 \text{ А},$$

$$300 \geq \frac{0,9 \cdot 265,21}{0,95 \cdot 1 \cdot 1,13}.$$

Кабель марки АПвПуг сечением 120 мм² подходит, по условию послеаварийного режима.

$$\Delta U = \frac{265,21 \cdot 0,675 \cdot \sqrt{3}}{1000} \cdot (0,203 \cdot 0,783 + 0,06 \cdot 0,622) \cdot 100\% = 6,08\%.$$

Условие: $\Delta U < 10\%$ -соблюдается. Сечение проводника выбрано верно.

Аналогично определяем сечения остальных кабелей. Результаты расчета сведены в таблицу 11.

Таблица 11 – Расчет сечений кабеля 10 кВ

Участок сети	И _{расч} , А	И _{дл.доп} , А	Сечение, мм ²	Марка	ΔU, %
ПС-ТП4-ТР3- ТП1-ТП9-ТП2	153,286	233	95	АПвПуг	0,014
ПС-ТП5-ТП6-ТП7- ТП8	193,742	300	150	АПвПуг	6,08

Подробный расчет приведен в приложении А.

6.4 Расчет электрических нагрузок ТП

Для расчета электрических нагрузок на шинах ТП необходимо просуммировать нагрузки ТП и потери мощности в линиях. Потери в линиях на 10 кВ рассчитываются аналогично потерям в линиям на 0,4 кВ.

Сумма потерь мощности во всей схеме равна:

$$\Delta P_{\Sigma} = \sum_1^n \Delta P_i, \quad (34)$$

$$\Delta Q_{\Sigma} = \sum_1^n \Delta Q_i. \quad (35)$$

Произведем расчет для линии РП-ТП23Б-ТП23 по формулам:

$$\Delta P_{\Sigma} = (13,64 + 7,06 + 4,718 + 7,787) = 33,17 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{\Sigma} = 77,43 + 36,94 + 20,99 + 34,64 = 170 \text{ квар}.$$

Электрические нагрузки на стороне 10 кВ РП будут определяться:

$$P_{РП.10} = P_{Л.10} + \Delta P_{\Sigma}, \quad (36)$$

$$Q_{РП.10} = Q_{Л.10} + \Delta Q_{\Sigma}, \quad (37)$$

$$P_{РП.10} = 3723 + 33,17 = 3756,17 \text{ кВт}$$

$$Q_{РП.10} = 2742 + 170 = 2912 \text{ квар}$$

Результаты расчета сведем в таблицу 12.

Таблица 12 – Потери мощности в линиях 10 кВ

Участок сети	L, м	P _{л.10} , кВт	Q _{л.10} , кВт	ΔP _{л10} , кВт	ΔQ _{л10} , квар	ΔW, МВт ч
ПС-ТП4	60	2885	2285	14,02	2,589	0,558

ТП4-ТП3	95	2134	1685	12,08	2,231	0,482
ТП3-ТП1	200	1740	1368	1,689	0,311	6,719
ТП1-ТП9	270	1307	1101	1,364	0,251	5,426
ТП9-ТП2	190	586,14	522,708	0,202	0,037	80,34
ПС-ТП5	65	3723	2742	23,93	4,42	0,952
ТП5-ТП7	110	2213	1481	1,338	0,247	5,324
ТП7-ТП8	80	1590	1158	5,33	0,984	2,121
ТП8-ТП6	90	805,4	713,208	1,794	0,331	7,139

Подробный расчет приведен в приложении А.

7 РАСЧЕТ ТОКОВ КЗ

Короткое замыкание - замыкание, при котором токи в ветвях электроустановки, примыкающих к месту его возникновения, резко возрастают, превышая наибольший допустимый ток продолжительного режима [2]. Значение токов КЗ гораздо выше значения токов, протекающих по проводнику в нормальном режиме. Токи КЗ приводят к недопустимому нагреву линий, поэтому должны быть устранены устройствами релейной защиты.

7.1 Расчет токов КЗ в сети 10 кВ

Токи КЗ в высоковольтной сети определяются в следующих точках: на шинах подстанции, на шинах высокого напряжения наиболее удаленной ТП и на шинах высокого напряжения расчетной ТП. За основное напряжение принимается напряжение равное $U_{осн} = 1,05 \cdot U_{ном}$ [2].

Ток трехфазного короткого замыкания определяется по формуле:

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U_{осн}}{\sqrt{3} \cdot Z}, \quad (38)$$

где Z - полное сопротивление до точки КЗ, Ом.

Полное сопротивление до точки КЗ определяется по формуле [2]:

$$Z = \sqrt{(\sum x_l + x_c)^2 + (\sum r_l)^2} \quad (39)$$

Ток двухфазного короткого замыкания определяется по формуле [2]:

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\kappa}^{(3)} \quad (40)$$

Ударный ток определяется по формуле [2]:

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot k_{y\partial} \cdot I_{\kappa}^{(3)} \quad (41)$$

Ударный коэффициент определяется по формуле [2]:

$$k_{y\partial} = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}} \quad (42)$$

Постоянная времени затухания определяется по формуле [2]:

$$T_a = \frac{\sum x}{\omega \cdot \sum r} \quad (43)$$

Произведем расчет токов КЗ:

Расчетную схему покажем на рисунке 3.

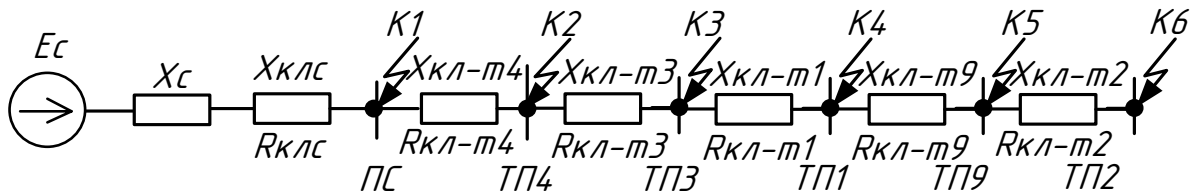


Рисунок 3 – Схема замещения для расчета токов КЗ на 10 кВ

Для примера произведем расчет токов КЗ в точке К1, то есть на шинах ПС:

$$X_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 7,08} = 0,856 \text{ Ом},$$

$$Z = \sqrt{0,951^2 + 0,84^2} = 1,269 \text{ Ом},$$

$$I_k^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,269} = 4,777 \text{ кА},$$

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,777 = 4,137 \text{ кА}.$$

$$T_a = \frac{0,951}{314 \cdot 0,84} = 0,0036$$

$$k_{y\partial} = 1 + e^{\frac{-0,01}{0,0036}} = 1,062$$

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot 1,062 \cdot 4,777 = 7,178 \text{ кА.}$$

Результаты расчетов токов КЗ для остальных точек сведены в таблицу 13.

Таблица 13 – Результаты расчета токов КЗ на 10 кВ

Точка КЗ	Место КЗ	$I_{\kappa}^{(3)}$, кА	$I_{\kappa}^{(2)}$, кА	$k_{y\partial}$	$i_{y\partial}$, кА
К1	ПС	4,777	4,137	1,062	7,178
К2	ТП4	4,467	3,868	1,053	6,65
К3	ТП3	4,296	3,72	1,045	6,346
К4	ТП1	3,84	3,326	1,027	5,58
К5	ТП9	3,292	2,851	1,014	4,721
К6	ТП2	2,847	2,466	1,007	4,057
К7	ТП5	4,652	4,028	1,057	6,953
К8	ТП7	4,33	3,75	1,038	6,335
К9	ТП8	3,905	3,382	1,027	5,671
К10	ТП6	3,802	3,292	1,029	5,53

Подробный расчет приведен в приложении А.

7.2 Расчет токов КЗ в сети 0,4 кВ

Токи КЗ в сети 0,4 кВ определяются в следующих точках: на шинах 0,4 кВ расчетной ТП, и в конце каждой отходящей линии. За основное напряжение принимается напряжение равное $U_{cp} = 1,05 \cdot U_{ном}$ [2].

Начальное значение периодической составляющей при этих условиях следует определять по формуле [2]:

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot Z}, \quad (44)$$

где Z - полное сопротивление до точки КЗ, Ом.

Ток однофазного короткого замыкания будем определять методом симметричных составляющих [2]:

$$I_{\kappa}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{cp}}{z_0}, \quad (45)$$

где z_0 - сопротивление однофазному короткому замыканию, Ом.

Полное сопротивление однофазного КЗ определяется как [2]:

$$z_0 = \sqrt{(r_{III} + r_{OI} + r_{HI})^2 + (x_{III} + x_{OI} + x_{HI})^2}. \quad (46)$$

где: r_{III} , x_{III} - активное и реактивное сопротивление прямой последовательности, Ом;

r_{OI} , x_{OI} - активное и реактивное сопротивление обратной последовательности, (для линий и трансформаторов принимается равное прямой) Ом;

r_{HI} , x_{HI} - активное и реактивное сопротивление нулевой последовательности, Ом;

Произведем расчет для ТП4, питающейся от ПС.

Расчетная схема показана на рисунке 4.

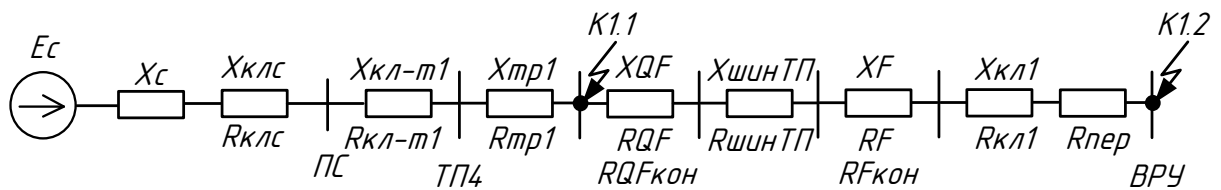


Рисунок 4 – Схема замещения для расчета токов КЗ на 0,4 кВ

Для примера произведем расчет токов КЗ для точек К.11 и К1.2:

$$z_{\kappa 1.1}^{(3)} = \sqrt{\left((x_c + x_{KLc-пс} + x_{KLпс-тп4} + x_{TP17}) \cdot \frac{0.4^2}{10.5^2} \right)^2 + \left((r_{KLc-пс} + r_{KLпс-тп4} + r_{TP4}) \cdot \frac{0.4^2}{10.5^2} \right)^2}, \quad (47)$$

$$z_{\kappa 1.1}^{(3)} = \sqrt{\left((0,856 + 0,095 + 0,036 + 10,712) \cdot \frac{0,4^2}{10,5^2} \right)^2 + \left((0,84 + 0,196 + 3,437) \cdot \frac{0,4^2}{10,5^2} \right)^2} = 0,018 \text{ мОм},$$

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,018} = 12,705 \text{ кА},$$

$$z_{\kappa 1.2}^{(3)} = \sqrt{\left((x_C + x_{\text{КЛПС}} + x_{\text{КЛПС-П4}} + x_{\text{ТР4}}) \cdot \frac{0,4^2}{10,5^2} + x_{\text{ТП-4}} \right)^2 + \left((r_{\text{КЛС-П1}} + r_{\text{КЛПС-П4}} + r_{\text{ТР4}}) \cdot \frac{0,4^2}{10,5^2} + r_{\text{ТП-4}} \right)^2}, \quad (48)$$

ГДЕ: $x_{\text{ТП-4}} = x_{\text{ТР}_{\text{FQ}}} + x_{\text{ШИН}_{\text{КТП}}} + x_{\text{КЛ}_{\text{F}}} + x_{\text{КЛ}_{\text{ТП-4}}}$

$$r_{\text{ТП-4}} = r_{\text{ТР}_{\text{FQ}}} + r_{\text{ТР}_{\text{FQ.КОН}}} + r_{\text{ШИН}_{\text{КТП}}} + r_{\text{КЛ}_{\text{F}}} + r_{\text{КЛ}_{\text{F.КОН}}} + r_{\text{КЛ}_{\text{F}}} + r_{\text{Пер}}$$

$$z_{\kappa 1.2}^{(3)} = 0,342 \text{ мОм},$$

$$I_{\kappa 1.2}^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,342} = 0,675 \text{ кА}.$$

Результаты остальных расчетов сведём в таблицу 14.

Таблица 14 – Результаты расчета токов КЗ на 0,4 кВ

Точка КЗ	Место КЗ	$I_{\kappa}^{(3)}$, кА	$I_{\kappa, \min}^{(1)}$, кА
1	2	3	4
К0.1	Шины 0.4	12,705	11,648
К1.1	ВРУ	0,505	1,007
К1.2	ВРУ	0,675	1,007
К1.3	ВРУ	0,505	0,499
К0.2	Шины 0.4	15,989	23,299
К2.4	ВРУ	0,508	0,499
К2.5	ВРУ	0,159	0,158
К2.6	ВРУ	1,514	1,464
К2.14	ВРУ	0,508	0,502
К0.3	Шины 0.4	12,705	11,648
К3.7	ВРУ	1,032	1,007
К3.8	ВРУ	1,032	1,007
К0.4	Шины 0.4	15,989	14,478

Продолжение таблицы 14

Точка КЗ	Место КЗ	$I_k^{(3)}$, кА	$I_{k.min}^{(1)}$, кА
К4.9	ВРУ	2,105	2,024
К0.5	Шины 0.4	30,122	23,689
К5.17	ВРУ	2,218	2,125
К5.18	ВРУ	1,887	1,814
К0.6	Шины 0.4	20,642	17,986
К6.10	ВРУ	1,849	1,779
К6.11	ВРУ	0,102	0,102
К0.7	Шины 0.4	15,929	14,478
К7.12	ВРУ	1,514	2,464
К0.8	Шины 0.4	15,989	14,478
К8.13	ВРУ	1,514	1,464
К0.9	Шины 0.4	15,989	14,478
К9.15	ВРУ	1,514	1,464
К9.16	ВРУ	0,026	20,05

Подробный расчет приведен в приложении А.

8 ПРОВЕРКА ВЫБРАННЫХ СЕЧЕНИЙ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Выбранные сечения кабелей необходимо проверять на термическое воздействие токов КЗ т.к. при их протекании по проводнику, он нагревается – это может повлечь за собой повреждение изоляции и возгорание.

Для проверки кабеля на термическую стойкость, нам необходимо найти минимальное сечение кабеля по условию термической стойкости, оно должно быть меньше сечения, выбранного для данного кабеля [1].

Тепловой импульс определим по следующей формуле:

$$B_k = I_{n0}^2 \cdot [t_{откл} + T_a], \quad (49)$$

где $t_{откл} = t_{рз} + t_{откл.в}$;

где $t_{рз}$ - время действия релейной защиты;

$t_{откл.в}$ - время отключения выключателя;

$$t_{откл.в} = 0,5 + 0,07 = 0,57 \text{ с.}$$

Минимальное сечение кабеля по условию термической стойкости определим по следующей формуле:

$$S_{тер} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_m}, \quad (50)$$

где C_m - коэффициент, зависящий от допустимой температуры при КЗ и материала проводника (для алюминиевых кабелей $C_m = 90 \text{ A}^2 \cdot \text{с}/\text{мм}^2$).

Для примера произведем расчет для проверки кабеля ПС– ТП4.

$$B_{\kappa} = 4,777 \cdot [0,57 + 0,01] = 2,77 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$S_{\text{тер}} = \frac{\sqrt{2,77 \cdot 10^3}}{90} = 0,58 \text{ мм}^2.$$

Кабель для которого осуществлялась проверка имеет сечение $10 \text{ мм}^2 > 0,58 \text{ мм}^2$, следовательно условие проверки выполняется, выбранный кабель проходит по термической стойкости. Остальные кабели в сети должны быть сечением не меньше $0,58 \text{ мм}^2$.

9 ПРОВЕРКА ВЫБРАННЫХ СЕЧЕНИЙ ПО ДОПУСТИМОЙ ПОТЕРЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Выбранные сечения кабелей в сети 10 кВ, которая питает между собой трансформаторные подстанции от ПС, проходят проверку по допустимой потере напряжения, как и кабели в сети 0,4 кВ, проверенные в главе 10. Отклонение напряжения не должно превышать $\pm 10\%$ в нормальном режиме.

Результаты определения потерь в сети 10 кВ отображены в таблице 14.

Таблица 14 – Проверка допустимых потерь напряжения в сети 10 кВ

Кабель	R, Ом/км	X, Ом/км	ΔP , кВт	ΔU , %
1	2	3	4	5
ПС-ТП4	0,326	0,06	14,02	0,128
ТП4-ТП3	0,326	0,06	12,08	0,137
ТП3-ТП1	0,326	0,06	1,689	0,114
ТП1-ТП2	0,326	0,06	1,364	0,142
ТП9-ТП2	0,326	0,06	0,202	0,131
ПС-ТП5	0,203	0,059	23,93	0,156
ТП5-ТП7	0,203	0,059	1,338	0,132
ТП7-ТП8	0,203	0,059	5,33	0,147
ТП8-ТП6	0,203	0,059	1,794	0,156

Подробный расчет приведен в приложении А.

Потери напряжения в сети 10 кВ не превышают допустимые отклонения.

10 ВЫБОР И ПРОВЕРКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Электрические аппараты выбирают по роду установки, номинальному току и напряжению и проверяют на динамическую и термическую стойкость. Выбор оборудования осуществляем для ТП.

10.1 Выбор и проверка предохранителей на 0,4 и на 10 кВ

Предохранитель – это элемент защиты сети от возникающих аварий, характеризующихся резким повышением тока в сети. При протекании по защищаемой линии токов КЗ, он расплавляет плавкую вставку предохранителя, в следствии чего линия размыкается от поврежденного участка цепи.

Трансформаторы 10/0,4 в сельских и городских распределительных электрических сетях, как правило, защищается плавкими предохранителями на стороне 10 кВ и весьма часто также плавкими предохранителями на стороне 0,4 кВ. [5].

На каждой ТП выбираем предохранители по расчетному току, для защиты распределительных линий 10 и 0,4 кВ, при условии:

$$I_{расч} \leq I_B \leq I_{номПР}, \quad (51)$$

где I_B – номинальный ток плавкой вставки предохранителя;

$I_{номПР}$ – номинальный ток предохранителя.

Расчетный ток для ТП17 определяем по формуле:

$$I_{РАСЧ} = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}, \quad (52)$$

где S_{Σ} – максимальная мощность, которая может протекать через оборудование, то есть с учётом аварийных ситуаций.

Рассчитываем ток для линии 1 на стороне 0,4 кВ:

$$I_{расч} = \frac{\sqrt{\frac{134^2}{2} + \frac{100,5^2}{2}}}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 127,245 \text{ А.}$$

Выбираем плавкую вставку предохранителя на номинальный ток 400 А.

Выбираем предохранитель марки ПН2-400 [4].

Рассчитываем ток для ТП1 на стороне 10 кВ:

$$I_{расч} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14,43 \text{ А.}$$

Выбираем плавкую вставку предохранителя на номинальный ток 15 А.

Выбираем предохранитель марки НПН-15 [4].

Выбор предохранителей на сторонах 0,4 кВ и 10 кВ представлен в таблицах 15 и 16.

Таблица 15 – Выбор предохранителей на стороне 0,4 кВ

Участок сети	$I_{расч}, \text{ А}$	$I_{пл.вст}, \text{ А}$	Марка предохранителя
1	2	3	4
ТП1-1	100,348	250	ПН2-250
ТП1-2	185,877	250	ПН2-250
ТП1-3	122,348	250	ПН2-250
ТП2-4	123,239	250	ПН2-250
ТП2-5	67,127	100	ПН2-100
ТП2-6	276,549	400	ПН2-400
ТП2-14	130,3	400	ПН2-400
ТП3-7	200,738	250	ПН2-250

Участок сети	$I_{расч}$, А	$I_{пл.вст}$, А	Марка предохранителя
ТП3-8	183,351	250	ПН2-250
ТП4-9	365,015	400	ПН2-400
ТП5-17	365,015	400	ПН2-400
ТП5-18	254,921	400	ПН2-400
ТП6-10	254,921	400	ПН2-400
ТП6-11	52,944	400	ПН2-400
ТП7-12	266,651	100	ПН2-100
ТП8-13	342,555	400	ПН2-400
ТП9-15	232,486	250	ПН2-250
ТП9-16	8,789	10	НПН2-60

Подробный расчет приведен в приложении А.

Таблица 16 – Выбор предохранителей на стороне 10 кВ

Номер ТП	$I_{расч}$, А	$I_{пл.вст}$, А	Марка предохранителя
1	2	3	4
1	18,938	25	НПН2-60
2	25,61	20	НПН2-60
3	17,211	25	НПН2-60
4	32,787	15	НПН2-60
5	65,971	40	ПН2-100
6	40,357	15	НПН2-60
7	27,231	40	НПН2-60
8	34,281	60	НПН2-60
9	31,496	20	НПН2-60

Подробный расчет приведен в приложении А.

После выбора предохранители необходимо проверить по следующим параметрам:

- по согласованию с сечением проводника;
- по разрушающему действию трехфазных токов КЗ;
- по чувствительности к токам КЗ.

Условие проверки предохранителей по согласованию с сечением проводника [4]:

$$I_B \leq 3 \cdot I_{\text{дл.доп}}, \quad (53)$$

Условие проверки по разрушающему действию трёхфазных токов КЗ:

$$I_{\text{но}}^{(3)} \leq I_{\text{отк}}, \quad (54)$$

Условие проверки по чувствительности к токам КЗ:

$$I_{\text{но}}^{(1)} \geq 3 \cdot I_B, \quad (55)$$

Предохранители с меньшим номинальным током имеют большую отключающую способность, то есть они пройдут по всем условиям.

10.2 Выбор и проверка автоматических выключателей

Автоматический выключатель – это коммутационный аппарат, который защищает сеть от аварийной ситуации.

На каждой ТП выбираем автоматических выключателей по расчетному току [4]:

$$I_{\text{ном. расч}} \geq I_p, \quad (56)$$

где I_p – максимальный рабочий ток.

Результаты расчета сведем в таблицу 17.

Таблица 17 – Выбор автоматических выключателей

№ ТП	$S_{ТП}$, кВА.	I_p , А	$I_{ном. расщ}$ А	Марка выключателя
1	2	3	4	5
1	328,015	473,449	630	ВА51-39
2	443,574	640,245	1000	ВА55-41
3	298,108	430,281	630	ВА51-39
4	567,882	819,667	1000	ВА55-41
5	1143	1649	2000	ВА55-43
6	669,003	1009	1600	ВА55-43
7	471,658	680,78	1000	ВА55-41
8	593,763	857,024	1000	ВА55-41
9	545,519	787,389	1000	ВА55-41

Подробный расчет приведен в приложении А.

Автоматические выключатели проверяются как предохранители, но добавляется условие проверки по динамической стойкости:

$$i_{уд} \leq i_{дин}.$$

Наименьшая предельная коммутационная способность выбранных автоматических выключателей 20 кА, что явно больше максимального тока трехфазного КЗ, поэтому проверку проводить не обязательно.

11 РАСЧЕТ ЕМКОСТНЫХ ТОКОВ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

Замыкания на землю токоведущих частей электроустановок является преобладающим видом повреждений в сетях всех напряжений. В распределительных сетях 6 – 35 кв. эти повреждения составляют не меньше 75 % от общего числа повреждений.

Компенсация емкостных токов замыкания на землю позволяет:

- 1) ограничить разрушения изоляции за счет уменьшения тока через место повреждения (в пределе до активной составляющей и высших гармоник тока);
- 2) предупредить переход однофазного замыкания в междуфазное и тем самым предупредить дальнейшее развитие аварии;
- 3) обеспечить надежное дугогашение;
- 4) при дуговых замыканиях ограничить перенапряжение до значений $2,5 - 2,6 U_{\phi}$ при степени настройки 0-5 %;
- 5) исключить повторное загорание дуги;
- 6) уменьшить несимметричную нагрузку на генераторы;
- 7) ограничит внутренние перенапряжения при коммутационных переключениях в нормальных эксплуатационных режимах;
- 8) получить замедленное восстановление напряжения между поврежденной фазой и землей, что создает благоприятные условия для восстановления диэлектрической прочности промежутка.

Рассчитаем ток замыкания на землю (ЗНЗ), приняв, что ПС будет снабжать электроэнергией весь заданный квартал:

$$I_{\text{эмк.кл}} = K \cdot \left(\frac{U \cdot I_{\text{кл}\Sigma}}{10} \right), \quad (57)$$

где K – коэффициент, учитывающий ёмкость машин, трансформаторов и ошинок относительно земли ($K = 1,25 - 1,35$);

$l_{кл\Sigma}$ – суммарная длина кабельных линий.

$$I_{ёмк.кл} = 1,25 \cdot \left(\frac{10 \cdot 1,035}{10} \right) = 1,29 \text{ A.}$$

Городские сети 6-35 кВ работают без глухого заземления нейтрали и относятся к сетям с малыми токами замыкания на землю.

Компенсация емкостного тока замыкания на землю должна применяться при следующих значениях этого тока в нормальных режимах.

Так как рассчитанные значения емкостного тока замыкания на землю не превышают допустимые ПУЭ величины для сети 10 кВ, то установка дугогасящего реактора не требуется.

12 РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

12.1 Расчет релейной защиты отходящих присоединений ПС 10 кВ

Согласно с ПУЭ для линий в сетях 3-10 кВ с изолированной нейтралью (в том числе и с нейтралью, заземленной через дугогасительный реактор) должны быть предусмотрены устройства релейной защиты от многофазных замыканий и от однофазных замыканий на землю. На одиночных линиях с односторонним питанием от многофазных замыканий должна устанавливаться, как правило, двухступенчатая токовая защита, первая ступень которой выполнена в виде токовой отсечки, а вторая в виде максимальной токовой защиты с независимой или зависимой характеристикой выдержки времени. Защита от однофазных замыканий на землю должна в первую очередь реагировать на установившиеся замыкания на землю; допускается также применение устройств, регистрирующих на кратковременные замыкания, без обеспечения повторности действия [7].

12.1.1 Расчёт установок токовой отсечки

Селективность действия токовой отсечки достигается тем, что ее ток срабатывания принимается больше максимального тока короткого замыкания, проходящего через защиту при повреждении внешнего элемента. Действие защиты при коротком замыкании увеличивается по мере приближения места короткого замыкания [8].

Ток срабатывания ТО выбирают по выражению:

$$I_{\text{с.з.}}^{\text{ТО}} = k_{\text{отс}} \cdot I_{\text{п0}}^{(3)}, \quad (58)$$

где $I_{\text{п0}}^{(3)}$ – действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ у шин трансформаторной подстанции, А;

$k_{\text{отс}}$ – коэффициент, учитывающий влияние апериодической составляющей;

$$k_{\text{отс}} = 1,05 \dots 1,6,$$

Произведем расчет для ПС-ТП4 по формуле:

$$I_{с.з.}^{ТО} = 1,05 \cdot 3,84 = 4,032 \text{ кА.}$$

Токовая отсечка является быстродействующей защитой и может срабатывать от толчков тока намагничивания, возникающих при включении силовых трансформаторов защищаемой цепи. Поэтому $I_{с.з.}^{ТО}$ должен удовлетворять условию:

$$I_{с.з.}^{ТО} \geq k_{нам} \cdot \sum I_{ном.т}, \quad (59)$$

где $\sum I_{ном.т}$ – сумма номинальных токов силовых трансформаторов, питаемых по защищаемой цепи, А;

$k_{нам}$ – коэффициент, учитывающий бросок тока намагничивания силовых трансформаторов, $k_{нам} = 3...5$.

Покажем расчёт установок токовой отсечки на примере расчета ТО для участка ПС-ТП4.

Проверяем ТО на толчок токов намагничивания всех трансформаторов

$$I_{с.з.}^{ТО} \geq I_{бр.нам}, \quad (60)$$

$$I_{бр.нам} = k_{нам} \cdot \frac{\sum S_{ном.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (61)$$

$$I_{бр.нам} = 4 \cdot \frac{2690}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,59 \text{ кА,}$$

$$4,032 \geq 0,59 \text{ кА.}$$

Условие выполняется, следовательно, уставка выбрана верно.

Коэффициент чувствительности токовой отсечки при максимальном двухфазном токе КЗ в месте установки защиты:

$$k_{ч\text{ТО}} = \frac{I_{к\text{ max}}^{(2)}}{I_{с.з.}^{\text{ТО}}} \quad (62)$$

$$k_{ч\text{ТО}} = \frac{3,326}{4,032} = 0,82 \geq 1,2$$

Так как согласно ПУЭ коэффициент чувствительности для органов тока и напряжения ступени защиты, предназначенной для действия при КЗ в конце защищаемого участка, при наличии надежно действующей селективной резервной ступени - около 1,2. В том случае, если коэффициент чувствительности меньше 1,2, то необходимо проверить сколько процентов длины линии будет защищено токовой отсечкой. Для этого необходимо построить график спадания токов трехфазного КЗ.

Расчет ТО для остальных отходящих линий приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет ТО для отходящих линий 10 кВ.

Участок сети	$I_{п0}^{(3)}$, кА	$I_{с.з.}^{\text{ТО}}$, кА	$I_{бр.нам}$, кА	$I_{к\text{ max}}^{(2)}$, кА	$k_{ч\text{ТО}}^{(3)}$	Длина защищаемой линии, %
ПС-ТП4	4,81	5,05	0,29	4,02	0,80	35
ПС-ТП5	4,10	4,30	0,66	5,23	1,22	-

По данным расчета можно пронаблюдать, что токовую отсечку можно принять к установке.

12.1.2 Расчёт установок максимальной токовой защиты

Расчёт установок максимальной токовой защиты покажем на примере расчета МТЗ для участка ПС-ТП4.

Первичный ток срабатывания максимальной токовой защиты выбирается по условию отстройки от наибольшего тока нагрузки

$$I_{с.з.} \geq \frac{k_{зап.} \cdot k_{сзп}}{k_B} I_{р.мах}, \quad (63)$$

где $k_{зап.}$ – коэффициент запаса, учитывает погрешность реле, принимается равным для «Сириус-2-Л» $k_{зап.} = 1,1$;

$k_{сзп}$ – коэффициент само запуска, учитывает возможность увеличения тока в защищаемой линии в следствии само запуска электрических двигателей при восстановлении напряжения после отключения КЗ. Для городских распределительных сетей $k_{сзп} = 1,2$;

$I_{р.мах}$ – максимальный ток в линии, А;

k_B – коэффициент возврата токового реле; для «Сириус-2-Л» принимаем в пределах 0,92-0,95;

$$I_{с.з.} = \frac{1,1 \cdot 1,2}{0,94} \cdot 387,62 = 544,32 \text{ А},$$

Ток срабатывания реле:

$$I_{с.р.} = \frac{k_{сх}}{k_T} \cdot I_{с.з.}, \quad (64)$$

где $k_{сх}$ – коэффициент схемы ($k_{сх} = \sqrt{3}$);

k_T – коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Для установленных на отходящих КЛ 10 кВ трансформаторов тока типа ТОЛ-10 УЗ с $I_{\text{ном.}} = 400 \text{ А}$:

$$k_T = \frac{400}{5} = 80,$$

$$I_{\text{с.р.}} = \frac{\sqrt{3}}{80} \cdot 544,32 = 11,8 \text{ А.}$$

Выбираем микропроцессорную защиту «Сириус-2-Л» имеющую установку тока 20 А.

Коэффициент чувствительности защиты в основной зоне:

$$k_{\text{ч.МТЗ}} = \frac{I_{\text{к min}}^{(2)}}{I_{\text{с.з.}}} \geq 1,5, \quad (65)$$

где $I_{\text{к min}}^{(2)}$ – минимальное значение двухфазного тока КЗ, А.

$$k_{\text{ч.МТЗ}} = \frac{2920}{544,32} = 5,36 > 1,5.$$

Что удовлетворяет условию чувствительности в основной зоне.

Время срабатывания «Сириус-2-Л» выбирается по условиям согласования по току и времени с защитными устройствами последующих и предыдущих элементов. Выдержка времени выбирается по условию:

$$t_{\text{с.з.}} = t_1 + \Delta t, \quad (66)$$

где t_1 – время срабатывания предыдущей защиты, с;

Δt – ступень селективности. Δt для «Амур» принимается $\approx 0,5$.

Защитным устройством трансформаторов ТП является предохранитель. Предохранители были выбраны с учетом их селективной работы с автоматическим выключателем 0,4 кВ, и, время их срабатывания составляет $t_1 = 0,8 \dots 1,0$ с. Поэтому, время срабатывания «Сириус-2-Л» принимается:

$$t_{с.з.} = 0,8 + 0,5 = 1,3 \text{ с.}$$

Наибольшей плавкой вставкой во всей рассматриваемой петле является вставка на $I_{ном} = 60$ А. Для такой вставки по времятоковой характеристике предохранителя ПК определяем величину тока, при котором вставка расплавится за время $t_{с.з.} = 1,3$ с. Для согласования МТЗ и предохранителей, необходимо выполнение условия:

$$I_{с.з.} \geq I_{пл}, \quad (67)$$

где $I_{пл}$ – значение тока, необходимого для плавления вставки предохранителя за время $t_{с.з.}$, А.

Для времени $t_{с.з.} = 1,3$ с: $I_{пл} = 230$ А.

$$544,32 \geq 230 \text{ А.}$$

Условие выполняется, следовательно, время срабатывания «Амур» удовлетворяет условию селективности.

Расчет МТЗ для остальных отходящих линий приведен в таблице 19.

Таблица 28 – Расчет МТЗ для отходящих линий 10 кВ.

Участок сети	$I_{с.з.}$, А	$I_{раб.мах}$, А	$I_{с.р.}$, А	$k_{ч.МТЗ}$	$I_{пл}$, А	Уставка тока, А
ПС-ТП4	116,53	82,98	2,52	43,25	15	4
ПС-ТП5	239,96	170,88	5,2	21,8	15	6

По данным расчета можно пронаблюдать, что токовую отсечку можно принять к установке на всех отходящих присоединениях.

12.1.3 Расчёт уставок защиты от замыканий на землю

ОЗЗ предназначено для защиты трехфазной сети с изолированной нейтралью от однофазных замыканий на землю, а также для защиты генератора, электродвигателя, трансформатора от однофазных замыканий на землю (корпус) в обмотках. Данная защита позволяет расширить функциональные возможности и повышение чувствительности средств защиты сети с изолированной нейтралью от однофазных замыканий на землю. Принцип действия состоит в измерении тока утечки на землю через общее сопротивление сети относительно земли, этот ток усредняют, по среднему значению измеренного тока и напряжению источника питания определяют сопротивление изоляции, сравнивают его с предельно допустимым значением и, по достижении им предельно допустимого значения формируют сигнал на отключение защищаемой сети, дополнительно выбирают фазу с наибольшим по абсолютному значению напряжением относительно земли и в ней измеряют ток утечки. На текущем интервале времени, соответствующем периоду промышленной частоты, указанные токи утечки сравнивают между собой и по их соотношениям определяют место повреждения изоляции. Кроме того, измеряют фазные напряжения и по их отношению к соответствующему току утечки определяют общее сопротивление защищаемой сети относительно земли, что позволяет выявлять дефекты в изоляции на ранней стадии развития.

Рассчитаем ток срабатывания защиты на примере участка ПС-ТП4:

$$I_{с.з.}^{ОЗЗ} = k_{отс} \cdot I_c, \quad (68)$$

где $k_{отс}$ - коэффициент отстройки;

I_c - емкостной ток замыкания на землю, А.

Емкостной ток определяется по следующей формуле:

$$I_c = K \cdot \left(\frac{U \cdot l_{кл\Sigma}}{10} \right) \quad (69)$$

где K – коэффициент, учитывающий ёмкость машин, трансформаторов и ошинок относительно земли ($K = 1,25 - 1,35$);

$l_{кл\Sigma}$ – суммарная длина кабельных линий.

$$I_c = 1,25 \cdot \left(\frac{10 \cdot 1,98}{10} \right) = 2,48 \text{ А},$$

$$I_{с.з.}^{OЗЗ} = 1,1 \cdot 2,48 = 2,73 \text{ А}.$$

Расчет ОЗЗ для остальных отходящих линий приведен в таблице 20.

Таблица 20 – Расчет ОЗЗ для отходящих линий 10 кВ.

Участок сети	$l_{кл\Sigma}$, км	I_c , А	$I_{с.з.}^{OЗЗ}$, А
ПС-ТП4	0,561	0,7	0,77
ПС-ТП5	0,48	0,6	0,66

По данным расчета можно пронаблюдать, что ОЗЗ можно принять к установке на всех отходящих присоединениях.

12.2 Виды защит силового трансформатора

Для силовых трансформаторов с обмоткой высшего напряжения больше 1000 В предусматривается релейная защита от следующих видов повреждении и ненормальных режимов работы:

- 1) многофазных замыканий в обмотках и на их выводах,
- 2) внутренних повреждений (витковых замыканий в обмотках и «пожара стали» магнитопровода),
- 3) однофазных замыканий на землю,
- 4) сверхтоков в обмотках, обусловленных внешними короткими замыканиями,

5) сверхтоков в обмотках, обусловленных перегрузкой (если она возможна),

б) понижения уровня масла.

При выполнении защит трансформатора необходимо учитывать некоторые особенности его нормальной работы: броски тока намагничивания при включении трансформатора под напряжение, влияние коэффициента трансформации и схем соединения обмоток трансформатора.

Для защиты от многофазных замыканий в обмотках и на выводах трансформаторов мощностью 6300 кВА и выше, работающих одиночно, мощностью 4000 кВА и выше, работающих параллельно, а также мощностью 1000 кВА и выше, если токовая отсечка не обеспечивает необходимой чувствительности, максимальная токовая защита имеет выдержку времени более 0,5 с и отсутствует газовая защита, предусматривается продольная дифференциальная защита с циркулирующими токами, действующая на отключение выключателей силового трансформатора без выдержки времени.

Особенностью дифференциальной защиты трансформаторов по сравнению с дифференциальной защиты, линий и т. л. является неравенство первичных токов разных обмоток трансформатора и их несовпадение в общем случае по фазе.

Если не предусматривается продольная дифференциальная защита (как правило, на одиночно работающих трансформаторах мощностью ниже 6300 кВА и параллельно работающих трансформаторах мощностью ниже 4000 кВА), то в этих случаях со стороны источника питания устанавливается токовая отсечка без выдержки времени, охватывающая часть обмотки трансформатора.

На рабочих и резервных трансформаторах собственных нужд тепловых электростанций применяется продольная дифференциальная защита, при мощности 4000 кВА допускается токовая отсечка.

Для дифференциальной защиты одной фазы трансформаторов используются реле тока ДЗТ-11, ДЗТ-11/2, ДЗТ-11/3, ДЗТ-11/4. Реле тока имеют по одной тормозной обмотке, чем обеспечивается торможение от одной группы

измерительных трансформаторов тока. Принципиальная схема ДЗТ-11 изображена на рисунке 5.

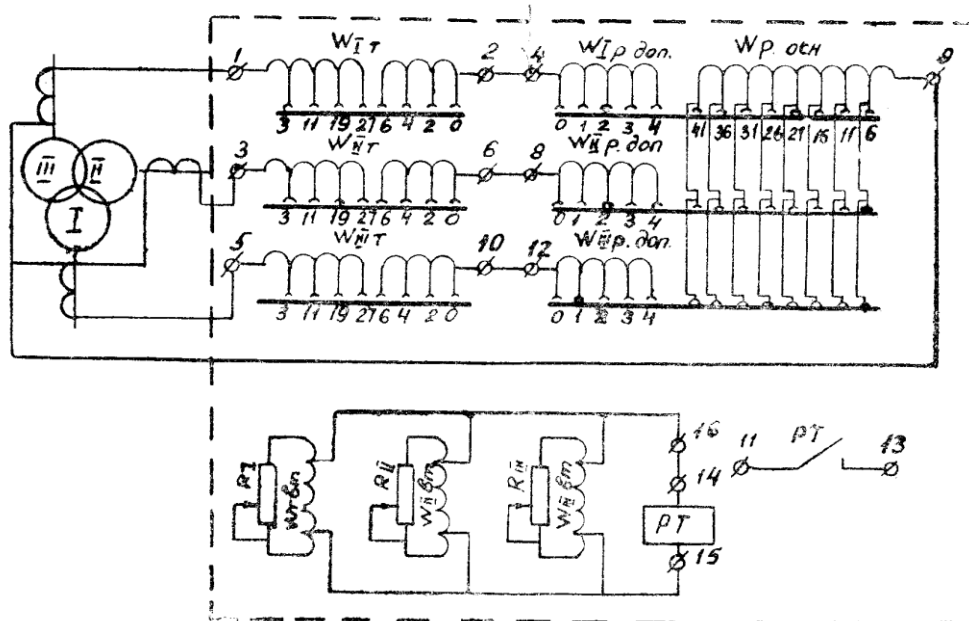


Рисунок 5 - Принципиальная схема включения реле ДЗТ-11(13)

Для защиты от внутренних повреждений (витковых замыканий в обмотках, сопровождающихся выделением газа) и от понижения уровня масла на трансформаторах мощностью 6300 кВА и выше, а также на трансформаторах мощностью 1000 - 4000 кВА, не имеющих дифференциальной защиты или отсечки, и если максимальная токовая защита имеет выдержку времени 1 с и более, применяется газовая защита с действием на сигнал при слабых и на отключение при интенсивных газообразованиях. Применение газовой защиты является обязательным на внутрицеховых трансформаторах мощностью 630 кВА и выше независимо от наличия других быстродействующих защит.

Газовая защита устанавливается на трансформаторах, автотрансформаторах и реакторах с масляным охлаждением, имеющих расширители, и осуществляется с помощью поплавковых, лопастных и чашечных газовых реле. Газовая защита является единственной защитой трансформаторов от «пожара стали» магнитопровода, возникающего при нарушении изоляции между листами стали.

Допускается действие газовой защиты на сигнал как при слабом, так и при сильном газообразовании на трансформаторах, имеющих дифференциальную защиту или отсечку, не имеющих выключателей, а также на внутрицеховых мощностью 1600 кВА и меньше при наличии защиты от коротких замыканий со стороны источника питания.

Для защиты от однофазных замыканий на землю повышающих трансформаторов мощностью 1000 кВА и более, присоединенных к сетям с большими токами замыкания на землю, а также на понижающих трансформаторах с заземленной нейтралью предусматривается максимальная токовая защита нулевой последовательности от токов внешних замыканий на землю, действующая на отключение.

13 ЗАЗЕМЛЕНИЕ

13.1 Заземление КТП 10/0,4

Заземление – это комплекс мероприятий, по соединению различных частей электрооборудования с землей. Заземление бывает рабочим, т.е. необходимым для обеспечения нормальной работы электроустановок (например, заземление нейтрали трансформатора), и защитным, т.е. служащим для предотвращения поражения людей электрическим током. Защитное заземление снижет напряжение прикосновения за счет стекания потенциала в землю. Заземление как защитная мера выполняется в электроустановках как до 1000 В, так и выше.

На практике достаточно сложно учесть все условия и точно рассчитать необходимое сопротивление заземлителя, часто измерения сопротивления уже после установки отличаются от расчетных. Именно поэтому при проектировании заземления электроустановок пользуются ПУЭ, где даны точные указания о величине сопротивления и проведении необходимых мероприятий.

В данной работе необходимо выбрать размеры и форму заземлителя для новой комплектной трансформаторной подстанции и рассчитать его сопротивление.

Согласно ПУЭ, «вокруг площади, занимаемой подстанцией, на глубине не менее 0,5 м и на расстоянии не более 1 м от края фундамента здания подстанции или от края фундамента открытого установленного оборудования должен быть проложен замкнутый горизонтальный заземлитель (контур), присоединенный к заземляющему устройству [7]».

Сопротивление заземлителя – важная величина, от которой зависит эффективность работы заземляющего устройства. Чем сопротивление меньше, тем меньше напряжение прикосновения на корпусе электроустановки.

Так как заземляющее устройство КТП будет одновременно использоваться для защиты сетей выше 1 кВ с изолированной нейтралью и до

1 кВ с глухозаземленной нейтралью, то сопротивление заземлителя, согласно ПУЭ, должно быть не больше 4 Ом (при условии, что удельное сопротивление земли не больше 100 Ом*м) [5].

Расположим контур на глубине 0,7 м.

Для вертикальных заземлителей выбираем угловую сталь размерами 50*50 длиной 3 м.

В качестве горизонтального заземлителя примем полосовую сталь 4*40.

Сопротивление одиночного вертикального заземлителя определяется по формуле:

$$R_{\text{верт}} = 0,036 \cdot \frac{\rho}{L} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot L}{d} + 0,5 \cdot \lg \frac{4t + L}{4t - L} \right) \quad (70)$$

Где ρ - удельное сопротивление грунта, Ом*м;

L - длина заземлителя, м;

t - расстояние от поверхности земли до середины стержня, м;

d - диаметр принимаемого заземлителя, м.

Если в качестве заземлителя используется не круглая сталь, а угловая, то диаметр можно посчитать по формуле:

$$d = 0,95 \cdot b \quad (71)$$

где b - ширина стенки уголка, м.

$$d = 0,95 \cdot 0,05 = 0,0475$$

Расстояние от поверхности земли до середины стержня можно посчитать:

$$t = \frac{L}{2} + t_{\text{гор}} \quad (72)$$

$$t = \frac{3}{2} + 0,7 = 1,5 + 0,7 = 2,2 \text{ м}$$

$$R_{\text{верт}} = 0,036 \cdot \frac{100}{3} \left(\lg \frac{2 \cdot 3}{0,047} + 0,5 \cdot \lg \frac{4 \cdot 2,2 + 3}{4 \cdot 2,2 - 3} \right) = 8,6 \text{ Ом}$$

Формула для расчета сопротивления одиночного горизонтального заземлителя:

$$R_{\text{гор}} = 0,036 \cdot \frac{\rho}{L_{\text{гор}}} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot L_{\text{гор}}^2}{b \cdot t} \right), \quad (73)$$

где b - ширина полосы, м;

$t_{\text{гор}}$ - глубина заложения, м;

$L_{\text{гор}}$ - длина горизонтального заземлителя, м.

Длина горизонтального заземлителя равна периметру заземляющего устройства:

$$P = 2 \cdot ((a + 2) + (b + 2)) \quad (74)$$

Где a и b - длина и ширина устанавливаемой КТП. Согласно проекту завода-изготовителя: $a=4,92$ м, $b=4,97$ м.

$$P = 2 \cdot ((4,92 + 2) + (4,97 + 2)) = 27,78 \text{ м}$$

$$R_{\text{гор}} = 0,036 \cdot \frac{100}{27,78} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 27,78^2}{0,04 \cdot 0,7} \right) = 4,24 \text{ Ом}$$

Рассчитаем ориентировочное число вертикальных электродов:

$$n = \frac{R_{\text{верт}}}{R_3 \cdot k_г} \quad (75)$$

R_3 - требуемое сопротивление заземлителя, Ом;

$k_г$ - коэффициент экранирования.

$$n = \frac{8,6}{4 \cdot 0,65} = 4$$

Определим сопротивление всей горизонтальной полосы:

$$R_{\text{гор.пол.}} = \frac{R_{\text{гор}}}{k_{\text{гор}}} \quad (76)$$

$$R_{\text{гор.пол.}} = \frac{4,24}{0,45} = 9,4$$

Сопротивление вертикальных заземлителей необходимо уточнить с учетом сопротивления горизонтальных заземлителей:

$$R'_{\text{верт}} = \frac{(R_{\text{гор}} \cdot R_3)}{(R_{\text{гор}} - R_3)} \quad (77)$$

$$R'_{\text{верт}} = \frac{(9,4 \cdot 4)}{(9,4 - 4)} = 6,9$$

Пересчитаем число вертикальных стержней с учетом соединительной полосы:

$$n' = \frac{8,6}{6,9 \cdot 0,65} = 4,$$

Действительное сопротивление вертикальных заземлителей:

$$R_{\text{верт.д}} = \frac{R_{\text{верт}}}{n' \cdot k_e} \quad (78)$$

$$R_{\text{верт.д}} = \frac{8,6}{4 \cdot 0,65} = 6,6 \text{ Ом}$$

Сопротивление всего заземляющего контура рассчитает по формуле:

$$R_{3.д} = \frac{R_{\text{верт.д}} \cdot R_{\text{гор.пол}}}{R_{\text{верт.д}} + R_{\text{гор.пол}}} \quad (79)$$

$$R_{3.д} = \frac{6,6 \cdot 9,4}{6,6 + 9,4} = 3,87$$

Рассчитанное сопротивление не превышает допустимого значения 4 Ом.

$$R_{3.д} \leq R_3$$

Для остальных КТП сопротивление заземлителя рассчитывается аналогично.

Помимо внешнего контура заземления в помещениях КТП и РП также выполняется внутренний контур, к которому подключают все металлические части электроустановок не находящиеся под напряжением в нормальном режиме работы. Полоса внутреннего контура должна крепиться вдоль стен на высоте минимум 0,4 м от пола

14 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

14.1 Техничко-экономическое сравнение двух вариантов сети

Трансформаторные подстанции являются одним из самых дорогостоящих элементов системы электроснабжения, поэтому выбор оптимального числа и мощности трансформаторов осуществляется в результате технико-экономического сравнения.

Техничко-экономическое сравнение заключается в расчете минимума приведенных затрат. Приведенные затраты – это показатель который характеризует экономическую эффективность вложенных в строительство средств. Приведенные затраты будут включать в себя:

1. капиталовложения в покупку самих трансформаторов и в стоимость строительных работ;
2. издержки на амортизационные отчисления, на ремонт, обслуживание и на передачу электроэнергии.

Капиталовложения – это денежные средства, затрачиваемые на строительство новых объектов. Для наших вариантов сети найдем капиталовложения по формуле:

$$K_{\Sigma TP} = K_{TP} + K_{CMP} + K_{PP} , \quad (80)$$

где K_{TP} - это стоимость трансформаторов;

K_{CMP} - капиталовложения в строительные работы (50%);

K_{PP} - прочие затраты, которые составляют 5% от общих капиталовложений.

Средняя стоимость комплектных трансформаторных подстанций представлена в таблице 21:

Таблица 21 – Средняя стоимость КТП 10/0,4

2 КТП-400 10/0,4	2 КТП-630 10/0,4	2КТП-1000 10/0,4	2КТП-1600 10/0,4
455000 руб	475000руб	495000 руб	592896 руб

Рассчитаем капиталовложения для двух вариантов сети:

$$K_{TP1} = 3 \cdot 455000 + 4 \cdot 592896 = 3736584 \text{ руб};$$

$$K_{TP2} = 2 \cdot 455000 + 1 \cdot 495000 + 1 \cdot 592896 + 5 \cdot 475000 = 4141196 \text{ руб};$$

$$K_{\Sigma TP1} = 3736584 + 0,5 \cdot 3736584 + 0,05 \cdot 3736584 = 5791705,2 \text{ руб};$$

$$K_{\Sigma TP2} = 4141196 + 0,5 \cdot 4141196 + 0,05 \cdot 4141196 = 6418853,8 \text{ руб}.$$

Издержки – это затраты, обусловленные расходом разных видов экономических ресурсов в процессе производства и обращения продукции.

Издержки представляют собой затраты на ремонт и техническое обслуживание проектируемых объектов.

Амортизационные издержки – это часть стоимости основных фондов, которые переводятся ежегодно для возмещения их износа:

$$I_{ам} = K_{\Sigma TP} \cdot \alpha_{ам} \quad (81)$$

где $K_{\Sigma TP}$ - это суммарные капитальные вложения, руб;

$\alpha_{ам}$ - нормы амортизационных отчислений (о.е.), которые определяются по формуле, если известен срок службы оборудования:

$$\alpha_{ам} = \frac{1}{T_{СЛ}} \quad (82)$$

Издержки на ремонт и техническое обслуживание можно рассчитать:

$$I_{экс} = K_{\Sigma TP} \cdot \alpha_{экс} \quad (83)$$

где $\alpha_{экс}$ - нормы отчислений на обслуживание трансформаторов, о.е.;

Рассчитаем издержки для двух вариантов сети:

$$I_{ам1} = \frac{5791705,2}{20} = 289585,26 \text{ руб}$$

$$I_{ам2} = \frac{6418853,8}{20} = 320942,7 \text{ руб}$$

$$I_{экс1} = 289585,26 \cdot 0,037 = 10714,6546 \text{ руб}$$

$$I_{экс2} = 320942,7 \cdot 0,037 = 11874,9 \text{ руб}$$

Еще один вид издержек – затраты на потерю электроэнергии, которые состоят из величины потерь и их стоимости.

Расчет потерь для трансформаторов выполнен в программе Mathcad 15 (Приложение А), расчеты сведены в таблицу 12.

Стоимость потерь электроэнергии в трансформаторах рассчитывается:

$$I_{\Delta W-1} = \Delta W_{TP-1} \cdot C_{\Delta W} \quad (84)$$

где $C_{\Delta W}$ - стоимость потерь электроэнергии, руб (1,6 руб/кВт*ч)

$$I_{\Delta W-1} = 1090910 \cdot 1,6 = 1745456 \text{ руб}$$

$$I_{\Delta W-2} = 1010000 \cdot 1,6 = 1616000 \text{ руб}$$

Рассчитаем суммарные издержки:

$$I = I_{ам} + I_{экс} + I_{\Delta W} \quad (85)$$

$$I_1 = 289585,26 + 10714,6546 + 1745456 = 2045755,9 \text{ руб}$$

$$I_2 = 320942,7 + 11874,9 + 1616000 = 1948817,6 \text{ руб}$$

Определим приведенные затраты на сооружение 1 и 2 варианта сети по формуле:

$$Z = E \cdot K + I \quad (86)$$

где E – норматив дисконтирования ($E = 0,1$);

$$Z_1 = 0,1 \cdot 2045755,9 + 5791705,2 = 5996280,8 \text{ руб}$$

$$Z_2 = 0,1 \cdot 1948817,6 + 6418853,8 = 6124732,7 \text{ руб}$$

Посчитаем разницу:

$$\delta = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2} \cdot 100 \%, \quad (87)$$

$$\delta = \frac{6124732,7 - 5996280,8}{6124732,7} \cdot 100 \% = 2,09\%$$

Так как разница между затратами составляет меньше 5% можно считать эти варианты равноценными и сделать выбор основываясь на технических основаниях.

15 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ

15.1 Безопасность

При реконструкции КЛ и монтаже новых проводов КЛ должны соблюдаться требования государственных нормативных документов и локальных документов монтажных организаций:

1. Инструкций по охране труда для каждой профессии на отдельные виды работ.
2. Правил безопасности при строительстве линий электропередачи и производстве электромонтажных работ.
3. Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов.
4. Межотраслевых правил по охране труда при погрузочно-разгрузочных работах и размещении грузов.
5. Инструктивные указания по технике безопасности при ремонтно-строительных работах вблизи действующего энергетического оборудования предприятий.
6. Инструкция по организации и производству работ повышенной опасности.

15.2 Техника безопасности при эксплуатации электроустановок.

При работе в электроустановках напряжением до 1000 В, к которым относятся и системы безопасности, без снятия напряжения на токоведущих частях и вблизи них необходимо:

- оградить расположенные вблизи рабочего места другие токоведущие части электроустановки, находящиеся под напряжением, к которым возможно случайное прикосновение;
- работать в диэлектрических галошах или стоя на изолирующей подставке либо на диэлектрическом коврике;

- применять инструмент с изолирующими рукоятками (у отверток, кроме того, должен быть изолирован стержень). При отсутствии такого инструмента пользоваться диэлектрическими перчатками;

- работать в головном уборе и в одежде с рукавами, застегнутыми или завязанными тесемками у кистей рук.

При производстве работ без снятия напряжения на токоведущих частях с помощью изолирующих средств защиты необходимо:

- держать изолирующие части средств защиты за ручки-захваты до ограничительного кольца;

- располагать изолирующие части средств защиты так, чтобы не возникла опасность перекрытия по поверхности изоляции между токоведущими частями двух фаз или замыкания на землю;

- пользоваться только сухими и чистыми изолирующими частями средств защиты с неповрежденным лаковым покрытием.

При работе с применением электрозщитных средств (изолирующие штанги и клещи, электроизмерительные клещи, указатели напряжения) допускается приближение человека к ток сведущим частям на расстояние, определяемое длиной изолирующей части этих средств.

Без применения электрозщитных средств запрещается прикасаться к изоляторам электроустановки, находящейся под напряжением.

15.3 Экологичность

Персонал, обслуживающий трансформаторную подстанцию, обязан делать обходы с целью осмотра оборудования. Так как на ТП устанавливаются трансформаторы, являющиеся источниками механического шума, то нам необходимо провести расчет шума, производимого этими трансформаторами.

Для примера проведем расчеты для трансформаторной подстанции №1.

На ТП устанавливаются 2 трансформатора ТМ-400/10.

Корректированный уровень звуковой мощности трансформатора с естественной циркуляцией воздуха масла (системы охлаждения вида М) равен:

$L_{WA\Sigma} = 73$ дБА [11]. Так как на ТП установлены два трансформатора, примем поправку: $L_{WA\Sigma} = 73 + 3 = 76$ дБА.

Проведем расчет шума трансформаторов на расстоянии $R = 17$ м, так как именно на этом расстоянии находится ближайшее жилое здание.

$$L_a = L_{pa} - 10 \cdot \lg(2 \cdot \pi \cdot R^2), \quad (88)$$

$$L_a = 76 - 10 \cdot \lg(2 \cdot 3,14 \cdot 17^2) = 43,41 \text{ дБА.}$$

Принимаем допустимый уровень шума в зависимости от территории и времени суток (жилые комнаты квартир, жилые помещения домов отдыха с 23.00 до 7.00 ч.) $L_A = 45$ дБА [11].

Определяем минимальное расстояние, на котором трансформаторная подстанция должна находиться от границы территории жилой застройки, на которой выполняется санитарно-гигиенические требования по шуму.

Определяем по формуле [11]:

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{10^{0,1(L_{WA\Sigma} - L_A)}}{2 \cdot \pi}}, \quad (89)$$

В результате расчета:

$$r_{\min} = \sqrt{\frac{10^{0,1(76-45)}}{2 \cdot 3,14}} = 14,2 \text{ м.}$$

Вывод: В результате расчетов, получено минимальное расстояние от трансформаторной подстанции до территории жилой застройки равно 14,2 м.

Поскольку расстояние от ТП1 до территории жилой застройки составляет 17 м, то санитарно-гигиенические требования по шуму выполняются.

Б.2 Отвод земель под ТП

Площадь земельных участков трансформаторных подстанций 10/0,4 приведена в таблице 22.

Таблица 22 - Площадь трансформаторных подстанций

Номер ТП	Мощность трансформатора, кВА	Количество трансформаторов, штук.	Площадь отводимая под ТП, м ²
1	2	3	4
ТП1	400	2	13
ТП2	630	2	15
ТП3	400	2	13
ТП4	630	2	15
ТП5	1600	2	19
ТП6	1000	2	17
ТП7	630	2	15
ТП8	630	2	15
ТП9	630	2	15

В результате модернизации системы электроснабжения жилого района определено следующее количество ТП: 2 ТП мощностью 400 кВА, 5 ТП мощностью 630 кВА, 1 ТП мощностью 1000 кВА, 1 ТП мощностью 1600 кВА, все ТП являются двух трансформаторными. Таким образом, под них отводится:

- для ТП с трансформаторами по 400 кВА;

$$S=2 \cdot 13=36 \text{ м}^2,$$

- для ТП с трансформаторами по 630 кВА:

$$S=5 \cdot 15=75 \text{ м}^2,$$

- для ТП с трансформаторами по 1000 кВА:

$$S=1 \cdot 17=17 \text{ м}^2.$$

- для ТП с трансформаторами по 1600 кВА:

$$S=1 \cdot 19=19 \text{ м}^2.$$

Суммарная площадь земельных участков отводимая под все ТП составляет 147 м².

15.4 Чрезвычайные ситуации

В рамках выпускной квалификационной работы, в г. Владивостоке устанавливаем ТП 10/0,4 кВ. Одной из наиболее опасной чрезвычайной ситуацией в процессе эксплуатации является возникновение пожара на трансформаторных подстанциях, вводах и в электропроводке зданий и сооружений, что в свою очередь может привести к пожару кабельных линий, взрыву трансформаторов тока, разрушению выключателей и т.д.

Порядок действий при получении звонка на диспетчерский пункт от очевидца возгорания трансформаторной подстанции:

1. Дежурный диспетчер должен немедленно сообщить начальнику смены энергообъекта или руководству энергопредприятия, оперативно выездной бригаде, а также в пожарную охрану (МЧС России);

2. Дежурный электромонтер ОВБ должен аварийно отключить напряжение (разъединитель 10 кВ соответствующей ячейки);

3. До прибытия подразделений МЧС России руководителем тушения пожара является дежурный электромонтер ОВБ, который обязан организовать:

- удаление с места пожара всех посторонних лиц;
- установление места возникновения пожара, возможные пути его распространения и образования новых очагов горения (тления);
- выполнение подготовительных работ с целью обеспечения эффективно-

го тушения пожара;

4. Перед началом тушения пожара необходимо убедиться в отсутствии напряжения;

5. Принять меры по ликвидации пожара средствами пожаротушения.

Для ликвидации огня необходимо применять углекислотные, порошковые или хладонов огнетушители. Не допускается тушение пенными огнетушителями. Пожары на оборудовании, находящемся под напряжением до 0,4 кВ, допускается тушить распыленными струями воды, подаваемой из ручных пожарных стволов с расстояния не менее 5 метров. Тушение компактными струями воды не допускается.

При тушении электроустановок распыленными струями воды личный состав подразделений пожарной охраны МЧС России и персонал энергопредприятия обязан выполнять следующие требования:

- работать со средствами пожаротушения в диэлектрических перчатках и ботах (сапогах), а при задымлении - в средствах индивидуальной защиты органов дыхания;

- находиться на безопасном расстоянии до электроустановок;

Личному составу подразделений МЧС России и персоналу запрещается:

- самостоятельно производить какие-либо отключения и прочие операции с электрооборудованием;

- осуществлять тушение пожара в сильно задымленных помещениях с видимостью менее 5 метров;

6. Дежурный электромонтер должен произвести записи в оперативных журналах;

7. Запрещается включать электроустановку до расследования причины возгорания и производства ремонтных работ [11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы, темой которой является проектирование внутренней системы электроснабжения жилого района г. Владивосток, были выполнены все поставленные задачи.

Был произведен расчет электрических нагрузок на стороне низкого напряжения комплектных трансформаторных подстанций районных электрических сетей, выбор числа и мощности ТП, выбор сечений кабельных линий электропередачи, и выбор оборудования на ТП.

Устройства релейной защиты и автоматики, выбранные для защиты линий 10 кВ и силовых трансформаторов, обеспечивают надежность и безопасность эксплуатации. Так же для обеспечения безопасности при эксплуатации КТП было спроектировано защитное заземление, который надежно защищает от повреждений электрическим током.

Все проведенные расчеты соответствуют общепринятым методикам, применяемым на практике, и подкреплены выдержками из нормативно-технической документации.

Не смотря на это, выполненный мною проект системы электроснабжения города не является образцом проектирования по сравнению с проектами специализированных организаций что связано с ограниченностью опыта как проектирования так и эксплуатации. Но выполнение таких проектов даже в учебных целях дает серьезное подкрепление и упорядочение имеющихся и вновь полученных знаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Конюхова, Е.А. Электроснабжение объектов./Е.А. Конюхова – М.: Изд-во «Мастерство», 2002. – 320 с.
- 2 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбор электрооборудования: РД 153-34.0–20.527-98: 1998, – 86 с.
3. Мясоедов, Ю.В. Электроснабжение городов: Методические указания к курсовому проектированию / сост.: Ю.В. Мясоедов – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2013. -100 с.
4. Кабышев, А.В. Расчет и проектирование систем электроснабжения: Справочные материалы по электрооборудованию: Учеб.пособие / А.В. Кабышев, С.Г. Обухов – Томск: Том.политех.ун-т, 2005. – 168 с.
5. Шабат, М.А. Защита трансформаторов 10 кВ / М.А. Шабат – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 144 с.
6. Иманов, Г.М. Методика выбора нелинейных ограничителей, необходимых для защиты изоляции сетей низкого, среднего, высокого и сверхвысокого напряжения трехфазного переменного тока / Г.М. Иманов, Ф.Х. Халилов, А.И. Таджикибаев – Санкт - Петербург: Изд-во ПЭИПК, 2004. – 31 с.
7. Правила электроустановок (шестое и седьмое издание): ПУЭ. – Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2011. – 465 с.
8. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учебник для вузов / В.А. Андреев – 6-е изд., стер. – М.: «Высшая школа», 2008. – 639 с.
9. Савина, Н.В. Теория надежности в электроэнергетике: Учебное пособие / Н.В. Савина - Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2006. -106 с.
10. Судаков, Г.В. Оценка экономической эффективности проектов по строительству, реконструкции и модернизации систем электроснабжения объектов: Учебное пособие / Г.В. Судаков – Благовещенск: АмГУ, 2006.–189 с.

11. Булгаков, А.Б. Безопасность жизнедеятельности: Методические указания к практическим занятиям / А.Б. Булгаков – Благовещенск.: Изд-во АмГУ, 2014. - 100 с.
12. Барыбин, Ю.Г. Справочник по проектированию электроснабжения /Под ред. Ю. Г. Барыбина и др.- М.: Энергоатомиздат, 1990 – 576 с.
13. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов / Е.А. Конюхова. – М. : «Мастерство», – 2010. – 320 с.
14. Кабышев А.В. Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий: учебное пособие / А.В. Кабышев; - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012 – 234с.
15. Козлов В.А. Электроснабжение городов. Изд. 2-е переработанное / В.А. Козлов; Изд-во Энергия, 1977 – 280с.
16. Экология и экономика природопользования. Бобылев С.Н., Новоселов А.Л., Гирусов Э.В. и др. Учебник. Изд. 2-е, перераб., 2002 г.
17. Кужеков С.Л. Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию / С.Л. Кужеков, С.В. Гончаров – издание 4-е, допол. и перераб. – Ростов н/Д.: Феникс, 2010-492 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

Жилые дома

$$P_{кв_{ж\bar{д}.1}} := 3.3 \cdot 36 = 118.8$$

$$P_{кв_{ж\bar{д}.3}} := 1.95 \cdot 72 = 140.4$$

$$P_{л_{ж\bar{д}.3}} := 0.7 \cdot 1 \cdot 4 = 2.8$$

$$P_{ст_{ж\bar{д}.1}} := 0.7 \cdot 3 \cdot 5 = 10.5$$

$$P_{ст_{ж\bar{д}.3}} := 0.7 \cdot 4 \cdot 5 = 14$$

$$P_{с_{ж\bar{д}.1}} := P_{ст_{ж\bar{д}.1}} = 10.5$$

$$P_{с_{ж\bar{д}.3}} := P_{л_{ж\bar{д}.3}} + P_{ст_{ж\bar{д}.3}} = 16.8$$

$$P_{ж\bar{д}.1} := P_{кв_{ж\bar{д}.1}} + 0.9 \cdot P_{с_{ж\bar{д}.1}} = 128.25$$

$$P_{ж\bar{д}.3} := P_{кв_{ж\bar{д}.3}} + 0.9 \cdot P_{с_{ж\bar{д}.3}} = 155.52$$

$$tg_{л_{ж\bar{д}}} := 1.17? \quad tg_{ст_{ж\bar{д}}} := 0.75$$

$$Q_{ст_{ж\bar{д}.1}} := P_{ст_{ж\bar{д}.1}} \cdot tg_{ст_{ж\bar{д}}} = 7.875$$

$$Q_{ст_{ж\bar{д}.3}} := P_{ст_{ж\bar{д}.3}} \cdot tg_{ст_{ж\bar{д}}} = 10.5$$

$$Q_{л_{ж\bar{д}.3}} := P_{л_{ж\bar{д}.3}} \cdot tg_{л_{ж\bar{д}}} = 3.276$$

$$Q_{кв_{ж\bar{д}.1}} := P_{кв_{ж\bar{д}.1}} \cdot tg_{кв_{ж\bar{д}}} = 23.76$$

$$Q_{кв_{ж\bar{д}.3}} := P_{кв_{ж\bar{д}.3}} \cdot tg_{кв_{ж\bar{д}}} = 28.08$$

$$Q_{ж\bar{д}.1} := P_{кв_{ж\bar{д}.1}} \cdot tg_{кв_{ж\bar{д}}} + P_{ст_{ж\bar{д}.1}} \cdot tg_{ст_{ж\bar{д}}} = 31.635$$

$$Q_{ж\bar{д}.3} := P_{кв_{ж\bar{д}.3}} \cdot tg_{кв_{ж\bar{д}}} + P_{ст_{ж\bar{д}.3}} \cdot tg_{ст_{ж\bar{д}}} + P_{л_{ж\bar{д}.3}} \cdot tg_{л_{ж\bar{д}}} = 41.856$$

$$tg_{ж\bar{д}.1} := \frac{P_{ж\bar{д}.1}}{Q_{ж\bar{д}.1}} = 4.054 \quad tg_{ж\bar{д}.3} := \frac{P_{ж\bar{д}.3}}{Q_{ж\bar{д}.3}} = 3.716$$

$$S_{ж\bar{д}.1} := \sqrt{(P_{ж\bar{д}.1})^2 + (Q_{ж\bar{д}.1})^2} = 132.094$$

$$S_{ж\bar{д}.3} := \sqrt{(P_{ж\bar{д}.3})^2 + (Q_{ж\bar{д}.3})^2} = 161.054$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

Жилые дома и кафе

$$P_{кв_{ж\bar{d}.2}} := 1.95 \cdot 69 = 134.55$$

$$Q_{кв_{ж\bar{d}.2}} := P_{кв_{ж\bar{d}.2}} \cdot tg_{кв_{ж\bar{d}}} = 26.91$$

$$P_{л_{ж\bar{d}.2}} := 0.7 \cdot 1 \cdot 4 = 2.8$$

$$Q_{л_{ж\bar{d}.2}} := P_{л_{ж\bar{d}.2}} \cdot tg_{л_{ж\bar{d}}} = 3.276$$

$$P_{сту_{ж\bar{d}.2}} := 0.7 \cdot 4 \cdot 5 = 14$$

$$Q_{сту_{ж\bar{d}.2}} := P_{сту_{ж\bar{d}.2}} \cdot tg_{сту_{ж\bar{d}}} = 10.5$$

$$P_{с_{ж\bar{d}.2}} := P_{л_{ж\bar{d}.2}} + P_{сту_{ж\bar{d}.2}} = 16.8$$

$$P_{ж\bar{d}.2} := P_{кв_{ж\bar{d}.2}} + 0.9 \cdot P_{с_{ж\bar{d}.2}} = 149.67$$

$$P_{к_{ж\bar{d}.2}} := 1.04 \cdot 150 = 156$$

$$P_{к_{ж\bar{d}.4}} := 1.04 \cdot 100 = 104$$

$$Q_{к_{ж\bar{d}.2}} := P_{к_{ж\bar{d}.2}} \cdot tg_{к} = 152.88$$

$$P_{ж\bar{d}.к2} := P_{ж\bar{d}.2} + 0.7 \cdot P_{к_{ж\bar{d}.2}} = 258.87$$

$$Q_{ж\bar{d}.к2} := P_{кв_{ж\bar{d}.2}} \cdot tg_{кв_{ж\bar{d}}} + P_{л_{ж\bar{d}.2}} \cdot tg_{л_{ж\bar{d}}} + P_{сту_{ж\bar{d}.2}} \cdot tg_{сту_{ж\bar{d}}} + P_{к_{ж\bar{d}.2}} \cdot tg_{к} = 193.566$$

$$tg_{ж\bar{d}.2} := \frac{P_{ж\bar{d}.к2}}{Q_{ж\bar{d}.к2}} = 1.337$$

$$S_{ж\bar{d}.2} := \sqrt{(P_{ж\bar{d}.к2})^2 + (Q_{ж\bar{d}.к2})^2} = 323.236$$

Жилые дома, магазины, ясли

$$P_{кв_{ж\bar{d}.5}} := 1.83 \cdot 270 = 494.1$$

$$P_{кв_{ж\bar{d}.6}} := 1.83 \cdot 324 = 592.92$$

$$P_{л_{ж\bar{d}.5}} := 0.7 \cdot (5 \cdot 2 + 5 \cdot 1) = 10.5$$

$$P_{л_{ж\bar{d}.6}} := 0.7 \cdot (6 \cdot 2 + 6 \cdot 1) = 12.6$$

$$P_{сту_{ж\bar{d}.5}} := 0.7 \cdot 5 \cdot 5 = 17.5$$

$$P_{сту_{ж\bar{d}.6}} := 0.7 \cdot 6 \cdot 5 = 21$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$P_{сжд.5} := P_{лжд.5} + P_{стужд.5} = 28$$

$$P_{сжд.6} := P_{лжд.6} + P_{стужд.6} = 33.6$$

$$P_{жд.5} := P_{квжд.5} + 0.9 \cdot P_{сжд.5} = 519.3$$

$$P_{жд.6} := P_{квжд.6} + 0.9 \cdot P_{сжд.6} = 623.16$$

$$Q_{стужд.5} := P_{стужд.5} \cdot tg_{стужд} = 13.125$$

$$Q_{стужд.6} := P_{стужд.6} \cdot tg_{стужд} = 15.75$$

$$Q_{лжд.5} := P_{лжд.5} \cdot tg_{лжд} = 12.285$$

$$Q_{лжд.6} := P_{лжд.6} \cdot tg_{лжд} = 14.742$$

$$Q_{квжд.5} := P_{квжд.5} \cdot tg_{квжд} = 98.82$$

$$Q_{квжд.6} := P_{квжд.6} \cdot tg_{квжд} = 118.584$$

$$tg_m := 0.8 \quad tg_{дем} := 0.97$$

$$P_{мжд.5} := 0.25 \cdot 325 = 81.25$$

$$P_{мжд.6} := 0.16 \cdot 915 = 146.4$$

$$P_{демжд.5} := 0.46 \cdot 300 = 138$$

$$P_{демжд.6} := 0.46 \cdot 400 = 184$$

$$Q_{мжд.5} := P_{мжд.5} \cdot tg_m = 65$$

$$Q_{демжд.5} := P_{демжд.5} \cdot tg_{дем} = 133.86$$

$$Q_{мжд.6} := P_{мжд.6} \cdot tg_m = 117.12$$

$$Q_{демжд.6} := P_{демжд.6} \cdot tg_{дем} = 178.48$$

$$Q_{жд.5} := \left(P_{квжд.5} \cdot tg_{квжд} + P_{стужд.5} \cdot tg_{стужд} + P_{лжд.5} \cdot tg_{лжд} \dots \right) + P_{мжд.5} \cdot tg_m = 323.09$$

$$\left(+ P_{демжд.5} \cdot tg_{дем} \right)$$

$$Q_{жд.6} := \left(P_{квжд.6} \cdot tg_{квжд} + P_{стужд.6} \cdot tg_{стужд} + P_{лжд.6} \cdot tg_{лжд} \dots \right) + P_{мжд.6} \cdot tg_m = 444.676$$

$$\left(+ tg_{дем} \cdot P_{демжд.6} \right)$$

$$P_{жд.мд5} := P_{жд.5} + 0.6 \cdot P_{мжд.5} + 0.4 \cdot P_{демжд.5} = 623.25$$

$$P_{жд.мд6} := P_{жд.6} + 0.6 \cdot P_{мжд.6} + 0.4 \cdot P_{демжд.6} = 784.6$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\operatorname{tg}\delta_5 := \frac{P_{\text{ж}\delta_{\text{м}\delta 5}}}{Q_{\text{ж}\delta 5}} = 1.929$$

$$S_{\text{ж}\delta 5} := \sqrt{(P_{\text{ж}\delta_{\text{м}\delta 5}})^2 + (Q_{\text{ж}\delta 5})^2} = 702.017$$

$$S_{\text{ж}\delta 6} := \sqrt{(P_{\text{ж}\delta_{\text{м}\delta 6}})^2 + (Q_{\text{ж}\delta 6})^2} = 901.85$$

Гостиница

$$\operatorname{tg}z := 0.85$$

$$P_z := 0.46 \cdot 245 = 112.7$$

$$Q_z := P_z \cdot \operatorname{tg}z = 95.795$$

$$S_z := \sqrt{(P_z)^2 + (Q_z)^2} = 147.912$$

Церковь

$$\operatorname{tg}u := 0.9$$

$$P_u := 0.043 \cdot 100 = 4.3$$

$$Q_u := P_u \cdot \operatorname{tg}u = 3.87$$

$$S_u := \sqrt{(P_u)^2 + (Q_u)^2} = 5.785$$

Училище

$$\operatorname{tg}y := 0.8$$

$$P_{y7} := 0.46 \cdot 400 = 184$$

$$P_{y12} := 0.46 \cdot 400 = 184$$

$$P_{y14} := 0.46 \cdot 150 = 69$$

$$Q_{y7} := P_{y7} \cdot \operatorname{tg}y = 147.2$$

$$Q_{y12} := P_{y12} \cdot \operatorname{tg}y = 147.2$$

$$Q_{y14} := P_{y14} \cdot \operatorname{tg}y = 55.2$$

$$S_{y7} := \sqrt{(P_{y7})^2 + (Q_{y7})^2} = 235.635$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$S_{y12} := \sqrt{(P_{y12})^2 + (Q_{y12})^2} = 235.635$$

$$S_{y14} := \sqrt{(P_{y14})^2 + (Q_{y14})^2} = 88.363$$

Управления

$$tg_{yn} := 0.87$$

$$P_{yn10} := 0.054 \cdot 250 = 13.5$$

$$P_{yn11} := 0.054 \cdot 250 = 13.5$$

$$P_{yn13} := 0.054 \cdot 100 = 5.4$$

$$P_{yn15} := 0.054 \cdot 200 = 10.8$$

$$Q_{yn10} := P_{yn10} \cdot tg_{yn} = 11.745$$

$$Q_{yn11} := P_{yn11} \cdot tg_{yn} = 11.745$$

$$Q_{yn13} := P_{yn13} \cdot tg_{yn} = 4.698$$

$$Q_{yn15} := P_{yn15} \cdot tg_{yn} = 9.396$$

$$S_{yn10} := \sqrt{(P_{yn10})^2 + (Q_{yn10})^2} = 17.894$$

$$S_{yn11} := \sqrt{(P_{yn11})^2 + (Q_{yn11})^2} = 17.894$$

$$S_{yn13} := \sqrt{(P_{yn13})^2 + (Q_{yn13})^2} = 7.158$$

$$S_{yn15} := \sqrt{(P_{yn15})^2 + Q_{yn15}^2} = 14.315$$

Фонд, магазин

$$tg_{\phi} := 0.87$$

$$P_{\phi} := 0.054 \cdot 350 = 18.9$$

$$Q_{\phi} := P_{\phi} \cdot tg_{yn} = 16.443$$

$$P_{M_{\phi}} := 0.25 \cdot 180 = 45$$

$$Q_{M_{\phi}} := P_{M_{\phi}} \cdot tg_{M} = 36$$

$$P_{\phi M} := P_{\phi} + 0.6 \cdot P_{M_{\phi}} = 45.9$$

$$Q_{\phi M} := P_{\phi} \cdot tg_{\phi} + tg_{M} \cdot P_{M_{\phi}} = 52.443$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$S_{\text{фм}} := \sqrt{(P_{\text{фм}})^2 + (Q_{\text{фм}})^2} = 69.693$$

Магазин

$$P_{\text{м18}} := 0.25 \cdot 500 = 125$$

$$Q_{\text{м18}} := P_{\text{м18}} \cdot \text{tg}\alpha = 100$$

$$S_{\text{м18}} := \sqrt{(P_{\text{м18}})^2 + (Q_{\text{м18}})^2} = 160.078$$

Офисы

$$P_o := 0.217 \cdot 7000 = 1.519 \times 10^3$$

$$Q_o := P_o \cdot \text{tg}\alpha_o = 1.322 \times 10^3$$

$$S_o := \sqrt{(P_o)^2 + (Q_o)^2} = 2.013 \times 10^3$$

Банк

$$\text{tg}\delta := 0.87$$

$$P_{\delta} := 0.054 \cdot 500 = 27$$

$$Q_{\delta} := P_{\delta} \cdot \text{tg}\delta = 23.49$$

$$S_{\delta} := \sqrt{(P_{\delta})^2 + (Q_{\delta})^2} = 35.788$$

Столовая

$$\text{tg}\gamma := 0.98$$

$$P_{\gamma} := 1.04 \cdot 250 = 260$$

$$Q_{\gamma} := P_{\gamma} \cdot \text{tg}\gamma = 254.8$$

$$S_{\gamma} := \sqrt{(P_{\gamma})^2 + (Q_{\gamma})^2} = 364.037$$

ТЦ

$$P_{\text{тц}} := 0.224 \cdot 6700 = 1.501 \times 10^3$$

$$Q_{\text{тц}} := P_{\text{тц}} \cdot \text{tg}\alpha_{\text{тц}} = 1.201 \times 10^3$$

$$\text{tg}\alpha_{\text{тц}} := \frac{Q_{\text{тц}}}{P_{\text{тц}}} = 0.8$$

$$S_{\text{тц}} := \sqrt{(P_{\text{тц}})^2 + (Q_{\text{тц}})^2} = 1.922 \times 10^3$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$P_{m4} := 0.2823 \cdot 2500 = 705.75$$

$$Q_{m4} := P_{m4} \cdot \operatorname{tg} \mu = 564.6$$

$$S_{m4} := \sqrt{(P_{m4})^2 + (Q_{m4})^2} = 903.801$$

ВАРИАНТ 1

Расчет нагрузок 0.4

$$P_{L1} := P_{жд1} = 128.25$$

$$Q_{L1} := Q_{жд1} = 31.635$$

$$P_{L2} := P_{жд2} = 149.67$$

$$Q_{L2} := Q_{ждк2} = 193.566$$

$$P_{L3} := P_{жд3} = 155.52$$

$$Q_{L3} := Q_{жд3} = 41.856$$

$$P_{L4} := P_z = 112.7$$

$$Q_{L4} := Q_z = 95.795$$

$$P_{L5} := P_{y14} + 0.8 \cdot P_{yn10} = 79.8$$

$$Q_{L5} := Q_{y14} + 0.8 \cdot Q_{yn10} = 64.596$$

$$P_{L6} := P_c = 260$$

$$Q_{L6} := Q_c = 254.8$$

$$P_{L7} := P_{y7} + 0.8 \cdot (P_{\delta}) = 205.6$$

$$Q_{L7} := Q_{y7} + 0.8 \cdot (Q_{\delta}) = 165.992$$

$$P_{L8} := P_{y12} + 0.8 \cdot (P_{yn13}) = 188.32$$

$$Q_{L8} := Q_{y12} + 0.8 \cdot (Q_{yn13}) = 150.958$$

$$P_{L9} := P_{m} = 1.501 \times 10^3$$

$$Q_{L9} := Q_{m} = 1.201 \times 10^3$$

$$P_{L10} := P_o = 1.519 \times 10^3$$

$$Q_{L10} := Q_o = 1.322 \times 10^3$$

$$P_{L11} := P_{фм} = 45.9$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$Q_{Л11} := Q_{ФМ} = 52.443$$

$$P_{Л12} := P_{Жд_{мд5}} = 623.25$$

$$Q_{Л12} := Q_{жа.5} = 323.09$$

$$P_{Л13} := P_{Жд_{мд6}} = 784.6$$

$$Q_{Л13} := Q_{жа.6} = 444.676$$

$$P_{Л14} := P_{М18} + 0.8 \cdot (P_{Уп15}) = 133.64$$

$$Q_{Л14} := Q_{М18} + 0.8 \cdot (Q_{Уп15}) = 107.517$$

$$P_{Л15} := P_{тц4} + 0.8 \cdot (P_{Уп11}) = 716.55$$

$$Q_{Л15} := Q_{тц4} + 0.8 \cdot (Q_{Уп11}) = 573.996$$

$$P_{Л16} := P_{ц} = 4.3$$

$$Q_{Л16} := Q_{ц} = 3.87$$

Сумарные мощности трансформаторных подстанций

$$P_{p\Sigma1} := P_{Л1} + P_{Л2} + P_{Л3} = 433.44$$

$$Q_{p\Sigma1} := Q_{Л1} + Q_{Л2} + Q_{Л3} = 267.057$$

$$tg_{p\Sigma1} := \frac{Q_{p\Sigma1}}{P_{p\Sigma1}} = 0.616$$

$$P_{p\Sigma2} := P_{Л5} + P_{Л6} + P_{Л4} = 452.5$$

$$Q_{p\Sigma2} := Q_{Л5} + Q_{Л6} + Q_{Л4} = 415.191$$

$$tg_{p\Sigma2} := \frac{Q_{p\Sigma2}}{P_{p\Sigma2}} = 0.918$$

$$P_{p\Sigma3} := P_{Л7} + P_{Л8} = 393.92$$

$$Q_{p\Sigma3} := Q_{Л7} + Q_{Л8} = 316.95$$

$$tg_{p\Sigma3} := \frac{Q_{p\Sigma3}}{P_{p\Sigma3}} = 0.805$$

$$P_{p\Sigma4} := P_{Л9} = 1.501 \times 10^3$$

$$Q_{p\Sigma4} := Q_{Л9} = 1.201 \times 10^3$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$tg_{p\Sigma 4} := \frac{Q_{p\Sigma 4}}{P_{p\Sigma 4}} = 0.8$$

$$P_{p\Sigma 5} := P_{\Lambda 10} + P_{\Lambda 11} = 1.565 \times 10^3$$

$$Q_{p\Sigma 5} := Q_{\Lambda 10} + Q_{\Lambda 11} = 1.374 \times 10^3$$

$$tg_{p\Sigma 5} := \frac{Q_{p\Sigma 5}}{P_{p\Sigma 5}} = 0.878$$

$$P_{p\Sigma 6} := P_{\Lambda 12} + P_{\Lambda 13} = 1.408 \times 10^3$$

$$Q_{p\Sigma 6} := Q_{\Lambda 12} + Q_{\Lambda 13} = 767.766$$

$$tg_{p\Sigma 6} := \frac{Q_{p\Sigma 6}}{P_{p\Sigma 6}} = 0.545$$

$$P_{p\Sigma 7} := P_{\Lambda 14} + P_{\Lambda 15} + P_{\Lambda 16} = 854.49$$

$$Q_{p\Sigma 7} := Q_{\Lambda 14} + Q_{\Lambda 15} + Q_{\Lambda 16} = 685.383$$

$$tg_{p\Sigma 7} := \frac{Q_{p\Sigma 7}}{P_{p\Sigma 7}} = 0.802$$

Выбор числа и мощности трансформаторов КТП с учетом КРМ

Выбор конденсаторных батарей

$$tg_{np} := 0.35$$

ТП 1

$$Q_{\Phi_{ky.1.\Sigma}} := P_{p\Sigma 1} \cdot (tg_{p\Sigma 1} - tg_{np}) = 115.353$$

$$Q_{KY1.\Sigma|ull} := \frac{1.1 \cdot Q_{\Phi_{ky.1.\Sigma}}}{2} = 63.444$$

АУКРМ-0,4-175-25-УХЛ4

ТП 2

$$Q_{\Phi_{ky.2.\Sigma}} := P_{p\Sigma 2} \cdot (tg_{p\Sigma 2} - tg_{np}) = 256.816$$

$$Q_{KY2.\Sigma|ull} := \frac{1.1 \cdot Q_{\Phi_{ky.2.\Sigma}}}{2} = 141.249$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

АУКРМ-0,4-150-25-УХЛ4

ТП 3

$$Q_{\phi_{\text{кы.3.}\Sigma}} := P_{\rho\Sigma 3} \cdot (t_{\rho\Sigma 3} - t_{\rho\text{нр}}) = 179.078$$

$$Q_{\text{кы3.}\Sigma\text{лull}} := \frac{1.1 \cdot Q_{\phi_{\text{кы.3.}\Sigma}}}{2} = 98.493$$

АУКРМ-0,4-100-25-УХЛ4

ТП 4

$$Q_{\phi_{\text{кы.4.}\Sigma}} := P_{\rho\Sigma 4} \cdot (t_{\rho\Sigma 4} - t_{\rho\text{нр}}) = 675.36$$

$$Q_{\text{кы4.}\Sigma\text{лull}} := \frac{1.1 \cdot Q_{\phi_{\text{кы.4.}\Sigma}}}{2} = 371.448$$

АУКРМ-0.4-400-50-УХЛ4

ТП 5

$$Q_{\phi_{\text{кы.5.}\Sigma}} := P_{\rho\Sigma 5} \cdot (t_{\rho\Sigma 5} - t_{\rho\text{нр}}) = 826.258$$

$$Q_{\text{кы5.}\Sigma\text{лull}} := \frac{1.1 \cdot Q_{\phi_{\text{кы.5.}\Sigma}}}{2} = 454.442$$

АУКРМ-0.4-500-50-УХЛ4

ТП 6

$$Q_{\phi_{\text{кы.6.}\Sigma}} := P_{\rho\Sigma 6} \cdot (t_{\rho\Sigma 6} - t_{\rho\text{нр}}) = 275.018$$

$$Q_{\text{кы6.}\Sigma\text{лull}} := \frac{1.1 \cdot Q_{\phi_{\text{кы.6.}\Sigma}}}{2} = 151.26$$

АУКРМ-0,4-175-25-УХЛ4

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

ТП 7

$$Q_{\Phi_{\text{кв.7.}\Sigma}} := P_{\rho\Sigma 7} \cdot (\text{tg}_{\rho\Sigma 7} - \text{tg}_{\text{пр}}) = 386.311$$

$$Q_{\text{кв.7.}\Sigma|\text{лл}} := \frac{1.1 \cdot Q_{\Phi_{\text{кв.7.}\Sigma}}}{2} = 212.471$$

АУКРМ-0.4-225-25-УХЛ4

Расчетная мощность трансформатора КТП

$$K_3 := 0.7$$

$$N_m := 2$$

ТП1

$$Q_{\text{неск1}} := Q_{\rho\Sigma 1} - Q_{\Phi_{\text{кв.1.}\Sigma}} = 151.704$$

$$S_{\text{пр1}} := \frac{\sqrt{P_{\rho\Sigma 1}^2 + Q_{\text{неск1}}^2}}{K_3 \cdot N_m} = 328.015$$

Выбираем трансформатор марки ТМ-400/10

$$S_{\text{ном400}} := 400$$

Проверяем выбранный трансформатор по коэффициенту загрузки

$$K_{3\text{факт1}} := \frac{\sqrt{P_{\rho\Sigma 1}^2 + Q_{\text{неск1}}^2}}{S_{\text{ном400}} \cdot N_m} = 0.574$$

$$K_{3\text{н.аб1}} := \frac{\sqrt{P_{\rho\Sigma 1}^2 + Q_{\text{неск1}}^2}}{1 \cdot S_{\text{ном400}}} = 1.148$$

ТП2

$$Q_{\text{неск2}} := Q_{\rho\Sigma 2} - Q_{\Phi_{\text{кв.2.}\Sigma}} = 158.375$$

$$S_{\text{пр2}} := \frac{\sqrt{P_{\rho\Sigma 2}^2 + Q_{\text{неск2}}^2}}{K_3 \cdot N_m} = 342.439$$

Выбираем трансформатор марки ТМ - 400/10

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

Проверяем выбранный трансформатор по коэффициенту загрузки

$$K_{з\text{факт}2} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 2}^2 + Q_{неск2}^2}}{S_{\text{ном}400} \cdot N_m} = 0.599$$

$$K_{з\text{н.аб}2} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 2}^2 + Q_{неск2}^2}}{1 \cdot S_{\text{ном}400}} = 1.199$$

ТПЗ

$$Q_{неск3} := Q_{p\Sigma 3} - Q_{\text{фк}y.3.\Sigma} = 137.872$$

$$S_{\text{тр}3} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 3}^2 + Q_{неск3}^2}}{K_z \cdot N_m} = 298.108$$

Выбираем трансформатор марки ТМ 400 /10

Проверяем выбранный трансформатор по коэффициенту загрузки

$$K_{з\text{факт}3} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 3}^2 + Q_{неск3}^2}}{S_{\text{ном}400} \cdot N_m} = 0.522$$

$$K_{з\text{н.аб}3} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 3}^2 + Q_{неск3}^2}}{1 \cdot S_{\text{ном}400}} = 1.043$$

ТП4

$$Q_{неск4} := Q_{p\Sigma 4} - Q_{\text{фк}y.4.\Sigma} = 525.28$$

$$S_{\text{тр}4} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 4}^2 + Q_{неск4}^2}}{K_z \cdot N_m} = 1.136 \times 10^3$$

Выбираем трансформатор марки ТМ 1600 /10

$$S_{\text{ном}1600} := 1600$$

Проверяем выбранный трансформатор по коэффициенту загрузки

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$Kz_{\text{факт}4} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 4}^2 + Q_{\text{неск}4}^2}}{S_{\text{тном}1600} \cdot N_m} = 0.497$$

$$Kz_{\text{н.аб}4} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 4}^2 + Q_{\text{неск}4}^2}}{1 \cdot S_{\text{тном}1600}} = 0.994$$

ТП5

$$Q_{\text{неск}5} := Q_{p\Sigma 5} - Q_{\text{фк}y.5.\Sigma} = 547.715$$

$$S_{\text{тп}5} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 5}^2 + Q_{\text{неск}5}^2}}{Kz \cdot N_m} = 1.184 \times 10^3$$

Выбираем трансформатор марки ТМ - 1600/10

Проверяем выбранный трансформатор по коэффициенту загрузки

$$Kz_{\text{факт}5} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 5}^2 + Q_{\text{неск}5}^2}}{S_{\text{тном}1600} \cdot N_m} = 0.518$$

$$Kz_{\text{н.аб}5} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 5}^2 + Q_{\text{неск}5}^2}}{1 \cdot S_{\text{тном}1600}} = 1.036$$

ТП6

$$Q_{\text{неск}6} := Q_{p\Sigma 6} - Q_{\text{фк}y.6.\Sigma} = 492.748$$

$$S_{\text{тп}6} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 6}^2 + Q_{\text{неск}6}^2}}{Kz \cdot N_m} = 1.065 \times 10^3$$

Выбираем трансформатор марки ТМ 1600 /10

Проверяем выбранный трансформатор по коэффициенту загрузки

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

2

$$K_{з\text{факт}6} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 6}^2 + Q_{неск6}^2}}{S_{\text{нном}1600} \cdot N_m} = 0.466$$

$$K_{з\text{н.аб}6} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 6}^2 + Q_{неск6}^2}}{1 \cdot S_{\text{нном}1600}} = 0.932$$

ТП7

$$Q_{неск7} := Q_{p\Sigma 7} - Q_{\text{фк}y.7.\Sigma} = 299.071$$

$$S_{\text{пр}7} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 7}^2 + Q_{неск7}^2}}{K_{з} \cdot N_m} = 646.654$$

Выбираем трансформатор марки ТМ 1000 /10

$$S_{\text{нном}1000} := 1000$$

Проверяем выбранный трансформатор по коэффициенту загрузки

$$K_{з\text{факт}7} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 7}^2 + Q_{неск7}^2}}{S_{\text{нном}1000} \cdot N_m} = 0.453$$

$$K_{з\text{н.аб}7} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 7}^2 + Q_{неск7}^2}}{1 \cdot S_{\text{нном}1000}} = 0.905$$

Выбор сечений проводов сети 0.4 кВ

$r_{35} := 0.89$	$x_{35} := 0.0637$	$x_{240} := 0.0587$
$r_{50} := 0.62$	$x_{50} := 0.0625$	$k_1 := 0.9$
$r_{70} := 0.443$	$x_{70} := 0.0612$	$r_{240} := 0.129$
$r_{95} := 0.326$	$x_{95} := 0.0602$	
$r_{120} := 0.258$	$x_{120} := 0.0602$	
$r_{150} := 0.203$	$x_{150} := 0.0596$	
$r_{185} := 0.167$	$x_{185} := 0.0596$	

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

Первая линия

$$I_{1,p} := \frac{\sqrt{\left(\frac{P_{л1}}{2}\right)^2 + \left(\frac{Q_{л1}}{2}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 100.348$$

$$I_{p1,max} := 1.05 \cdot 1.1 I_{1,p} = 115.902$$

$$\frac{I_{p1,max}}{k_1 \cdot 1 \cdot 0.95} = 135.558$$

Выбираем АВВГ 4х50

$$I_{\partial л_{дон}} := 147 = 147$$

$$I_{\partial л_{дон}} \geq \frac{I_{p1,max}}{k_1 \cdot 1}$$

$$i_{p1,max} := \frac{I_{p1,max}}{1} = 115.902$$

$$L_1 := 110 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_1 := \frac{P_{л1}}{\sqrt{(P_{л1})^2 + (Q_{л1})^2}} = 0.971$$

$$\sin_1 := \sqrt{1 - \cos_1^2} = 0.239$$

$$r_1 := r_{50} \quad x_1 := x_{50}$$

$$\Delta U_1 := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot i_{p1,max} \cdot (L_1)}{380} \right] \cdot (r_1 \cdot \cos_1 + x_1 \cdot \sin_1) \cdot 100 = 3.585$$

Вторая линия

$$I_{2,p} := \frac{\sqrt{\left(\frac{P_{л2}}{2}\right)^2 + \left(\frac{Q_{л2}}{2}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 185.877$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$I_{p2.max} := 1.05 \cdot 1.1 I_{2.p} = 214.688$$

$$\frac{I_{p2.max}}{k_1 \cdot 1 \cdot 0.95} = 251.097$$

Выбираем АВВГ 4х150

$$I_{2\partial л.доп} := 274 = 274$$

$$I_{2\partial л.доп} \geq \frac{I_{p2.max}}{k_1 \cdot 1}$$

$$I_{p2.max} := \frac{I_{p2.max}}{1} = 214.688$$

$$L_2 := 60 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_2 := \frac{P_{L2}}{\sqrt{(P_{L2})^2 + (Q_{L2})^2}} = 0.612$$

$$x_2 := x_{150} = 0.06$$

$$\sin_2 := \sqrt{1 - \cos_2^2} = 0.791$$

$$\Delta U_2 := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot I_{p2.max} \cdot (L_2)}{380} \right] \cdot (r_2 \cdot \cos_1 + x_2 \cdot \sin_1) \cdot 100 = 1.241$$

Третья линия

$$I_{3.p} := \frac{\sqrt{\left(\frac{P_{L3}}{2}\right)^2 + \left(\frac{Q_{L3}}{2}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 122.348$$

$$I_{p3.max} := 1.05 \cdot 1.1 I_{3.p} = 141.312$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\frac{I_{P3.max}}{\kappa_1 \cdot 1 \cdot 0.95} = 165.277$$

Выбираем АВВГ 4х70

$$I_{3дл.дон} := 178 = 178$$

$$I_{3дл.дон} \geq \frac{I_{P3.max}}{\kappa_1 \cdot 1}$$

$$I_{P3.max} := \frac{I_{P3.max}}{1} = 141.312$$

$$L_3 := 60 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_3 := \frac{P_{L3}}{\sqrt{(P_{L3})^2 + (Q_{L3})^2}} = 0.966$$

$$\sin_3 := \sqrt{1 - \cos_3^2} = 0.26$$

$$r_3 := r_{70} \quad x_3 := x_{70}$$

$$\Delta U_3 := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot I_{P3.max} \cdot (L_3)}{380} \right] \cdot (r_3 \cdot \cos_3 + x_3 \cdot \sin_3) \cdot 100 = 1.715$$

Четвертая линия

$$I_{4.p} := \frac{\sqrt{\left(\frac{P_{L4}}{2}\right)^2 + \left(\frac{Q_{L4}}{2}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 112.365$$

$$I_{P4.max} := 1.05 \cdot 1.1 I_{4.p} = 129.781$$

$$\frac{I_{P4.max}}{\kappa_1 \cdot 1} = 144.201$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

Выбираем АВВГ 4х50

$$l_{4\text{дл.дон}} := 147 = 147$$

$$l_{4\text{дл.дон}} \geq \frac{I_{p4.\text{max}}}{k_1 \cdot 1}$$

$$I_{p4.\text{max}} := \frac{I_{p4.\text{max}}}{2} = 64.891$$

$$L_4 := 40 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_4 := \frac{P_{L_4}}{\sqrt{(P_{L_4})^2 + (Q_{L_4})^2}} = 0.762$$

$$\sin_4 := \sqrt{1 - \cos_4^2} = 0.648$$

$$r_4 := r_{50} \quad x_4 := x_{50}$$

$$\Delta U_4 := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot I_{p4.\text{max}} \cdot (L_4)}{400} \right] \cdot (r_4 \cdot \cos_4 + x_4 \cdot \sin_4) \cdot 100 = 0.576$$

Пятая линия

$$I_{5.p} := \frac{\sqrt{\left(\frac{P_{L_5}}{2}\right)^2 + \left(\frac{Q_{L_5}}{2}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 77.994$$

$$I_{p5.\text{max}} := 1.05 \cdot 1.1 I_{5.p} = 90.083$$

$$\frac{I_{p5.\text{max}}}{k_1 \cdot 1 \cdot 0.95} = 105.36$$

Выбираем АВВГ 4х35

$$l_{5\text{дл.дон}} := 121 = 121$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$I_{5\text{дл.дон}} \geq \frac{I_{P5.\text{max}}}{k_1 \cdot 1}$$

$$I_{P5.\text{max}} := \frac{I_{P5.\text{max}}}{2} = 45.041$$

$$L_5 := 130 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_5 := \frac{P_{L5}}{\sqrt{(P_{L5})^2 + (Q_{L5})^2}} = 0.777$$

$$r_5 := r_{35} \sqrt{1 - \cos_5^2} = 0.629$$

$$\Delta U_5 := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot I_{P5.\text{max}} \cdot (L_5)}{380} \right] \cdot (r_5 \cdot \cos_5 + x_5 \cdot \sin_5) \cdot 100 = 1.953$$

Шестая линия

$$I_{6.p} := \frac{\sqrt{\left(\frac{P_{L6}}{4}\right)^2 + \left(\frac{Q_{L6}}{4}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 138.274$$

$$I_{P6.\text{max}} := 1.05 \cdot 1.1 I_{6.p} = 159.707$$

$$\frac{I_{P6.\text{max}}}{k_1 \cdot 1 \cdot 0.95} = 186.792$$

Выбираем АВВГ 4x150

$$I_{6\text{дл.дон}} := 274 = 274$$

$$I_{6\text{дл.дон}} \geq \frac{I_{P6.\text{max}}}{k_1 \cdot 1}$$

$$I_{P6.\text{max}} := \frac{I_{P6.\text{max}}}{1} = 159.707$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$L_6 := 30 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_6 := \frac{P_{L6}}{\sqrt{(P_{L6})^2 + (Q_{L6})^2}} = 0.714$$

$$\sin_6 := \sqrt{1 - \cos_6^2} = 0.7$$

$$r_6 := r_{150} \quad x_6 := x_{150}$$

$$\Delta U_6 := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot i_{p6, \max} \cdot (L_6)}{380} \right] \cdot (r_6 \cdot \cos_6 + x_6 \cdot \sin_6) \cdot 100 = 0.408$$

Седьмая линия

$$I_{7.p} := \frac{\sqrt{\left(\frac{P_{L7}}{2}\right)^2 + \left(\frac{Q_{L7}}{2}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 200.738$$

$$I_{p7, \max} := 1.05 \cdot 1.1 I_{7.p} = 231.853$$

$$\frac{I_{p7, \max}}{k_1 \cdot 1 \cdot 0.95} = 271.173$$

Выбираем АВВГ 4x150

$$I_{7\partial л. \partial о н} := 1 \cdot 274 = 274$$

$$I_{7\partial л. \partial о н} \geq \frac{I_{p7, \max}}{k_1 \cdot 1}$$

$$i_{p7, \max} := \frac{I_{p7, \max}}{1} = 231.853$$

$$L_7 := 130 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_7 := \frac{P_{L7}}{\sqrt{(P_{L7})^2 + (Q_{L7})^2}} = 0.778$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\sin_7 := \sqrt{1 - \cos_7^2} = 0.628$$

$$\Delta U_7 := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot ip_{7,\max} \cdot (L_7)}{380} \right] \cdot (r_7 \cdot \cos_7 + x_7 \cdot \sin_7) \cdot 100 = 2.684$$

Восьмая линия

$$I_{8,p} := \frac{\sqrt{\left(\frac{P_{л8}}{2}\right)^2 + \left(\frac{Q_{л8}}{2}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 183.351$$

$$Ip_{8,\max} := 1.05 \cdot 1.1 I_{8,p} = 211.771$$

$$\frac{Ip_{8,\max}}{k_1 \cdot 1 \cdot 0.95} = 247.685$$

Выбираем АВВГ 4x150

$$I_{8\text{дл.дон}} := 274 = 274$$

$$I_{8\text{дл.дон}} \geq \frac{Ip_{8,\max}}{k_1 \cdot 1}$$

$$ip_{8,\max} := \frac{Ip_{8,\max}}{1} = 211.771$$

$$L_8 := 180 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_8 := \frac{P_{л8}}{\sqrt{(P_{л8})^2 + (Q_{л8})^2}} = 0.78$$

$$r_8 := r_{150} \cdot \sqrt{1 - \cos_8^2} = 0.625$$

$$\Delta U_8 := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot ip_{8,\max} \cdot (L_8)}{380} \right] \cdot (r_8 \cdot \cos_8 + x_8 \cdot \sin_8) \cdot 100 = 3.4$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

Девятая линия

$$I_{9,p} := \frac{\sqrt{\left(\frac{P_{Л9}}{6}\right)^2 + \left(\frac{Q_{Л9}}{6}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 486.686$$

$$I_{p9,max} := 1.05 \cdot 1.1 I_{9,p} = 562.123$$

$$\frac{I_{p9,max}}{0.95 \cdot 1} = 591.708$$

Выбираем ВВГ 4х400

$$I_{9,дл.дон} := 611 = 611$$

$$I_{9,дл.дон} \geq \frac{I_{p9,max}}{k_1 \cdot 1}$$

$$I_{p9,max} := \frac{I_{p9,max}}{8} = 70.265$$

$$L_9 := 30 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos \varphi := \frac{P_{Л9}}{\sqrt{(P_{Л9})^2 + (Q_{Л9})^2}} = 0.781$$

$$\sin \varphi := \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = 0.625$$

$$\Delta U_9 := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot I_{p9,max} \cdot (L_9)}{400} \right] \cdot (r_9 \cdot \cos \varphi + x_9 \cdot \sin \varphi) \cdot 100 = 0.088$$

Десятая линия

$$I_{10,p} := \frac{\sqrt{\left(\frac{P_{Л10}}{6}\right)^2 + \left(\frac{Q_{Л10}}{6}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 509.842$$

$$I_{p10,max} := 1.05 \cdot 1.1 I_{10,p} = 588.868$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\frac{I_{P10.max}}{1 \cdot 1} = 588.868$$

Выбираем ВВГ 4x400

$$I_{10дл.дон} := 611 = 611$$

$$I_{10дл.дон} \geq \frac{I_{P10.max}}{k_1 \cdot 1}$$

$$i_{P10.max} := \frac{I_{P10.max}}{8} = 73.608$$

$$L_{10} := 65 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_{10} := \frac{P_{L10}}{\sqrt{(P_{L10})^2 + (Q_{L10})^2}} = 0.754$$

$$\sin_{10} := \sqrt{1 - \cos_{10}^2} = 0.656$$

$$x_{10} := x_{240}$$

$$\Delta U_{10} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot i_{P10.max} \cdot (L_{10})}{400} \right] \cdot (r_{10} \cdot \cos_{10} + x_{10} \cdot \sin_{10}) \cdot 100 = 0.281$$

Одиннадцатая линия

$$I_{11.p} := \frac{\sqrt{\left(\frac{P_{L11}}{2}\right)^2 + \left(\frac{Q_{L11}}{2}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 52.944$$

$$I_{P11.max} := 1.05 \cdot 1.1 I_{11.p} = 61.15$$

$$\frac{I_{P11.max}}{k_1 \cdot 1 \cdot 0.95} = 71.52$$

Выбираем АВВГ 4x16

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$I_{\text{ддон11}} := 77 = 77$$

$$I_{\text{ддон11}} \geq \frac{I_{\text{p11.max}}}{k_1 \cdot 1}$$

$$I_{\text{p11.max}} := \frac{I_{\text{p11.max}}}{1} = 61.15$$

$$L_{11} := 60 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_{11} := \frac{P_{L11}}{\sqrt{(P_{L11})^2 + (Q_{L11})^2}} = 0.659$$

$$r_{11} := 1.94 \quad x_{11} := 1.15$$

$$\sin_{11} := \sqrt{1 - \cos_{11}^2} = 0.752$$

$$\Delta U_{11} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{p11.max}} \cdot (L_{11})}{380} \right] \cdot (r_{11} \cdot \cos_{11} + x_{11} \cdot \sin_{11}) \cdot 100 = 3.584$$

Двенадцатая линия

$$I_{12.p} := \frac{\sqrt{\left(\frac{P_{L12}}{6}\right)^2 + \left(\frac{Q_{L12}}{6}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 177.767$$

$$I_{\text{p12.max}} := 1.05 \cdot 1.1 I_{12.p} = 205.321$$

$$\frac{I_{\text{p12.max}}}{0.87 \cdot 1 \cdot 0.95} = 248.423$$

Выбираем АВВГ 4x150

$$I_{\text{ддон12}} := 274 = 274$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$I_{\text{ддон12}} \geq \frac{I_{P12.\text{max}}}{k_1 \cdot 1}$$

$$I_{P12.\text{max}} := \frac{I_{P12.\text{max}}}{1} = 205.321$$

$$L_{12} := 90 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_{12} := \frac{P_{L12}}{\sqrt{(P_{L12})^2 + (Q_{L12})^2}} = 0.888$$

$$\sin_{12} := \sqrt{1 - \cos_{12}^2} = 0.46$$

$$r_{12} := r_{240} \quad x_{12} := x_{240}$$

$$\Delta U_{12} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot I_{P12.\text{max}} \cdot (L_{12})}{380} \right] \cdot (r_{12} \cdot \cos_{12} + x_{12} \cdot \sin_{12}) \cdot 100 = 1.192$$

Тринадцатая линия

$$I_{13.p} := \frac{\sqrt{\left(\frac{P_{L13}}{6}\right)^2 + \left(\frac{Q_{L13}}{6}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 228.37$$

$$I_{P13.\text{max}} := 1.05 \cdot 1.1 I_{13.p} = 263.767$$

$$\frac{I_{P13.\text{max}}}{0.87 \cdot 1 \cdot 0.95} = 319.138$$

Выбираем АВВГ 4х400

$$I_{\text{ддон13}} := 482 = 482$$

$$I_{\text{ддон13}} \geq \frac{I_{P13.\text{max}}}{k_1 \cdot 1}$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$i_{P13.max} := \frac{I_{P13.max}}{1} = 263.767$$

$$L_{13} := 90 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_{13} := \frac{P_{L13}}{\sqrt{(P_{L13})^2 + (Q_{L13})^2}} = 0.87$$

$$\sin_{13} := \sqrt{1 - \cos_{13}^2} = 0.493$$

$$r_{13} := r_{240} \quad x_{13} := x_{240}$$

$$\Delta U_{13} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot i_{P13.max} \cdot (L_{13})}{380} \right] \cdot (r_{13} \cdot \cos_{13} + x_{13} \cdot \sin_{13}) \cdot 100 = 1.528$$

Четырнадцатая линия

$$I_{14.p} := \frac{\sqrt{\left(\frac{P_{L14}}{2}\right)^2 + \left(\frac{Q_{L14}}{2}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 130.3$$

$$I_{P14.max} := 1.05 \cdot 1.1 I_{14.p} = 150.496$$

$$\frac{I_{P14.max}}{0.87 \cdot 1} = 172.984$$

Выбираем АВВГ 4x70

$$I_{\partial_{\text{дон}}14} := 178 = 178$$

$$I_{\partial_{\text{дон}}14} \geq \frac{I_{P14.max}}{k_1 \cdot 1}$$

$$i_{P14.max} := \frac{I_{P14.max}}{2} = 75.248$$

$$L_{14} := 100 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_{14} := \frac{P_{L14}}{\sqrt{(P_{L14})^2 + (Q_{L14})^2}} = 0.779$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\sin_{14} := \sqrt{1 - \cos_{14}^2} = 0.627$$

$$r_{14} := r_{70} \quad x_{14} := x_{70}$$

$$\Delta U_{14} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot i_{p14.\max} \cdot (L_{14})}{400} \right] \cdot (r_{14} \cdot \cos_{14} + x_{14} \cdot \sin_{14}) \cdot 100 = 1.25$$

Пятнадцатая линия

$$l_{15.p} := \frac{\sqrt{\left(\frac{P_{л15}}{6}\right)^2 + \left(\frac{Q_{л15}}{6}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 232.486$$

$$I_{p15.\max} := 1.05 \cdot 1.1 l_{15.p} = 268.521$$

$$\frac{I_{p15.\max}}{0.87 \cdot 1 \cdot 0.95} = 324.889$$

Выбираем АВВГ 4x240

$$I_{\text{доп}15} := 355 = 355$$

$$I_{\text{доп}15} \geq \frac{I_{p15.\max}}{k_1 \cdot 1}$$

$$i_{p15.\max} := \frac{I_{p15.\max}}{1} = 268.521$$

$$L_{15} := 120 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_{15} := \frac{P_{л15}}{\sqrt{(P_{л15})^2 + (Q_{л15})^2}} = 0.78$$

$$\sin_{15} := \sqrt{1 - \cos_{15}^2} = 0.625$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\Delta U_{15} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot i_{P15.max} \cdot (L_{15})}{380} \right] \cdot (r_{15} \cdot \cos_{15} + x_{15} \cdot \sin_{15}) \cdot 100 = 2.018$$

Шестнадцатая линия

$$I_{16.p} := \frac{\sqrt{(P_{L16})^2 + (Q_{L16})^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 8.789$$

$$I_{P16.max} := 1.05 \cdot 1.1 I_{16.p} = 10.152$$

$$\frac{I_{P16.max}}{0.87 \cdot 1 \cdot 0.95} = 12.283$$

Выбираем АВВГ 4х4

$$I_{\partial л_{\partial о н 16}} := 37 = 37$$

$$I_{\partial л_{\partial о н 16}} \geq \frac{I_{P16.max}}{k_1 \cdot 1}$$

$$i_{P16.max} := \frac{I_{P16.max}}{1} = 10.152$$

$$L_{16} := 75 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_{16} := \frac{P_{L16}}{\sqrt{(P_{L16})^2 + (Q_{L16})^2}} = 0.743$$

$$\sin_{16} := \sqrt{1 - \cos_{16}^2} = 0.669$$

$$\Delta U_{16} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot i_{P16.max} \cdot (L_{16})}{380} \right] \cdot (r_{16} \cdot \cos_{16} + x_{16} \cdot \sin_{16}) \cdot 100 = 3.065$$

Потери напряжения и мощности в распределительных КЛ,
отходящих от ТП

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\tau := \left(0.124 + \frac{5500}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 3.979 \times 10^3$$

$$\Delta U_1 = 3.585$$

$$\Delta P_1 := \frac{P_{\lambda 1}^2 \cdot r_1 \cdot L_1 + Q_{\lambda 1}^2 \cdot r_1 \cdot L_1}{0.4^2} = 7.438 \times 10^3$$

$$\Delta Q_1 := \frac{P_{\lambda 1}^2 \cdot x_1 \cdot L_1 + Q_{\lambda 1}^2 \cdot x_1 \cdot L_1}{0.4^2} = 749.755$$

$$\Delta W_1 := \tau \cdot \Delta P_1 = 2.96 \times 10^7$$

$$\Delta U_2 = 1.241$$

$$\Delta P_2 := \frac{P_{\lambda 2}^2 \cdot r_2 \cdot L_2 + Q_{\lambda 2}^2 \cdot r_2 \cdot L_2}{0.4^2} = 4.558 \times 10^3$$

$$\Delta Q_2 := \frac{P_{\lambda 2}^2 \cdot x_2 \cdot L_2 + Q_{\lambda 2}^2 \cdot x_2 \cdot L_2}{0.4^2} = 1.338 \times 10^3$$

$$\Delta W_2 := \tau \cdot \Delta P_2 = 1.814 \times 10^7$$

$$\Delta U_3 = 1.715$$

$$\Delta P_3 := \frac{P_{\lambda 3}^2 \cdot r_3 \cdot L_3 + Q_{\lambda 3}^2 \cdot r_3 \cdot L_3}{0.4^2} = 4.309 \times 10^3$$

$$\Delta Q_3 := \frac{P_{\lambda 3}^2 \cdot x_3 \cdot L_3 + Q_{\lambda 3}^2 \cdot x_3 \cdot L_3}{0.4^2} = 595.286$$

$$\Delta W_3 := \tau \cdot \Delta P_3 = 1.715 \times 10^7$$

$$\Delta U_4 = 0.576$$

$$\Delta P_4 := \frac{P_{\lambda 4}^2 \cdot r_4 \cdot L_4 + Q_{\lambda 4}^2 \cdot r_4 \cdot L_4}{0.4^2} = 3.391 \times 10^3$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\Delta Q_4 := \frac{P_{L4}^2 \cdot x_4 \cdot L_4 + Q_{L4}^2 \cdot x_4 \cdot L_4}{0.4^2} = 341.843$$

$$\Delta W_4 := \tau \cdot \Delta P_4 = 1.349 \times 10^7$$

$$\Delta U_5 = 1.953$$

$$\Delta P_5 := \frac{P_{L5}^2 \cdot r_5 \cdot L_5 + Q_{L5}^2 \cdot r_5 \cdot L_5}{0.4^2} = 7.622 \times 10^3$$

$$\Delta Q_5 := \frac{P_{L5}^2 \cdot x_5 \cdot L_5 + Q_{L5}^2 \cdot x_5 \cdot L_5}{0.4^2} = 545.546$$

$$\Delta W_5 := \tau \cdot \Delta P_5 = 3.033 \times 10^7$$

$$\Delta P_6 := \frac{P_{L6}^2 \cdot r_6 \cdot L_6 + Q_{L6}^2 \cdot r_6 \cdot L_6}{0.4^2} = 5.044 \times 10^3$$

$$\Delta Q_6 := \frac{P_{L6}^2 \cdot x_6 \cdot L_6 + Q_{L6}^2 \cdot x_6 \cdot L_6}{0.4^2} = 1.481 \times 10^3$$

$$\Delta W_6 := \tau \cdot \Delta P_6 = 2.007 \times 10^7$$

$$\Delta U_7 = 2.684$$

$$\Delta P_7 := \frac{P_{L7}^2 \cdot r_7 \cdot L_7 + Q_{L7}^2 \cdot r_7 \cdot L_7}{0.4^2} = 1.152 \times 10^4$$

$$\Delta Q_7 := \frac{P_{L7}^2 \cdot x_7 \cdot L_7 + Q_{L7}^2 \cdot x_7 \cdot L_7}{0.4^2} = 3.381 \times 10^3$$

$$\Delta W_7 := \tau \cdot \Delta P_7 = 4.583 \times 10^7$$

$$\Delta U_8 = 3.4$$

$$\Delta P_8 := \frac{P_{L8}^2 \cdot r_8 \cdot L_8 + Q_{L8}^2 \cdot r_8 \cdot L_8}{0.4^2} = 1.33 \times 10^4$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\Delta Q_8 := \frac{P_{\lambda 8}^2 \cdot x_8 \cdot L_8 + Q_{\lambda 8}^2 \cdot x_8 \cdot L_8}{0.4^2} = 3.906 \times 10^3$$

$$\Delta W_8 := \tau \cdot \Delta P_8 = 5.294 \times 10^7$$

$$\Delta U_9 = 0.088$$

$$\Delta P_9 := \frac{P_{\lambda 9}^2 \cdot r_9 \cdot L_9 + Q_{\lambda 9}^2 \cdot r_9 \cdot L_9}{0.4^2} = 5.333 \times 10^4$$

$$\Delta Q_9 := \frac{P_{\lambda 9}^2 \cdot x_9 \cdot L_9 + Q_{\lambda 9}^2 \cdot x_9 \cdot L_9}{0.4^2} = 4.066 \times 10^4$$

$$\Delta W_9 := \tau \cdot \Delta P_9 = 2.122 \times 10^8$$

$$\Delta U_{10} = 0.281$$

$$\Delta P_{10} := \frac{P_{\lambda 10}^2 \cdot r_{10} \cdot L_{10} + Q_{\lambda 10}^2 \cdot r_{10} \cdot L_{10}}{0.4^2} = 2.124 \times 10^5$$

$$\Delta Q_{10} := \frac{P_{\lambda 10}^2 \cdot x_{10} \cdot L_{10} + Q_{\lambda 10}^2 \cdot x_{10} \cdot L_{10}}{0.4^2} = 9.667 \times 10^4$$

$$\Delta W_{10} := \tau \cdot \Delta P_{10} = 8.454 \times 10^8$$

$$\Delta U_{11} = 3.584$$

$$\Delta P_{11} := \frac{P_{\lambda 11}^2 \cdot r_{11} \cdot L_{11} + Q_{\lambda 11}^2 \cdot r_{11} \cdot L_{11}}{0.4^2} = 3.534 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{11} := \frac{P_{\lambda 11}^2 \cdot x_{11} \cdot L_{11} + Q_{\lambda 11}^2 \cdot x_{11} \cdot L_{11}}{0.4^2} = 2.095 \times 10^3$$

$$\Delta W_{11} := \tau \cdot \Delta P_{11} = 1.406 \times 10^7$$

$$\Delta U_{12} = 1.192$$

$$\Delta P_{12} := \frac{P_{\lambda 12}^2 \cdot r_{12} \cdot L_{12} + Q_{\lambda 12}^2 \cdot r_{12} \cdot L_{12}}{0.4^2} = 3.576 \times 10^4$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПК Mathcad 15

$$\Delta Q_{12} := \frac{P_{l12}^2 \cdot x_{12} \cdot L_{12} + Q_{l12}^2 \cdot x_{12} \cdot L_{12}}{0.4^2} = 1.627 \times 10^4$$

$$\Delta W_{12} := \tau \cdot \Delta P_{12} = 1.423 \times 10^8$$

$$\Delta U_{13} = 1.528$$

$$\Delta P_{13} := \frac{P_{l13}^2 \cdot r_{13} \cdot L_{13} + Q_{l13}^2 \cdot r_{13} \cdot L_{13}}{0.4^2} = 5.902 \times 10^4$$

$$\Delta Q_{13} := \frac{P_{l13}^2 \cdot x_{13} \cdot L_{13} + Q_{l13}^2 \cdot x_{13} \cdot L_{13}}{0.4^2} = 2.686 \times 10^4$$

$$\Delta W_{13} := \tau \cdot \Delta P_{13} = 2.349 \times 10^8$$

$$\Delta U_{14} = 1.25$$

$$\Delta P_{14} := \frac{P_{l14}^2 \cdot r_{14} \cdot L_{14} + Q_{l14}^2 \cdot r_{14} \cdot L_{14}}{0.4^2} = 8.146 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{14} := \frac{P_{l14}^2 \cdot x_{14} \cdot L_{14} + Q_{l14}^2 \cdot x_{14} \cdot L_{14}}{0.4^2} = 1.125 \times 10^3$$

$$\Delta W_{14} := \tau \cdot \Delta P_{14} = 3.241 \times 10^7$$

$$\Delta U_{15} = 2.018$$

$$\Delta P_{15} := \frac{P_{l15}^2 \cdot r_{15} \cdot L_{15} + Q_{l15}^2 \cdot r_{15} \cdot L_{15}}{0.4^2} = 8.155 \times 10^4$$

$$\Delta Q_{15} := \frac{P_{l15}^2 \cdot x_{15} \cdot L_{15} + Q_{l15}^2 \cdot x_{15} \cdot L_{15}}{0.4^2} = 3.711 \times 10^4$$

$$\Delta W_{15} := \tau \cdot \Delta P_{15} = 3.245 \times 10^8$$

$$\Delta U_{16} = 3.065$$

$$\Delta P_{16} := \frac{P_{l16}^2 \cdot r_{16} \cdot L_{16} + Q_{l16}^2 \cdot r_{16} \cdot L_{16}}{0.4^2} = 121.422$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\Delta Q_{16} := \frac{P_{L16}^2 \cdot x_{16} \cdot L_{16} + Q_{L16}^2 \cdot x_{16} \cdot L_{16}}{0.4^2} = 72.163$$

$$\Delta W_{16} := \tau \cdot \Delta P_{16} = 4.832 \times 10^5$$

Потери в трансформаторах

$$\Delta P_{K400} := 5.5 \cdot 10$$

$$\Delta P_{K1000} := 12.200$$

$$\Delta P_{K1600} := 185 \cdot 50$$

ТП1

$$\Delta U_{Kmp1} := \Delta U_{K400} = 4.5$$

$$z_{mp1} := \frac{\Delta U_{Kmp1} \cdot 10^2}{100 \cdot 0.4} = 11.25$$

$$r_{mp1} := \frac{\Delta P_{Kmp1} \cdot 10^2 \cdot 10^{-3}}{0.4^2} = 3.437$$

$$x_{mp1} := \sqrt{z_{mp1}^2 - r_{mp1}^2} = 10.712$$

$$\Delta P_{mp1} := \frac{r_{mp1}}{2} \cdot \frac{[(P_{p\Sigma 1})^2 + (Q_{p\Sigma 1})^2]}{10^2} = 4.455 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{mp1} := \frac{x_{mp1}}{2} \cdot \frac{[(P_{p\Sigma 1})^2 + (Q_{p\Sigma 1})^2]}{10^2} = 1.388 \times 10^4$$

ТП2

$$\Delta P_{Kmp2} := \Delta P_{K400} = 5.5$$

$$z_{mp2} := \frac{\Delta U_{Kmp2} \cdot 10^2}{100 \cdot 0.4} = 11.25$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$r_{mp2} := \frac{\Delta P_{K_{mp2}} \cdot 10^2 \cdot 10^{-3}}{0.4^2} = 3.437$$

$$x_{mp2} := \sqrt{z_{mp2}^2 - r_{mp2}^2} = 10.712$$

$$\Delta P_{mp2} := \frac{r_{mp2}}{2} \cdot \frac{[(P_{p\Sigma 2})^2 + (Q_{p\Sigma 2})^2]}{10^2} = 6.482 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{mp2} := \frac{x_{mp2}}{2} \cdot \frac{[(P_{p\Sigma 2})^2 + (Q_{p\Sigma 2})^2]}{10^2} = 2.02 \times 10^4$$

ТПЗ

$$\Delta P_{K_{mp3}} := \Delta P_{K_{400}} = 5.5$$

$$z_{mp3} := \frac{\Delta U_{K_{mp3}} \cdot 10^2}{100 \cdot 0.4} = 11.25$$

$$r_{mp3} := \frac{\Delta P_{K_{mp3}} \cdot 10^2 \cdot 10^{-3}}{0.4^2} = 3.437$$

$$x_{mp3} := \sqrt{z_{mp3}^2 - r_{mp3}^2} = 10.712$$

$$\Delta P_{mp3} := \frac{r_{mp3}}{2} \cdot \frac{[(P_{p\Sigma 3})^2 + (Q_{p\Sigma 3})^2]}{10^2} = 4.394 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{mp3} := \frac{x_{mp3}}{2} \cdot \frac{[(P_{p\Sigma 3})^2 + (Q_{p\Sigma 3})^2]}{10^2} = 1.369 \times 10^4$$

ТП4

$$\Delta P_{K_{mp4}} := \Delta P_{K_{1600}} = 18$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$z_{mp4} := \frac{\Delta U_{K_{mp4}} \cdot 10^2}{100 \cdot 1.6} = 4.063$$

$$r_{mp4} := \frac{\Delta P_{K_{mp4}} \cdot 10^2 \cdot 10^{-3}}{1.6^2} = 0.703$$

$$x_{mp4} := \sqrt{z_{mp4}^2 - r_{mp4}^2} = 4.001$$

$$\Delta P_{mp4} := \frac{r_{mp4}}{2} \cdot \frac{[(P_{p\Sigma 4})^2 + (Q_{p\Sigma 4})^2]}{10^2} = 1.299 \times 10^4$$

$$\Delta Q_{mp4} := \frac{x_{mp4}}{2} \cdot \frac{[(P_{p\Sigma 4})^2 + (Q_{p\Sigma 4})^2]}{10^2} = 7.39 \times 10^4$$

ТП5

$$\Delta P_{K_{mp5}} := \Delta P_{K_{1600}} = 18$$

$$z_{mp5} := \frac{\Delta U_{K_{mp5}} \cdot 10^2}{100 \cdot 1.6} = 4.063$$

$$r_{mp5} := \frac{\Delta P_{K_{mp5}} \cdot 10^2 \cdot 10^{-3}}{1.6^2} = 0.703$$

$$x_{mp5} := \sqrt{z_{mp5}^2 - r_{mp5}^2} = 4.001$$

$$\Delta P_{mp5} := \frac{r_{mp5}}{2} \cdot \frac{[(P_{p\Sigma 5})^2 + (Q_{p\Sigma 5})^2]}{10^2} = 1.525 \times 10^4$$

$$\Delta Q_{mp5} := \frac{x_{mp5}}{2} \cdot \frac{[(P_{p\Sigma 5})^2 + (Q_{p\Sigma 5})^2]}{10^2} = 8.676 \times 10^4$$

ТП6

$$\Delta P_{K_{mp6}} := \Delta P_{K_{1600}} = 18$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$z_{\text{мп6}} := \frac{\Delta U_{\text{кмп6}} \cdot 10^2}{100 \cdot 1.6} = 4.063$$

$$r_{\text{мп6}} := \frac{\Delta P_{\text{кмп6}} \cdot 10^2 \cdot 10^{-3}}{1.6^2} = 0.703$$

$$x_{\text{мп6}} := \sqrt{z_{\text{мп6}}^2 - r_{\text{мп6}}^2} = 4.001$$

$$\Delta P_{\text{мп6}} := \frac{r_{\text{мп6}}}{2} \cdot \frac{[(P_{\rho\Sigma 6})^2 + (Q_{\rho\Sigma 6})^2]}{10^2} = 9.04 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{\text{мп6}} := \frac{x_{\text{мп6}}}{2} \cdot \frac{[(P_{\rho\Sigma 6})^2 + (Q_{\rho\Sigma 6})^2]}{10^2} = 5.145 \times 10^4$$

ТП7

$$\Delta P_{\text{кмп7}} := \Delta P_{\text{к1000}} = 12.2$$

$$z_{\text{мп7}} := \frac{\Delta U_{\text{кмп7}} \cdot 10^2}{100 \cdot 1} = 6.5$$

$$r_{\text{мп7}} := \frac{\Delta P_{\text{кмп7}} \cdot 10^2 \cdot 10^{-3}}{1^2} = 1.22$$

$$x_{\text{мп7}} := \sqrt{z_{\text{мп7}}^2 - r_{\text{мп7}}^2} = 6.384$$

$$\Delta P_{\text{мп7}} := \frac{r_{\text{мп7}}}{2} \cdot \frac{[(P_{\rho\Sigma 7})^2 + (Q_{\rho\Sigma 7})^2]}{10^2} = 7.319 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{\text{мп7}} := \frac{x_{\text{мп7}}}{2} \cdot \frac{[(P_{\rho\Sigma 7})^2 + (Q_{\rho\Sigma 7})^2]}{10^2} = 3.83 \times 10^4$$

Выбор сечения проводов сети 10кВ

Кольцо: ПС-ТП4-ТП3-ТП1-ТП2

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$P_{nc1} := \frac{P_{p\Sigma4} + P_{p\Sigma3} + P_{p\Sigma2} + P_{p\Sigma1} + \left(\begin{matrix} \Delta P_{mp4} + \Delta P_{mp3} \dots \\ + \Delta P_{mp2} + \Delta P_{mp1} \end{matrix} \right) \cdot 10^{-3}}{1} = 2.809 \times 10^3$$

$$Q_{nc1} := \frac{Q_{p\Sigma4} + Q_{p\Sigma3} + Q_{p\Sigma2} + Q_{p\Sigma1} + \left(\begin{matrix} \Delta Q_{mp4} + \Delta Q_{mp3} \dots \\ + \Delta Q_{mp2} + \Delta Q_{mp1} \end{matrix} \right) \cdot 10^{-3}}{1} = 2.322 \times 10^3$$

Кольцо: ПС-ТП5-ТП6-ТП7

$$P_{nc2} := \frac{P_{p\Sigma5} + P_{p\Sigma6} + P_{p\Sigma7} + (\Delta P_{mp5} + \Delta P_{mp6} + \Delta P_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{1} = 3.859 \times 10^3$$

$$Q_{nc2} := \frac{Q_{p\Sigma5} + Q_{p\Sigma6} + Q_{p\Sigma7} + (\Delta Q_{mp5} + \Delta Q_{mp6} + \Delta Q_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{1} = 3.004 \times 10^3$$

max Послеаварийный режим соответствует замкнутому кольцу

$$P_{nc.na} := \frac{P_{p\Sigma4} + P_{p\Sigma3} + P_{p\Sigma2} + P_{p\Sigma1} + P_{p\Sigma6} + P_{p\Sigma7} \dots + \left(\begin{matrix} \Delta P_{mp4} + \Delta P_{mp3} + \Delta P_{mp2} \dots \\ + \Delta P_{mp1} + \Delta P_{mp6} + \Delta P_{mp7} \end{matrix} \right) \cdot 10^{-3}}{1} = 5.088 \times 10^3$$

$$Q_{nc.na} := \frac{Q_{p\Sigma4} + Q_{p\Sigma3} + Q_{p\Sigma2} + Q_{p\Sigma1} + Q_{p\Sigma6} + Q_{p\Sigma7} \dots + \left(\begin{matrix} \Delta Q_{mp4} + \Delta Q_{mp3} \dots \\ + \Delta Q_{mp2} + \Delta Q_{mp1} + \Delta Q_{mp6} + \Delta Q_{mp7} \end{matrix} \right) \cdot 10^{-3}}{1} = 3.864 \times 10^3$$

$$I_{nc1.max} := \frac{\sqrt{(P_{nc1})^2 + (Q_{nc1})^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 210.395$$

$$I_{P_{nc1}.max} := 1.05 \cdot 1.1 I_{nc1.max} = 243.006$$

$$\frac{I_{P_{nc1}.max}}{k_1 \cdot 1} = 270.006$$

Выбираем АПвПуг 3х240/25

$$I_{\partial on1} := 392 = 392$$

$$I_{\partial on1} \geq \frac{I_{P_{nc1}.max}}{k_1 \cdot 1}$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$i_{P_{nc1.max}} := \frac{I_{P_{nc1.max}}}{1} = 243.006$$

$$\cos_{nc1} := \frac{P_{nc1}}{\sqrt{(P_{nc1})^2 + (Q_{nc1})^2}} = 0.771$$

$$\sin_{nc1} := \sqrt{1 - \cos_{nc1}^2} = 0.637$$

$$\Delta U_{nc1} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot i_{P_{nc1.max}} \cdot (L_{nc1})}{10000} \right] \cdot (r \cdot \cos_{nc1} + x \cdot \sin_{nc1}) \cdot 100 = 0.207$$

$$I_{nc2.max} := \frac{\sqrt{(P_{nc2})^2 + (Q_{nc2})^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 282.327$$

$$I_{P_{nc2.max}} := 1.05 \cdot 1.1 I_{nc2.max} = 326.087$$

$$\frac{I_{P_{nc2.max}}}{k_1 \cdot 1} = 362.319$$

Выбираем АПвПуг 3х240/25

$$I_{\partial on2} := 392 = 392$$

$$I_{\partial on2} \geq \frac{I_{P_{nc2.max}}}{k_1 \cdot 1}$$

$$i_{P_{nc2.max}} := \frac{I_{P_{nc2.max}}}{1} = 326.087$$

$$L_{nc2} := 675 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_{nc2} := \frac{P_{nc2}}{\sqrt{(P_{nc2})^2 + (Q_{nc2})^2}} = 0.789$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\sin_{nc2} := \sqrt{1 - \cos_{nc2}^2} = 0.614$$

$$\Delta U_{nc2} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot i_{p_{nc2,max}} \cdot (L_{nc2})}{10000} \right] \cdot (r \cdot \cos_{nc2} + x \cdot \sin_{nc2}) \cdot 100 = 0.526$$

Послеаварийный режим

$$I_{nc,na,max} := \frac{\sqrt{(P_{nc,na})^2 + (Q_{nc,na})^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 368.864$$

$$\frac{0.9 I_{nc,na,max}}{k_1 \cdot 1} = 368.864$$

Выбираем АПвПуг 3х240/25

$$I_{\partial l_{\partial on,na}} := 392 = 392$$

$$I_{\partial l_{\partial on,na}} \geq \frac{0.9 \cdot I_{nc,na,max}}{k_1 \cdot 1}$$

$$i_{p_{nc,na}} := \frac{I_{nc,na,max}}{1} = 368.864$$

$$L_{nc,na} := 1.27 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_{nc,na} := \frac{P_{nc,na}}{\sqrt{(P_{nc,na})^2 + (Q_{nc,na})^2}} = 0.796$$

$$\sin_{nc,na} := \sqrt{1 - \cos_{nc,na}^2} = 0.605$$

$$\Delta U_{pn,na} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot i_{p_{nc,na}} \cdot (L_{nc,na})}{10000} \right] \cdot (r \cdot \cos_{nc,na} + x \cdot \sin_{nc,na}) \cdot 100 = 1.122 \times 10^{-3}$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

ЛУЧЕВАЯ СХЕМА

Кольцо:ПС-ТП4-ТП3-ТП1-ТП2

$$P_{nc1.2} := \frac{P_{p\Sigma 4} + P_{p\Sigma 3} + P_{p\Sigma 2} + P_{p\Sigma 1} \dots + (\Delta P_{mp4} + \Delta P_{mp3} + \Delta P_{mp2} + \Delta P_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} = 1.404 \times 10^3$$

$$Q_{nc1.2} := \frac{Q_{p\Sigma 4} + Q_{p\Sigma 3} + Q_{p\Sigma 2} + Q_{p\Sigma 1} \dots + (\Delta Q_{mp4} + \Delta Q_{mp3} + \Delta Q_{mp2} + \Delta Q_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} = 1.161 \times 10^3$$

$$P_{nc.na1.2} := \frac{P_{p\Sigma 3} + P_{p\Sigma 2} + P_{p\Sigma 1} + (\Delta P_{mp3} + \Delta P_{mp2} + \Delta P_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} \dots = 2.161 \times 10^3 + \frac{(P_{p\Sigma 4} + \Delta P_{mp4} \cdot 10^{-3})}{1}$$

$$Q_{nc.na1.2} := \frac{Q_{p\Sigma 3} + Q_{p\Sigma 2} + Q_{p\Sigma 1} + (\Delta Q_{mp3} + \Delta Q_{mp2} + \Delta Q_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} \dots = 1.798 \times 10^3 + \frac{Q_{p\Sigma 4} + \Delta Q_{mp4} \cdot 10^{-3}}{1}$$

Кольцо:ПС-ТП5-ТП6-ТП7

$$P_{nc2.2} := \frac{P_{p\Sigma 5} + P_{p\Sigma 6} + P_{p\Sigma 7} + (\Delta P_{mp5} + \Delta P_{mp6} + \Delta P_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} = 1.929 \times 10^3$$

$$Q_{nc2.2} := \frac{Q_{p\Sigma 5} + Q_{p\Sigma 6} + Q_{p\Sigma 7} + (\Delta Q_{mp5} + \Delta Q_{mp6} + \Delta Q_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} = 1.502 \times 10^3$$

$$P_{nc.na2.2} := \frac{P_{p\Sigma 6} + P_{p\Sigma 7} + (\Delta P_{mp6} + \Delta P_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} + \frac{P_{p\Sigma 5} + \Delta P_{mp5} \cdot 10^{-3}}{1} = 2.719 \times 10^3$$

$$Q_{nc.na2.2} := \frac{Q_{p\Sigma 6} + Q_{p\Sigma 7} + (\Delta Q_{mp6} + \Delta Q_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} + \frac{Q_{p\Sigma 5} + \Delta Q_{mp5} \cdot 10^{-3}}{1} = 2.232 \times 10^3$$

$$I_{nc1.2.max} := \frac{\sqrt{(P_{nc1.2})^2 + (Q_{nc1.2})^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 105.197$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$I_{P_{nc1.2.max}} := 1.05 \cdot 1.1 I_{nc1.2.max} = 121.503$$

$$\frac{I_{P_{nc1.2.max}}}{k_1 \cdot 1 \cdot 0.95} = 142.109$$

Выбираем АПвПуг 3x70/16

$$I_{\partial_{дон1.1}} := 156 = 156$$

$$I_{\partial_{дон1.1}} \geq \frac{I_{P_{nc1.2.max}}}{k_1 \cdot 1}$$

$$I_{P_{nc1.2.max}} := \frac{I_{P_{nc1.2.max}}}{1} = 121.503$$

$$L_{nc1.2} := 360 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_{nc1.2} := \frac{P_{nc1.2}}{\sqrt{(P_{nc1.2})^2 + (Q_{nc1.2})^2}} = 0.771$$

$$\sin_{nc1.2} := \sqrt{1 - \cos_{nc1.2}^2} = 0.637$$

$$\Delta U_{nc1.2} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot I_{P_{nc1.2.max}} \cdot (L_{nc1.2})}{10000} \right] \cdot (r_1 \cdot \cos_{nc1.2} + x_1 \cdot \sin_{nc1.2}) \cdot 100 = 0.288$$

Послеаварийный режим

$$I_{nc.na1.2.max} := \frac{\sqrt{(P_{nc.na1.2})^2 + (Q_{nc.na1.2})^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 162.321$$

$$\frac{0.9 I_{nc.na1.2.max}}{k_1 \cdot 1 \cdot 0.95} = 170.865$$

Выбираем АПвПуг 3x70/16

$$I_{\partial_{дон.na1.2}} := 193 = 193$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$I_{\partial \text{дон.на1.2}} \geq \frac{0.9 \cdot I_{\text{нс.на1.2.max}}}{\kappa_1 \cdot 1}$$

$$I_{\text{нс.на1.2}} := \frac{I_{\text{нс.на1.2.max}}}{1} = 162.321$$

$$L_{\text{нс.на1.2}} := 1.27 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_{\text{нс.на1.2}} := \frac{P_{\text{нс.на1.2}}}{\sqrt{(P_{\text{нс.на1.2}})^2 + (Q_{\text{нс.на1.2}})^2}} = 0.769$$

$$\sin_{\text{нс.на1.2}} := \sqrt{1 - \cos_{\text{нс.на1.2}}^2} = 0.64$$

$$\Delta U_{\text{пр.на1.2}} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{нс.на1.2}} \cdot (L_{\text{нс.на1.2}})}{1000} \right] \cdot (r_1 \cdot \cos_{\text{нс.на1.2}} + x_1 \cdot \sin_{\text{нс.на1.2}}) \cdot 100 = 0.014$$

$$I_{\text{нс2.2.max}} := \frac{\sqrt{(P_{\text{нс2.2}})^2 + (Q_{\text{нс2.2}})^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 141.163$$

$$I_{\text{нс2.2.max}} := 1.05 \cdot 1.1 I_{\text{нс2.2.max}} = 163.044$$

$$\frac{I_{\text{нс2.2.max}}}{\kappa_1 \cdot 1 \cdot 0.95} = 190.694$$

Выбираем АПвПуг 3х120/16

$$I_{\partial \text{дон2.2}} := 265 = 265$$

$$I_{\partial \text{дон2.2}} \geq \frac{I_{\text{нс2.2.max}}}{\kappa_1 \cdot 1}$$

$$I_{\text{нс2.2.max}} := \frac{I_{\text{нс2.2.max}}}{1} = 163.044$$

$$L_{\text{нс2.2}} := 675 \cdot 10^{-3}$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\cos_{nc2.2} := \frac{P_{nc2.2}}{\sqrt{(P_{nc2.2})^2 + (Q_{nc2.2})^2}} = 0.789$$

$$x2 := x_{95} \quad r2 := r_{95}$$

$$\sin_{nc2.2} := \sqrt{1 - \cos_{nc2.2}^2} = 0.614$$

$$\Delta U_{nc2.2} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot i_{P_{nc2.2.max}} \cdot (L_{nc2.2})}{1000} \right] \cdot (r2 \cdot \cos_{nc2.2} + x2 \cdot \sin_{nc2.2}) \cdot 100 = 5.609$$

Послеаварийный режим

$$I_{nc.na2.2.max} := \frac{\sqrt{(P_{nc.na2.2})^2 + (Q_{nc.na2.2})^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 203.128$$

$$I_{P_{nc.na2.2.max}} := 1.05 \cdot 1.1 I_{nc.na2.2.max} = 234.613$$

$$\frac{0.9 I_{P_{nc.na2.2.max}}}{k_1 \cdot 1 \cdot 0.95} = 246.961$$

Выбираем АПВПуг 3х 3х120/16

$$I_{\partial on.na2.2} := 265 = 265$$

$$I_{\partial on.na2.2} \geq \frac{0.9 \cdot I_{nc.na2.2.max}}{k_1 \cdot 1}$$

$$i_{P_{nc.na2.2}} := \frac{I_{nc.na2.2.max}}{1} = 203.128$$

$$L_{nc.na2.2} := 675 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_{nc.na2.2} := \frac{P_{nc.na2.2}}{\sqrt{(P_{nc.na2.2})^2 + (Q_{nc.na2.2})^2}} = 0.773$$

$$\sin_{nc.na2.2} := \sqrt{1 - \cos_{nc.na2.2}^2} = 0.634$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\Delta U_{\text{nc.na2.2}} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot i_{\text{nc.na2.2}} \cdot (L_{\text{nc.na2.2}})}{1000} \right] \cdot (r_2 \cdot \cos_{\text{nc.na2.2}} + x_2 \cdot \sin_{\text{nc.na2.2}}) \cdot 100 = 6.891$$

Потери мощности в распределительных КЛ, отходящих от РП
ПЕТЛЯ

Участок: ПС-ТП4

$$\Delta P_{\text{nc.1.1}} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{\text{p}\Sigma 4} + P_{\text{p}\Sigma 2} + P_{\text{p}\Sigma 3} + P_{\text{p}\Sigma 1} \dots + (\Delta P_{\text{mp}4} + \Delta P_{\text{mp}3} + \Delta P_{\text{mp}2} + \Delta P_{\text{mp}1}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r \cdot L_{\text{np}1} \dots + \left[\frac{Q_{\text{p}\Sigma 4} + Q_{\text{p}\Sigma 3} + Q_{\text{p}\Sigma 1} + Q_{\text{p}\Sigma 2} \dots + (\Delta Q_{\text{mp}3} + \Delta Q_{\text{mp}1} + \Delta Q_{\text{mp}2} + \Delta Q_{\text{mp}4}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r \cdot L_{\text{np}1}}{10^2} = 5.139 \times 10$$

$$\Delta Q_{\text{nc.1.1}} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{\text{p}\Sigma 4} + P_{\text{p}\Sigma 3} + P_{\text{p}\Sigma 2} + P_{\text{p}\Sigma 1} \dots + (\Delta P_{\text{mp}3} + \Delta P_{\text{mp}2} + \Delta P_{\text{mp}4} + \Delta P_{\text{mp}1}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x \cdot L_{\text{np}1} \dots + \left[\frac{Q_{\text{p}\Sigma 2} + Q_{\text{p}\Sigma 3} + Q_{\text{p}\Sigma 1} + Q_{\text{p}\Sigma 4} \dots + (\Delta Q_{\text{mp}3} + \Delta Q_{\text{mp}1} + \Delta Q_{\text{mp}2} + \Delta Q_{\text{mp}4}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x \cdot L_{\text{np}1}}{10^2} = 2.339 \times 1$$

$$\Delta W_{\text{nc.1.1}} := \tau \cdot \Delta P_{\text{nc.1.1}} = 2.045 \times 10^7$$

Участок: ТП4-ТП3

$$L_{\text{np}2} := 0.95$$

$$\Delta P_{\text{nc.1.2}} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{\text{p}\Sigma 3} + P_{\text{p}\Sigma 2} + P_{\text{p}\Sigma 1} \dots + (\Delta P_{\text{mp}3} + \Delta P_{\text{mp}2} + \Delta P_{\text{mp}1}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r \cdot L_{\text{np}2} \dots + \left[\frac{Q_{\text{p}\Sigma 3} + Q_{\text{p}\Sigma 1} + Q_{\text{p}\Sigma 2} \dots + (\Delta Q_{\text{mp}3} + \Delta Q_{\text{mp}1} + \Delta Q_{\text{mp}2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r \cdot L_{\text{np}2}}{10^2} = 1.7 \times 10^3$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\Delta Q_{nc.1.2} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 3} + P_{p\Sigma 2} + P_{p\Sigma 1} \dots + (\Delta P_{mp3} + \Delta P_{mp2} + \Delta P_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x \cdot L_{np2} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 3} + Q_{p\Sigma 1} + Q_{p\Sigma 2} \dots + (\Delta Q_{mp3} + \Delta Q_{mp1} + \Delta Q_{mp2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x \cdot L_{np2}}{10^2} = 773.368$$

$$\Delta W_{nc.1.2} := \tau \cdot \Delta P_{nc.1.2} = 6.763 \times 10^6$$

Участок: ТП3-ТП2

$$L_{np1.3} := 0.27$$

$$\Delta P_{nc.1.3} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2} + P_{p\Sigma 1} + (\Delta P_{mp2} + \Delta P_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r \cdot L_{np1.3} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 1} + Q_{p\Sigma 2} + (\Delta Q_{mp1} + \Delta Q_{mp2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r \cdot L_{np1.3}}{10^2} = 229.445$$

$$\Delta Q_{nc.1.3} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2} + P_{p\Sigma 1} + (\Delta P_{mp2} + \Delta P_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x \cdot L_{np1.3} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 1} + Q_{p\Sigma 2} + (\Delta Q_{mp1} + \Delta Q_{mp2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x \cdot L_{np1.3}}{10^2} = 104.407$$

$$\Delta W_{nc.1.3} := \tau \cdot \Delta P_{nc.1.3} = 9.131 \times 10^5$$

Участок: ТП2-ТП1

$$L_{np1.4} := 0.12$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\Delta P_{nc.14} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 1} + (\Delta P_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r \cdot L_{np1.4} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 1} + (\Delta Q_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r \cdot L_{np1.4}}{10^2} = 20.951$$

$$\Delta Q_{nc.14} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 1} + (\Delta P_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x \cdot L_{np1.4} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 1} + (\Delta Q_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x \cdot L_{np1.4}}{10^2} = 9.533$$

$$\Delta W_{nc.14} := \tau \cdot \Delta P_{nc.14} = 8.337 \times 10^4$$

Участок: ПС-ТП5

$$L_{np1.5} := 0.23$$

$$\Delta P_{nc.15} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 5} + P_{p\Sigma 6} + P_{p\Sigma 7} \dots + (\Delta P_{mp5} + \Delta P_{mp6} + \Delta P_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r \cdot L_{np1.5} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 5} + Q_{p\Sigma 6} + Q_{p\Sigma 7} \dots + (\Delta Q_{mp5} + \Delta Q_{mp6} + \Delta Q_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r \cdot L_{np1.5}}{10^2} = 3.547 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{nc.15} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 5} + P_{p\Sigma 6} + P_{p\Sigma 7} \dots + (\Delta P_{mp5} + \Delta P_{mp6} + \Delta P_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x \cdot L_{np1.5} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 5} + Q_{p\Sigma 6} + Q_{p\Sigma 7} \dots + (\Delta Q_{mp5} + \Delta Q_{mp6} + \Delta Q_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x \cdot L_{np1.5}}{10^2} = 1.614 \times 10^3$$

$$\Delta W_{nc.15} := \tau \cdot \Delta P_{nc.15} = 1.412 \times 10^7$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

Участок: ТП5-ТП6 $L_{np1.6} := 0.1$

$$\Delta P_{nc.1.6} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 6} + P_{p\Sigma 7} + (\Delta P_{mp6} + \Delta P_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r \cdot L_{np1.6} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 6} + Q_{p\Sigma 7} + (\Delta Q_{mp6} + \Delta Q_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r \cdot L_{np1.6}}{10^2} = 488.459$$

$$\Delta Q_{nc.1.6} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 6} + P_{p\Sigma 7} + (\Delta P_{mp6} + \Delta P_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x \cdot L_{np1.6} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 6} + Q_{p\Sigma 7} + (\Delta Q_{mp6} + \Delta Q_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x \cdot L_{np1.6}}{10^2} = 222.268$$

$$\Delta W_{nc.1.6} := \tau \cdot \Delta P_{nc.1.6} = 1.944 \times 10^6$$

Участок: ТП6-ТП7

$L_{np1.7} := 0.245$

$$\Delta P_{nc.1.7} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 7} + (\Delta P_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r \cdot L_{np1.7} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 7} + (\Delta Q_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r \cdot L_{np1.7}}{10^2} = 200.129$$

$$\Delta Q_{nc.1.7} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 7} + (\Delta P_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x \cdot L_{np1.7} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 7} + (\Delta Q_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x \cdot L_{np1.7}}{10^2} = 91.066$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
 Расчеты в ПК Mathcad 15

$$\Delta W_{nc.1.7} := \tau \cdot \Delta P_{nc.1.7} = 7.964 \times 10^5$$

ЛУЧ

Участок: ПС-ТП4

$$\Delta P_{nc.2.1} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 4} + P_{p\Sigma 3} + P_{p\Sigma 2} + P_{p\Sigma 1} \dots + (\Delta P_{mp4} + \Delta P_{mp3} + \Delta P_{mp2} + \Delta P_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_2 \cdot L_{np1} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 4} + Q_{p\Sigma 3} + Q_{p\Sigma 1} + Q_{p\Sigma 2} \dots + (\Delta Q_{mp4} + \Delta Q_{mp3} + \Delta Q_{mp1} + \Delta Q_{mp2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_2 \cdot L_{np1}}{10^2} = 1.299 \times$$

$$\Delta Q_{nc.2.1} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 4} + P_{p\Sigma 3} + P_{p\Sigma 2} + P_{p\Sigma 1} \dots + (\Delta P_{mp4} + \Delta P_{mp3} + \Delta P_{mp2} + \Delta P_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_2 \cdot L_{np1} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 4} + Q_{p\Sigma 3} + Q_{p\Sigma 1} + Q_{p\Sigma 2} \dots + (\Delta Q_{mp4} + \Delta Q_{mp3} + \Delta Q_{mp1} + \Delta Q_{mp2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_2 \cdot L_{np1}}{10^2} = 2.398 \times$$

$$\Delta W_{nc.2.1} := \tau \cdot \Delta P_{nc.1.2} = 6.763 \times 10^6$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПК Mathcad 15

Участок: ТП4-ТП3

$$\Delta P_{nc.2.2} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 3} + P_{p\Sigma 2} + P_{p\Sigma 1} \dots + (\Delta P_{mp3} + \Delta P_{mp2} + \Delta P_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_2 \cdot L_{np2} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 3} + Q_{p\Sigma 1} + Q_{p\Sigma 2} \dots + (\Delta Q_{mp3} + \Delta Q_{mp1} + \Delta Q_{mp2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_2 \cdot L_{np2}}{10^2} = 4.295 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{nc.2.2} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 3} + P_{p\Sigma 2} + P_{p\Sigma 1} \dots + (\Delta P_{mp3} + \Delta P_{mp2} + \Delta P_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_2 \cdot L_{np2} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 3} + Q_{p\Sigma 1} + Q_{p\Sigma 2} \dots + (\Delta Q_{mp3} + \Delta Q_{mp1} + \Delta Q_{mp2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_2 \cdot L_{np2}}{10^2} = 793.13$$

$$\Delta W_{nc.2.2} := \tau \cdot \Delta P_{nc.2.2} = 1.709 \times 10^7$$

Участок: ТП3-ТП2

$$\Delta P_{nc.2.3} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2} + P_{p\Sigma 1} + (\Delta P_{mp2} + \Delta P_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_2 \cdot L_{np1.3} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 1} + Q_{p\Sigma 2} + (\Delta Q_{mp1} + \Delta Q_{mp2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_2 \cdot L_{np1.3}}{10^2} = 579.839$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
 Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\Delta Q_{nc.2.3} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2} + P_{p\Sigma 1} + (\Delta P_{mp2} + \Delta P_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x2 \cdot Lnp_{1.3} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 1} + Q_{p\Sigma 2} + (\Delta Q_{mp1} + \Delta Q_{mp2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x2 \cdot Lnp_{1.3}}{10^2} = 107.075$$

$$\Delta W_{nc.2.3} := \tau \cdot \Delta P_{nc.2.3} = 2.307 \times 10^6$$

Участок: ТП2-ТП1

$$\Delta P_{nc.2.4} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 1} + (\Delta P_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r2 \cdot Lnp_{1.4} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 1} + (\Delta Q_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r2 \cdot Lnp_{1.4}}{10^2} = 52.945$$

$$\Delta Q_{nc.2.4} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 1} + (\Delta P_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x2 \cdot Lnp_{1.4} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 1} + (\Delta Q_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x2 \cdot Lnp_{1.4}}{10^2} = 9.777$$

$$\Delta W_{nc.2.4} := \tau \cdot \Delta P_{nc.2.4} = 2.107 \times 10^5$$

Участок: ПС-ТП5

$$\Delta P_{nc.2.5} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 5} + P_{p\Sigma 6} + P_{p\Sigma 7} \dots + (\Delta P_{mp5} + \Delta P_{mp6} + \Delta P_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r2 \cdot Lnp_{1.5} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 5} + Q_{p\Sigma 6} + Q_{p\Sigma 7} \dots + (\Delta Q_{mp5} + \Delta Q_{mp6} + \Delta Q_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r2 \cdot Lnp_{1.5}}{10^2} = 8.965 \times 10^3$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\Delta Q_{nc.2.5} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 5} + P_{p\Sigma 6} + P_{p\Sigma 7} \dots + (\Delta P_{mp5} + \Delta P_{mp6} + \Delta P_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x2 \cdot Lnp_{1.5} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 5} + Q_{p\Sigma 6} + Q_{p\Sigma 7} \dots + (\Delta Q_{mp5} + \Delta Q_{mp6} + \Delta Q_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x2 \cdot Lnp_{1.5}}{10^2} = 1.655 \times 10^3$$

$$\Delta W_{nc.2.5} := \tau \cdot \Delta P_{nc.2.5} = 3.568 \times 10^7$$

Участок: ТП5-ТП6

$$\Delta P_{nc.2.6} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 6} + P_{p\Sigma 7} + (\Delta P_{mp6} + \Delta P_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r2 \cdot Lnp_{1.6} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 6} + Q_{p\Sigma 7} + (\Delta Q_{mp6} + \Delta Q_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r2 \cdot Lnp_{1.6}}{10^2} = 1.234 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{nc.2.6} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 6} + P_{p\Sigma 7} + (\Delta P_{mp6} + \Delta P_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x2 \cdot Lnp_{1.6} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 6} + Q_{p\Sigma 7} + (\Delta Q_{mp6} + \Delta Q_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x2 \cdot Lnp_{1.6}}{10^2} = 227.948$$

$$\Delta W_{nc.2.6} := \tau \cdot \Delta P_{nc.2.6} = 4.912 \times 10^6$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

Участок: ТП6-ТП7

$$\Delta P_{nc.2.7} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 7} + (\Delta P_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_2 \cdot L_{np1.7} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 7} + (\Delta Q_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_2 \cdot L_{np1.7}}{10^2} = 505.752$$

$$\Delta Q_{nc.2.7} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 7} + (\Delta P_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_2 \cdot L_{np1.7} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 7} + (\Delta Q_{mp7}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_2 \cdot L_{np1.7}}{10^2} = 93.393$$

$$\Delta W_{nc.2.7} := \tau \cdot \Delta P_{nc.2.7} = 2.013 \times 10^6$$

ВАРИАНТ 2

Расчет нагрузок 0.4

$$P_{л2.4} := P_2 + 0.8 \cdot (P_{yn10}) = 123.5$$

$$Q_{л2.4} := Q_2 + 0.8 \cdot (Q_{yn10}) = 105.191$$

$$P_{л2.5} := P_{y14} = 69$$

$$Q_{л2.5} := Q_{y14} = 55.2$$

$$P_{л2.9} := \frac{P_{mц}}{2} = 750.4$$

$$Q_{л2.9} := \frac{Q_{mц}}{2} = 600.32$$

$$P_{л2.10} := \frac{P_0}{2} = 759.5 \quad Q_{л2.10} := \frac{Q_0}{2} = 660.765$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$P_{Л2.14} := P_{M18} + 0.8 \cdot P_{yn15} = 133.64$$

$$Q_{Л2.14} := Q_{M18} + 0.8 \cdot (Q_{yn15}) = 107.517$$

$$P_{Л2.15} := P_{mц4} + 0.8 \cdot P_{yn11} = 716.55$$

$$Q_{Л2.15} := Q_{mц4} + 0.8 \cdot (Q_{yn11}) = 573.996$$

$$P_{Л17} := \frac{P_{mц}}{2} = 750.4$$

$$Q_{Л17} := \frac{Q_{mц}}{2} = 600.32$$

$$P_{Л18} := \frac{P_0}{2} = 759.5$$

$$Q_{Л18} := \frac{Q_0}{2} = 660.765$$

Суммарные мощности трансформаторных подстанций

$$Q_{p\Sigma 2.2} := Q_{Л5} + Q_{Л6} + Q_{Л4} + Q_{Л2.14} = 522.708$$

$$P_{p\Sigma 2.2} := P_{Л5} + P_{Л6} + P_{Л4} + P_{Л2.14} = 586.14$$

$$tg_{p\Sigma 2.2} := \frac{Q_{p\Sigma 2.2}}{P_{p\Sigma 2.2}} = 0.892$$

$$P_{p\Sigma 2.4} := P_{Л2.9} = 750.4$$

$$Q_{p\Sigma 2.4} := Q_{Л2.9} = 600.32$$

$$tg_{p\Sigma 2.4} := \frac{Q_{p\Sigma 2.4}}{P_{p\Sigma 2.4}} = 0.8$$

$$P_{p\Sigma 2.5} := P_{Л17} + P_{Л18} = 1.51 \times 10^3$$

$$Q_{p\Sigma 2.5} := Q_{Л17} + Q_{Л18} = 1.261 \times 10^3$$

$$tg_{p\Sigma 2.5} := \frac{Q_{p\Sigma 2.5}}{P_{p\Sigma 2.5}} = 0.835$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$P_{p\Sigma 2.6} := P_{\Lambda 2.10} + P_{\Lambda 11} = 805.4$$

$$Q_{p\Sigma 2.6} := Q_{\Lambda 2.10} + Q_{\Lambda 11} = 713.208$$

$$\text{tg}_{p\Sigma 2.6} := \frac{Q_{p\Sigma 2.6}}{P_{p\Sigma 2.6}} = 0.545$$

$$P_{p\Sigma 2.7} := P_{\Lambda 12} = 623.25$$

$$Q_{p\Sigma 2.7} := Q_{\Lambda 12} = 323.09$$

$$\text{tg}_{p\Sigma 2.7} := \frac{Q_{p\Sigma 2.7}}{P_{p\Sigma 2.7}} = 0.518$$

$$P_{p\Sigma 2.8} := P_{\Lambda 13} = 784.6$$

$$Q_{p\Sigma 2.8} := Q_{\Lambda 13} = 444.676$$

$$\text{tg}_{p\Sigma 2.8} := \frac{Q_{p\Sigma 2.8}}{P_{p\Sigma 2.8}} = 0.567$$

$$P_{p\Sigma 2.9} := P_{\Lambda 2.15} + P_{\Lambda 16} = 720.85$$

$$Q_{p\Sigma 2.9} := Q_{\Lambda 2.15} + Q_{\Lambda 16} = 577.866$$

$$\text{tg}_{p\Sigma 2.9} := \frac{Q_{p\Sigma 2.9}}{P_{p\Sigma 2.9}} = 0.802$$

Выбор числа и мощности трансформаторов КТП с учетом КРМ

Выбор конденсаторных батарей

ТП 2

$$Q_{\Phi_{к\у}2.2.\Sigma} := P_{p\Sigma 2.2} \cdot (\text{tg}_{p\Sigma 2.2} - \text{tg}_{np}) = 317.559$$

$$Q_{к\у2.2.\Sigma_{\text{л\и}}} := \frac{1.1 \cdot Q_{\Phi_{к\у}2.2.\Sigma}}{2} = 174.657$$

АУКРМ-0,4-175-25-УХЛ4

ТП 4

$$Q_{\Phi_{к\у}2.4.\Sigma} := P_{p\Sigma 2.4} \cdot (\text{tg}_{p\Sigma 2.4} - \text{tg}_{np}) = 337.68$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$Q_{ky2.4.\Sigma|ull} := \frac{1.1 \cdot Q_{\phi_{ky2.4.\Sigma}}}{2} = 185.724$$

АУКРМ-0.4-200-25-УХЛ4

ТП 5

$$Q_{\phi_{ky2.5.\Sigma}} := P_{p\Sigma 2.5} \cdot (tg_{p\Sigma 2.5} - tg_{np}) = 732.62$$

$$Q_{ky2.5.\Sigma|ull} := \frac{1.1 \cdot Q_{\phi_{ky2.5.\Sigma}}}{2} = 402.941$$

АУКРМ-0.4-420-20-УХЛ4

ТП 6

$$Q_{\phi_{ky2.6.\Sigma}} := P_{p\Sigma 2.6} \cdot (tg_{p\Sigma 2.6} - tg_{np}) = 157.332$$

$$Q_{ky2.6.\Sigma|ull} := \frac{1.1 \cdot Q_{\phi_{ky2.6.\Sigma}}}{2} = 86.533$$

АУКРМ-0,4-90-15-УХЛ4

ТП 7

$$Q_{\phi_{ky2.7.\Sigma}} := P_{p\Sigma 2.7} \cdot (tg_{p\Sigma 2.7} - tg_{np}) = 104.952$$

$$Q_{ky2.7.\Sigma|ull} := \frac{1.1 \cdot Q_{\phi_{ky2.7.\Sigma}}}{2} = 57.724$$

АУКРМ-0.4-60-20-УХЛ4

ТП 8

$$Q_{\phi_{ky2.8.\Sigma}} := P_{p\Sigma 2.8} \cdot (tg_{p\Sigma 2.8} - tg_{np}) = 170.066$$

$$Q_{ky2.8.\Sigma|ull} := \frac{1.1 \cdot Q_{\phi_{ky2.8.\Sigma}}}{2} = 93.536$$

АУКРМ-0,4-100-25-УХЛ4

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

ТП 9

$$Q_{\phi_{ky2.9.\Sigma}} := P_{p\Sigma 2.9} \cdot (tg_{p\Sigma 2.9} - tg_{np}) = 325.569$$

$$Q_{ky2.9.\Sigma_{\text{ull}}} := \frac{1.1 \cdot Q_{\phi_{ky2.9.\Sigma}}}{2} = 179.063$$

АУКРМ-0.4-200-25-УХЛ4

Расчетная мощность трансформатора КТП

ТП2

$$Q_{\text{неск}2.2} := Q_{p\Sigma 2.2} - Q_{\phi_{ky2.2.\Sigma}} = 205.149$$

$$S_{mp2.2} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 2.2}^2 + Q_{\text{неск}2.2}^2}}{K_3 \cdot N_m} = 443.574$$

Выбираем трансформатор марки ТМ - 630/10

$$S_{\text{ном}630} := 630$$

Проверяем выбранный трансформатор по коэффициенту загрузки

$$K_{3\text{факт}2.2} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 2.2}^2 + Q_{\text{неск}2.2}^2}}{S_{\text{ном}630} \cdot N_m} = 0.493$$

$$K_{3\text{н.аб}2.2} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 2.2}^2 + Q_{\text{неск}2.2}^2}}{1 \cdot S_{\text{ном}630}} = 0.986$$

ТП4

$$Q_{\text{неск}2.4} := Q_{p\Sigma 2.4} - Q_{\phi_{ky2.4.\Sigma}} = 262.64$$

$$S_{mp2.4} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 2.4}^2 + Q_{\text{неск}2.4}^2}}{K_3 \cdot N_m} = 567.882$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

Выбираем трансформатор марки ТМ 630 /10

Проверяем выбранный трансформатор по коэффициенту загрузки

$$K_{з\text{факт}2.4} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 2.4}^2 + Q_{неск2.4}^2}}{S_{ном630} \cdot N_m} = 0.631$$

$$K_{з\text{н.аб}2.4} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 2.4}^2 + Q_{неск2.4}^2}}{1 \cdot S_{ном630}} = 1.262$$

ТП5

$$Q_{неск2.5} := Q_{p\Sigma 2.5} - Q_{ф_{к\psi}2.5.\Sigma} = 528.465$$

$$S_{mp2.5} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 2.5}^2 + Q_{неск2.5}^2}}{K_z \cdot N_m} = 1.143 \times 10^3$$

Выбираем трансформатор марки ТМ - 1600/10

Проверяем выбранный трансформатор по коэффициенту загрузки

$$K_{з\text{факт}2.5} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 2.5}^2 + Q_{неск2.5}^2}}{S_{ном1600} \cdot N_m} = 0.5$$

$$K_{з\text{н.аб}2.5} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 2.5}^2 + Q_{неск2.5}^2}}{1 \cdot S_{ном1600}} = 1$$

ТП6

$$Q_{неск2.6} := Q_{p\Sigma 2.6} - Q_{ф_{к\psi}2.6.\Sigma} = 555.876$$

$$S_{mp2.6} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 2.6}^2 + Q_{неск2.6}^2}}{K_z \cdot N_m} = 699.003$$

Выбираем трансформатор марки ТМ 1000 /10

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

Проверяем выбранный трансформатор по коэффициенту загрузки

$$K_{з\text{факт}2.6} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 2.6}^2 + Q_{неск2.6}^2}}{S_{ном1000} \cdot N_m} = 0.489$$

$$K_{з_{н.аб}2.6} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 2.6}^2 + Q_{неск2.6}^2}}{1 \cdot S_{ном1000}} = 0.979$$

ТП7

$$Q_{неск2.7} := Q_{p\Sigma 2.7} - Q_{\phi_{кy}2.7.\Sigma} = 218.138$$

$$S_{mp2.7} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 2.7}^2 + Q_{неск2.7}^2}}{K_z \cdot N_m} = 471.658$$

Выбираем трансформатор марки ТМ 630/10

Проверяем выбранный трансформатор по коэффициенту загрузки

$$K_{з\text{факт}2.7} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 2.7}^2 + Q_{неск2.7}^2}}{S_{ном630} \cdot N_m} = 0.524$$

$$K_{з_{н.аб}2.7} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 2.7}^2 + Q_{неск2.7}^2}}{1 \cdot S_{ном630}} = 1.048$$

ТП8

$$Q_{неск2.8} := Q_{p\Sigma 2.8} - Q_{\phi_{кy}2.8.\Sigma} = 274.61$$

$$S_{mp2.8} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 2.8}^2 + Q_{неск2.8}^2}}{K_z \cdot N_m} = 593.763$$

Выбираем трансформатор марки ТМ 630/10

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

Проверяем выбранный трансформатор по коэффициенту загрузки

$$K_{з\text{факт}2.8} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 2.8}^2 + Q_{неск2.8}^2}}{S_{\text{нном}630} \cdot N_m} = 0.66$$

$$K_{з\text{н.об}2.8} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 2.8}^2 + Q_{неск2.8}^2}}{1 \cdot S_{\text{нном}630}} = 1.319$$

ТП9

$$Q_{неск2.9} := Q_{p\Sigma 2.9} - Q_{\Phi_{к\psi 2.9.\Sigma}} = 252.297$$

$$S_{\text{пр}2.9} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 2.9}^2 + Q_{неск2.9}^2}}{K_{з} \cdot N_m} = 545.519$$

Выбираем трансформатор марки ТМ 630/10

Проверяем выбранный трансформатор по коэффициенту загрузки

$$K_{з\text{факт}2.9} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 2.9}^2 + Q_{неск2.9}^2}}{S_{\text{нном}630} \cdot N_m} = 0.606$$

$$K_{з\text{н.об}2.9} := \frac{\sqrt{P_{p\Sigma 2.9}^2 + Q_{неск2.9}^2}}{1 \cdot S_{\text{нном}630}} = 1.212$$

Выбор сечений проводов сети 0.4 кВ

Четвертая линия

$$I_{2.4.p} := \frac{\sqrt{\left(\frac{P_{л2.4}}{2}\right)^2 + \left(\frac{Q_{л2.4}}{2}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 123.239$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$I_{p2.4.max} := 1.05 \cdot 1.1 I_{2.4.p} = 142.341$$

$$\frac{I_{p2.4.max}}{k_1 \cdot 1 \cdot 0.95} = 166.48$$

Выбираем АВВГ 4x70

$$l_{2.4.дл.дон} := 178 = 178$$

$$l_{2.4.дл.дон} \geq \frac{I_{p2.4.max}}{k_1 \cdot 1}$$

$$I_{p2.4.max} := \frac{I_{p2.4.max}}{1} = 142.341$$

$$L_{2.4} := 100 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_{2.4} := \frac{P_{l2.4}}{\sqrt{(P_{l2.4})^2 + (Q_{l2.4})^2}} = 0.761$$

$$\sqrt{1 - \cos_{2.4}^2} = 0.648$$
$$r_{2.4} := r_{70}$$

$$\Delta U_{2.4} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot I_{p2.4.max} \cdot (L_{2.4})}{380} \right] \cdot (r_{2.4} \cdot \cos_{2.4} + x_{2.4} \cdot \sin_{2.4}) \cdot 100 = 2.446$$

Пятая линия

$$I_{2.5.p} := \frac{\sqrt{\left(\frac{P_{l2.5}}{2}\right)^2 + \left(\frac{Q_{l2.5}}{2}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 67.127$$

$$I_{p2.5.max} := 1.05 \cdot 1.1 I_{2.5.p} = 77.532$$

$$\frac{I_{p2.5.max}}{k_1 \cdot 1 \cdot 0.95} = 90.68$$

Выбираем АВВГ 4x25

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$l_{2.5\text{дл.дон}} := 100 = 100$$

$$l_{2.5\text{дл.дон}} \geq \frac{I_{P2.5.\text{max}}}{k_1 \cdot 1}$$

$$I_{P2.5.\text{max}} := \frac{I_{P2.5.\text{max}}}{1} = 77.532$$

$$L_{2.5} := 50 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_{2.5} := \frac{P_{L2.5}}{\sqrt{(P_{L2.5})^2 + (Q_{L2.5})^2}} = 0.781$$

$$r_{2.5} := 1.24 \sqrt{1 - \cos_{2.5}^2} = 0.625$$

$$\Delta U_{2.5} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot I_{P2.5.\text{max}} \cdot (L_{2.5})}{380} \right] \cdot (r_{2.5} \cdot \cos_{2.5} + x_{2.5} \cdot \sin_{2.5}) \cdot 100 = 2.528$$

Девятая (17) линия

$$l_{2.9.p} := \frac{\sqrt{\left(\frac{P_{L2.9}}{4}\right)^2 + \left(\frac{Q_{L2.9}}{4}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 365.015$$

$$I_{P2.9.\text{max}} := 1.05 \cdot 1.1 l_{2.9.p} = 421.592$$

$$\frac{I_{P2.9.\text{max}}}{0.95 \cdot 1 \cdot 0.95} = 467.138$$

Выбираем ВВГ 4х240

$$l_{2.9\text{дл.дон}} := 477 = 477$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$l_{2.9\partial л.доп} \geq \frac{I_{p2.9.max}}{k_1 \cdot 1}$$

$$I_{p2.9.max} := \frac{I_{p2.9.max}}{1} = 421.592$$

$$L_{2.9} := 30 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_{2.9} := \frac{P_{L_{2.9}}}{\sqrt{(P_{L_{2.9}})^2 + (Q_{L_{2.9}})^2}} = 0.781$$

$$\sin_{2.9} := \sqrt{1 - \cos_{2.9}^2} = 0.625$$

$$\Delta U_{2.9} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot I_{p2.9.max} \cdot (L_{2.9})}{380} \right] \cdot (r_{2.9} \cdot \cos_{2.9} + x_{2.9} \cdot \sin_{2.9}) \cdot 100 = 0.558$$

Десятая (18) линия

$$I_{2.10.p} := \frac{\sqrt{\left(\frac{P_{L_{2.10}}}{6}\right)^2 + \left(\frac{Q_{L_{2.10}}}{6}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 254.921$$

$$I_{p2.10.max} := 1.05 \cdot 1.1 I_{2.10.p} = 294.434$$

$$\frac{I_{p2.10.max}}{0.85 \cdot 1 \cdot 0.95} = 364.624$$

Выбираем ВВБГ 4x185

$$l_{2.10\partial л.доп} := 412 = 412$$

$$l_{2.10\partial л.доп} \geq \frac{I_{p2.10.max}}{k_1 \cdot 1}$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$iP_{2.10.max} := \frac{IP_{2.10.max}}{1} = 294.434$$

$$L_{2.10} := 65 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_{2.10} := \frac{P_{L_{2.10}}}{\sqrt{(P_{L_{2.10}})^2 + (Q_{L_{2.10}})^2}} = 0.754$$

$$\sin_{2.10} := \sqrt{1 - \cos_{2.10}^2} = 0.656$$

$$x_{2.10} := x_{1859}$$

$$\Delta U_{2.10} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot iP_{2.10.max} \cdot (L_{2.10})}{380} \right] \cdot (r_{2.10} \cdot \cos_{2.10} + x_{2.10} \cdot \sin_{2.10}) \cdot 100 = 0.993$$

Четырнадцатая линия

$$I_{2.14.p} := \frac{\sqrt{\left(\frac{P_{L_{2.14}}}{2}\right)^2 + \left(\frac{Q_{L_{2.14}}}{2}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 130.3$$

$$IP_{2.14.max} := 1.05 \cdot 1.1 I_{2.14.p} = 150.496$$

$$\frac{IP_{2.14.max}}{0.9 \cdot 1 \cdot 0.95} = 176.019$$

Выбираем АВВГ 4x70

$$I_{\text{доп}2.14} := 178 = 178$$

$$I_{\text{доп}2.14} \geq \frac{IP_{2.14.max}}{k_1 \cdot 1}$$

$$iP_{2.14.max} := \frac{IP_{2.14.max}}{1} = 150.496$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$L_{2.14} := 100 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_{2.14} := \frac{P_{L_{2.14}}}{\sqrt{(P_{L_{2.14}})^2 + (Q_{L_{2.14}})^2}} = 0.779$$

$$x_{2.14} := x_{70} \sqrt{1 - \cos_{2.14}^2} = 0.627$$

$$\Delta U_{2.14} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot i_{P_{2.14.\max}} \cdot (L_{2.14})}{380} \right] \cdot (r_{2.14} \cdot \cos_{2.14} + x_{2.14} \cdot \sin_{2.14}) \cdot 100 = 2.631$$

Потери напряжения и мощности в распределительных КЛ, отходящих от ТП

$$\Delta U_{2.4} = 2.446$$

$$\Delta P_{2.4} := \frac{P_{L_{2.4}}^2 \cdot r_{2.4} \cdot L_{2.4} + Q_{L_{2.4}}^2 \cdot r_{2.4} \cdot L_{2.4}}{0.4^2} = 7.287 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{2.4} := \frac{P_{L_{2.4}}^2 \cdot x_{2.4} \cdot L_{2.4} + Q_{L_{2.4}}^2 \cdot x_{2.4} \cdot L_{2.4}}{0.4^2} = 1.007 \times 10^3$$

$$\Delta W_{2.4} := \tau \cdot \Delta P_{2.4} = 2.9 \times 10^7$$

$$\Delta U_{2.5} = 2.528$$

$$\Delta P_{2.5} := \frac{P_{L_{2.5}}^2 \cdot r_{2.5} \cdot L_{2.5} + Q_{L_{2.5}}^2 \cdot r_{2.5} \cdot L_{2.5}}{0.4^2} = 3.026 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{2.5} := \frac{P_{L_{2.5}}^2 \cdot x_{2.5} \cdot L_{2.5} + Q_{L_{2.5}}^2 \cdot x_{2.5} \cdot L_{2.5}}{0.4^2} = 1.806 \times 10^3$$

$$\Delta W_{2.5} := \tau \cdot \Delta P_{2.5} = 1.204 \times 10^7$$

$$\Delta U_{2.9} = 0.558$$

$$\Delta P_{2.9} := \frac{P_{L_{2.9}}^2 \cdot r_{2.9} \cdot L_{2.9} + Q_{L_{2.9}}^2 \cdot r_{2.9} \cdot L_{2.9}}{0.4^2} = 1.333 \times 10^4$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\Delta W_{2.9} := \tau \cdot \Delta P_{2.9} = 5.306 \times 10^7$$

$$\Delta U_{2.10} = 0.993$$

$$\Delta P_{2.10} := \frac{P_{L_{2.10}}^2 \cdot r_{2.10} \cdot L_{2.10} + Q_{L_{2.10}}^2 \cdot r_{2.10} \cdot L_{2.10}}{0.4^2} = 4.076 \times 10^4$$

$$\Delta Q_{2.10} := \frac{P_{L_{2.10}}^2 \cdot x_{2.10} \cdot L_{2.10} + Q_{L_{2.10}}^2 \cdot x_{2.10} \cdot L_{2.10}}{0.4^2} = 2.454 \times 10^4$$

$$\Delta W_{2.10} := \tau \cdot \Delta P_{2.10} = 1.622 \times 10^8$$

$$\Delta U_{2.14} = 2.631$$

$$\Delta P_{2.14} := \frac{P_{L_{2.14}}^2 \cdot r_{2.14} \cdot L_{2.14} + Q_{L_{2.14}}^2 \cdot r_{2.14} \cdot L_{2.14}}{0.4^2} = 8.146 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{2.14} := \frac{P_{L_{2.14}}^2 \cdot x_{2.14} \cdot L_{2.14} + Q_{L_{2.14}}^2 \cdot x_{2.14} \cdot L_{2.14}}{0.4^2} = 1.125 \times 10^3$$

$$\Delta W_{2.14} := \tau \cdot \Delta P_{2.14} = 3.241 \times 10^7$$

Потери в трансформаторах

$$\Delta P_{K_{630}} := 7.6 \cdot 10$$

ТП2

$$\Delta P_{K_{mp2.2}} := \Delta P_{K_{630}} = 7.6$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$z_{mp2.2} := \frac{\quad}{100 \cdot 0.63} = 8.73$$

$$r_{mp2.2} := \frac{\Delta P_{K_{mp2.2}} \cdot 10^2 \cdot 10^{-3}}{0.63^2} = 1.915$$

$$x_{mp2.2} := \sqrt{z_{mp2.2}^2 - r_{mp2.2}^2} = 8.518$$

$$\Delta P_{mp2.2} := \frac{r_{mp2.2}}{2} \cdot \frac{[(P_{p\Sigma 2.2})^2 + (Q_{p\Sigma 2.2})^2]}{10^2} = 5.905 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{mp2.2} := \frac{x_{mp2.2}}{2} \cdot \frac{[(P_{p\Sigma 2.2})^2 + (Q_{p\Sigma 2.2})^2]}{10^2} = 2.627 \times 10^4$$

ТП4

$$\Delta P_{K_{mp2.4}} := \Delta P_{K_{630}} = 7.6$$

$$z_{mp2.4} := \frac{\Delta U_{K_{mp2.4}} \cdot 10^2}{100 \cdot 0.63} = 8.73$$

$$r_{mp2.4} := \frac{\Delta P_{K_{mp2.4}} \cdot 10^2 \cdot 10^{-3}}{0.63^2} = 1.915$$

$$x_{mp2.4} := \sqrt{z_{mp2.4}^2 - r_{mp2.4}^2} = 8.518$$

$$\Delta P_{mp2.4} := \frac{r_{mp2.4}}{2} \cdot \frac{[(P_{p\Sigma 2.4})^2 + (Q_{p\Sigma 2.4})^2]}{10^2} = 8.842 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{mp2.4} := \frac{x_{mp2.4}}{2} \cdot \frac{[(P_{p\Sigma 2.4})^2 + (Q_{p\Sigma 2.4})^2]}{10^2} = 3.933 \times 10^4$$

ТП5

$$\Delta P_{K_{mp2.5}} := \Delta P_{K_{1600}} = 18$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$z_{mp2.5} := \frac{\Delta U_{K_{mp2.5}} \cdot 10^2}{100 \cdot 1.6} = 4.063$$

$$r_{mp2.5} := \frac{\Delta P_{K_{mp2.5}} \cdot 10^2 \cdot 10^{-3}}{1.6^2} = 0.703$$

$$x_{mp2.5} := \sqrt{z_{mp2.5}^2 - r_{mp2.5}^2} = 4.001$$

$$\Delta P_{mp2.5} := \frac{r_{mp2.5}}{2} \cdot \frac{[(P_{p\Sigma 2.5})^2 + (Q_{p\Sigma 2.5})^2]}{10^2} = 1.361 \times 10^4$$

$$\Delta Q_{mp2.5} := \frac{x_{mp2.5}}{2} \cdot \frac{[(P_{p\Sigma 2.5})^2 + (Q_{p\Sigma 2.5})^2]}{10^2} = 7.743 \times 10^4$$

ТП6

$$\Delta P_{K_{mp2.6}} := \Delta P_{K_{1000}} = 12.2$$

$$z_{mp2.6} := \frac{\Delta U_{K_{mp2.6}} \cdot 10^2}{100 \cdot 1} = 6.5$$

$$r_{mp2.6} := \frac{\Delta P_{K_{mp2.6}} \cdot 10^2 \cdot 10^{-3}}{1^2} = 1.22$$

$$x_{mp2.6} := \sqrt{z_{mp2.6}^2 - r_{mp2.6}^2} = 6.384$$

$$\Delta P_{mp2.6} := \frac{r_{mp2.6}}{2} \cdot \frac{[(P_{p\Sigma 2.6})^2 + (Q_{p\Sigma 2.6})^2]}{10^2} = 7.06 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{mp2.6} := \frac{x_{mp2.6}}{2} \cdot \frac{[(P_{p\Sigma 2.6})^2 + (Q_{p\Sigma 2.6})^2]}{10^2} = 3.694 \times 10^4$$

ТП7

$$\Delta P_{K_{mp2.7}} := \Delta P_{K_{630}} = 7.6$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$z_{mp2.7} := \frac{\Delta U_{k_{mp2.7}} \cdot 10^2}{100 \cdot 0.63} = 8.73$$

$$r_{mp2.7} := \frac{\Delta P_{k_{mp2.7}} \cdot 10^2 \cdot 10^{-3}}{0.63^2} = 1.915$$

$$x_{mp2.7} := \sqrt{z_{mp2.7}^2 - r_{mp2.7}^2} = 8.518$$

$$\Delta P_{mp2.7} := \frac{r_{mp2.7}}{2} \cdot \frac{[(P_{p\Sigma 2.7})^2 + (Q_{p\Sigma 2.7})^2]}{10^2} = 4.718 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{mp2.7} := \frac{x_{mp2.7}}{2} \cdot \frac{[(P_{p\Sigma 2.7})^2 + (Q_{p\Sigma 2.7})^2]}{10^2} = 2.099 \times 10^4$$

ТП8

$$\Delta P_{k_{mp8}} := \Delta P_{k_{630}} = 7.6$$

$$z_{mp8} := \frac{\Delta U_{k_{mp8}} \cdot 10^2}{100 \cdot 0.63} = 8.73$$

$$r_{mp8} := \frac{\Delta P_{k_{mp8}} \cdot 10^2 \cdot 10^{-3}}{0.63^2} = 1.915$$

$$x_{mp8} := \sqrt{z_{mp8}^2 - r_{mp8}^2} = 8.518$$

$$\Delta P_{mp2.8} := \frac{r_{mp8}}{2} \cdot \frac{[(P_{p\Sigma 2.8})^2 + (Q_{p\Sigma 2.8})^2]}{10^2} = 7.787 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{mp2.8} := \frac{x_{mp8}}{2} \cdot \frac{[(P_{p\Sigma 2.8})^2 + (Q_{p\Sigma 2.8})^2]}{10^2} = 3.464 \times 10^4$$

ТП9

$$\Delta P_{k_{mp9}} := \Delta P_{k_{630}} = 7.6$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$z_{mp9} := \frac{\Delta U_{k_{mp.9}} \cdot 10^2}{100 \cdot 0.63} = 8.73$$

$$r_{mp9} := \frac{\Delta P_{k_{mp.9}} \cdot 10^2 \cdot 10^{-3}}{0.63^2} = 1.915$$

$$x_{mp9} := \sqrt{z_{mp9}^2 - r_{mp9}^2} = 8.518$$

$$\Delta P_{mp29} := \frac{r_{mp9}}{2} \cdot \frac{[(P_{p\Sigma 2.9})^2 + (Q_{p\Sigma 2.9})^2]}{10^2} = 8.172 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{mp29} := \frac{x_{mp9}}{2} \cdot \frac{[(P_{p\Sigma 2.9})^2 + (Q_{p\Sigma 2.9})^2]}{10^2} = 3.635 \times 10^4$$

Выбор сечения проводов сети 10кВ

Кольцо: ПС-ТП4-ТП3-ТП1-ТП2-ТП9

$$P_{nc2.1} := \frac{P_{p\Sigma 2.4} + P_{p\Sigma 3} + P_{p\Sigma 2.2} + P_{p\Sigma 1} + P_{p\Sigma 2.9} \dots + (\Delta P_{mp24} + \Delta P_{mp3} + \Delta P_{mp22} + \Delta P_{mp1} + \Delta P_{mp29}) \cdot 10^{-3}}{1} = 2.917 \times 10^3$$

$$Q_{nc2.1} := \frac{Q_{p\Sigma 4} + Q_{p\Sigma 3} + Q_{p\Sigma 2} + Q_{p\Sigma 1} + Q_{p\Sigma 2.9} \dots + (\Delta Q_{mp4} + \Delta Q_{mp3} + \Delta Q_{mp2} + \Delta Q_{mp1} + \Delta Q_{mp29}) \cdot 10^{-3}}{1} = 2.936 \times 10^3$$

Кольцо: ПС-ТП5-ТП6-ТП7-ТП8

$$P_{nc2.11} := \frac{P_{p\Sigma 5} + P_{p\Sigma 6} + P_{p\Sigma 7} + P_{p\Sigma 2.8} \dots + (\Delta P_{mp5} + \Delta P_{mp6} + \Delta P_{mp7} + \Delta P_{mp28}) \cdot 10^{-3}}{1} = 4.651 \times 10^3$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$Q_{nc2.11} := \frac{Q_{p\Sigma5} + Q_{p\Sigma6} + Q_{p\Sigma7} + Q_{p\Sigma2.8} \dots + (\Delta Q_{mp5} + \Delta Q_{mp6} + \Delta Q_{mp7} + \Delta Q_{mp2.8}) \cdot 10^{-3}}{1} = 3.483 \times 10^3$$

max Послеаварийный режим соответствует замкнутому кольцу

$$P_{nc.na2} := \frac{(P_{p\Sigma4} + P_{p\Sigma3} + P_{p\Sigma2} + P_{p\Sigma1} + P_{p\Sigma6} + P_{p\Sigma7} + P_{p\Sigma2.8} + P_{p\Sigma2.9}) \dots + (\Delta P_{mp4} + \Delta P_{mp3} + \Delta P_{mp2} + \Delta P_{mp1} \dots + \Delta P_{mp6} + \Delta P_{mp7} + \Delta P_{mp2.8} + \Delta P_{mp2.9}) \cdot 10^{-3}}{1} = 6.609 \times 10^3$$

$$Q_{nc.na2} := \frac{Q_{p\Sigma4} + Q_{p\Sigma3} + Q_{p\Sigma2} + Q_{p\Sigma1} + Q_{p\Sigma6} + Q_{p\Sigma7} + Q_{p\Sigma2.8} + Q_{p\Sigma2.9} \dots + (\Delta Q_{mp4} + \Delta Q_{mp3} + \Delta Q_{mp2} + \Delta Q_{mp1} \dots + \Delta Q_{mp6} + \Delta Q_{mp7} + \Delta Q_{mp2.8} + \Delta Q_{mp2.9}) \cdot 10^{-3}}{1} = 4.958 \times 10^3$$

$$I_{nc2.1.max} := \frac{\sqrt{(P_{nc2.1})^2 + (Q_{nc2.1})^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 238.918$$

$$I_{P_{nc2.1.max}} := 1.05 \cdot 1.1 I_{nc2.1.max} = 275.951$$

$$\frac{I_{P_{nc2.1.max}}}{k_1 \cdot 1} = 306.612$$

Выбираем АПвПуг 3х400/50

$$I_{\partial_{дон2.1}} := 525 = 525$$

$$I_{\partial_{дон2.1}} \geq \frac{I_{P_{nc2.1.max}}}{k_1 \cdot 1}$$

$$i_{P_{nc2.1.max}} := \frac{I_{P_{nc2.1.max}}}{1} = 275.951$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\cos_{nc2.1} := \frac{P_{nc2.1}}{\sqrt{(P_{nc2.1})^2 + (Q_{nc2.1})^2}} = 0.705$$

$$\sin_{nc2.1} := \sqrt{1 - \cos_{nc2.1}^2} = 0.709$$

$$\Delta U_{nc2.1} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot i_{P_{nc2.1.max}} \cdot (L_{nc2.1})}{10000} \right] \cdot (r_{21} \cdot \cos_{nc2.1} + x_{21} \cdot \sin_{nc2.1}) \cdot 100 = 0.422$$

$$I_{nc2.11.max} := \frac{\sqrt{(P_{nc2.11})^2 + (Q_{nc2.11})^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 335.484$$

$$I_{P_{nc2.11.max}} := 1.05 \cdot 1.1 I_{nc2.11.max} = 387.484$$

$$\frac{I_{P_{nc2.11.max}}}{K_1 \cdot 1} = 430.538$$

Выбираем АПвПуг 3х400/50

$$I_{\partial L_{\partial on2.11}} := 525 = 525$$

$$I_{\partial L_{\partial on2.11}} \geq \frac{I_{P_{nc2.11.max}}}{K_1 \cdot 1}$$

$$I_{P_{nc2.11.max}} := \frac{I_{P_{nc2.11.max}}}{1} = 387.484$$

$$L_{nc2.11} := 245 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_{nc2.11} := \frac{P_{nc2.11}}{(0 \cdot 10^{-3})^2 + (Q_{nc2.11})^2} = 0.8$$

$$\sin_{nc2.1} := \frac{P_{nc2.1}}{\sqrt{(P_{nc2.1})^2 + (Q_{nc2.1})^2}} = 0.705$$

$$\sin_{nc2.1} := \sqrt{1 - \cos_{nc2.1}^2} = 0.709$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\Delta U_{nc2.11} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot i_{P_{nc2.11.max}} \cdot (L_{nc2.11})}{10000} \right] \cdot (r_{21} \cdot \cos_{nc2.11} + x_{21} \cdot \sin_{nc2.11}) \cdot 100 = 0.181$$

Послеаварийный режим

$$I_{nc.na.max2} := \frac{\sqrt{(P_{nc.na2})^2 + (Q_{nc.na2})^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 477.009$$

$$\frac{0.9 I_{nc.na.max2}}{k_1 \cdot 1} = 477.009$$

Выбираем АПвПуг 3х400/50

$$I_{\partial_{доп.на2}} := 525 = 525$$

$$I_{\partial_{доп.на2}} \geq \frac{0.9 \cdot I_{nc.na.max2}}{k_1 \cdot 1}$$

$$i_{P_{nc.na2}} := \frac{I_{nc.na.max2}}{1} = 477.009$$

$$L_{nc.na2} := 1.27 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_{nc.na2} := \frac{P_{nc.na2}}{\sqrt{(P_{nc.na2})^2 + (Q_{nc.na2})^2}} = 0.8$$

$$\sin_{nc.na2} := \sqrt{1 - \cos_{nc.na2}^2} = 0.6$$

$$\Delta U_{pn.na2} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot i_{P_{nc.na2}} \cdot (L_{nc.na2})}{10000} \right] \cdot (r_{21} \cdot \cos_{nc.na2} + x_{21} \cdot \sin_{nc.na2}) \cdot 100 = 1.152 \times 10^{-3}$$

ЛУЧЕВАЯ СХЕМА

Кольцо: ПС-ТП4-ТП3-ТП1-ТП2-ТП9

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
 Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$P_{nc1.22} := \frac{P_{p\Sigma 4} + P_{p\Sigma 3} + P_{p\Sigma 2} + P_{p\Sigma 1} + P_{p\Sigma 2.9} \dots + (\Delta P_{mp4} + \Delta P_{mp3} + \Delta P_{mp2} + \Delta P_{mp1} + \Delta P_{mp2g}) \cdot 10^{-3}}{2} = 1.769 \times 10^3$$

$$Q_{nc1.22} := \frac{Q_{p\Sigma 4} + Q_{p\Sigma 3} + Q_{p\Sigma 2} + Q_{p\Sigma 1} + Q_{p\Sigma 2.9} \dots + (\Delta Q_{mp4} + \Delta Q_{mp3} + \Delta Q_{mp2} + \Delta Q_{mp1} + \Delta Q_{mp2g}) \cdot 10^{-3}}{2} = 1.468 \times 10^3$$

$$P_{nc.na1.22} := \frac{P_{p\Sigma 3} + P_{p\Sigma 2} + P_{p\Sigma 1} + P_{p\Sigma 2.9} \dots + (\Delta P_{mp3} + \Delta P_{mp2} + \Delta P_{mp1} + \Delta P_{mp2g}) \cdot 10^{-3}}{2} \dots = 2.526 \times 10^3 + \frac{(P_{p\Sigma 4} + \Delta P_{mp4} \cdot 10^{-3})}{1}$$

$$Q_{nc.na1.22} := \frac{Q_{p\Sigma 3} + Q_{p\Sigma 2} + Q_{p\Sigma 1} + Q_{p\Sigma 2.9} \dots + (\Delta Q_{mp3} + \Delta Q_{mp2} + \Delta Q_{mp1} + \Delta Q_{mp2g}) \cdot 10^{-3}}{2} \dots = 2.105 \times 10^3 + \frac{Q_{p\Sigma 4} + \Delta Q_{mp4} \cdot 10^{-3}}{1}$$

Кольцо: ПС-ТП5-ТП6-ТП7-ТП8

$$P_{nc2.22} := \frac{P_{p\Sigma 5} + P_{p\Sigma 6} + P_{p\Sigma 7} + P_{p\Sigma 2.8} \dots + (\Delta P_{mp5} + \Delta P_{mp6} + \Delta P_{mp7} + \Delta P_{mp2g}) \cdot 10^{-3}}{2} = 2.326 \times 10^3$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А

Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$Q_{nc2.22} := \frac{Q_{p\Sigma5} + Q_{p\Sigma6} + Q_{p\Sigma7} + Q_{p\Sigma2.8} \dots + (\Delta Q_{mp5} + \Delta Q_{mp6} + \Delta Q_{mp7} + \Delta Q_{mp2.8}) \cdot 10^{-3}}{2} = 1.741 \times 10^3$$

$$P_{nc.na2.22} := \frac{P_{p\Sigma6} + P_{p\Sigma7} + P_{p\Sigma2.8} \dots + (\Delta P_{mp6} + \Delta P_{mp7} + \Delta P_{mp2.8}) \cdot 10^{-3}}{2} + \frac{P_{p\Sigma5} + \Delta P_{mp5} \cdot 10^{-3}}{1} = 3.116 \times 10^3$$

$$Q_{nc.na2.22} := \frac{Q_{p\Sigma6} + Q_{p\Sigma7} + Q_{p\Sigma2.8} + (\Delta Q_{mp6} + \Delta Q_{mp7} + \Delta Q_{mp2.8}) \cdot 10^{-3}}{2} \dots = 2.472 \times 10^3$$

$$+ \frac{Q_{p\Sigma5} + \Delta Q_{mp5} \cdot 10^{-3}}{1}$$

$$I_{nc1.22.max} := \frac{\sqrt{(P_{nc1.22})^2 + (Q_{nc1.22})^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 132.715$$

$$I_{P_{nc1.22.max}} := 1.05 \cdot 1.1 I_{nc1.22.max} = 153.286$$

$$\frac{I_{P_{nc1.22.max}}}{k_1 \cdot 1 \cdot 0.95} = 179.282$$

Выбираем АПвПуг 3х95/16

$$I_{\partial_{дон1.12}} := 233 = 233$$

$$I_{\partial_{дон1.12}} \geq \frac{I_{P_{nc1.22.max}}}{k_1 \cdot 1}$$

$$I_{P_{nc1.22.max}} := \frac{I_{P_{nc1.22.max}}}{1} = 153.286$$

$$L_{nc1.22} := 360 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_{nc1.22} := \frac{P_{nc1.22}}{\sqrt{(P_{nc1.22})^2 + (Q_{nc1.22})^2}} = 0.77$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\sin_{nc1.22} := \sqrt{1 - \cos_{nc1.22}} = 0.639$$

$$\Delta U_{nc1.22} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot i_{p_{nc1.22.max}} \cdot (L_{nc1.22})}{1000} \right] \cdot (r_{12} \cdot \cos_{nc1.22} + x_{12} \cdot \sin_{nc1.22}) \cdot 100 = 2.765$$

Послеаварийный режим

$$I_{nc.na1.22.max} := \frac{\sqrt{(P_{nc.na1.22})^2 + (Q_{nc.na1.22})^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 189.84$$

$$I_{p_{nc.na1.22.max}} := 1.05 \cdot 1.1 I_{nc.na1.22.max} = 219.265$$

$$\frac{0.9 I_{p_{nc.na1.22.max}}}{k_1 \cdot 1 \cdot 0.95} = 230.805$$

Выбираем АПвПуг 3х95/16

$$I_{\partial op.na1.22} := 233 = 233$$

$$I_{\partial op.na1.22} \geq \frac{0.9 \cdot I_{nc.na1.22.max}}{k_1 \cdot 1}$$

$$i_{p_{nc.na1.22}} := \frac{I_{p_{nc.na1.22.max}}}{1} = 219.265$$

$$L_{nc.na1.22} := 1.27 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_{nc.na1.22} := \frac{P_{nc.na1.22}}{\sqrt{(P_{nc.na1.22})^2 + (Q_{nc.na1.22})^2}} = 0.768$$

$$\sin_{nc.na1.22} := \sqrt{1 - \cos_{nc.na1.22}^2} = 0.64$$

$$\Delta U_{pn.na1.22} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot i_{p_{nc.na1.22}} \cdot (L_{nc.na1.22})}{1000} \right] \cdot (r_{12} \cdot \cos_{nc.na1.22} + x_{12} \cdot \sin_{nc.na1.22}) \cdot 100 = 0.014$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
 Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$I_{nc2.22.max} := \frac{\sqrt{(P_{nc2.22})^2 + (Q_{nc2.22})^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 167.742$$

$$I_{P_{nc2.22.max}} := 1.05 \cdot 1.1 I_{nc2.22.max} = 193.742$$

$$\frac{I_{P_{nc2.22.max}}}{k_1 \cdot 1 \cdot 0.95} = 226.599$$

Выбираем АПвПуг 3х150/50

$$I_{\partial_{\partial on2.22}} := 300 = 300$$

$$I_{\partial_{\partial on2.22}} \geq \frac{I_{P_{nc2.22.max}}}{k_1 \cdot 1}$$

$$i_{P_{nc2.22.max}} := \frac{I_{P_{nc2.22.max}}}{1} = 193.742$$

$$L_{nc2.22} := 675 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_{nc2.22} := \frac{P_{nc2.22}}{\sqrt{(P_{nc2.22})^2 + (Q_{nc2.22})^2}} = 0.8$$

$$x_{22} := x_{150} = 0.06$$

$$\Delta U_{nc2.22} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot i_{P_{nc2.22.max}} \cdot (L_{nc2.22})}{1000} \right] \cdot (r_{22} \cdot \cos_{nc2.22} + x_{22} \cdot \sin_{nc2.22}) \cdot 100 = 4.49$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

Послеаварийный режим

$$I_{\text{нс.па2.22.max}} := \frac{\sqrt{(P_{\text{нс.па2.22}})^2 + (Q_{\text{нс.па2.22}})^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 229.619$$

$$I_{\text{рнс.па2.22.max}} := 1.05 \cdot 1.1 I_{\text{нс.па2.22.max}} = 265.21$$

$$\frac{0.9 I_{\text{рнс.па2.22.max}}}{k_1 \cdot 1 \cdot 0.95} = 279.169$$

Выбираем АПвПуг 3х150/50

$$I_{\text{длдоп.па2.22}} := 300 = 300$$

$$I_{\text{длдоп.па2.22}} \geq \frac{0.9 \cdot I_{\text{нс.па2.22.max}}}{k_1 \cdot 1}$$

$$i_{\text{рнс.па2.22}} := \frac{I_{\text{рнс.па2.22.max}}}{1} = 265.21$$

$$L_{\text{нс.па2.22}} := 675 \cdot 10^{-3}$$

$$\cos_{\text{нс.па2.22}} := \frac{P_{\text{нс.па2.22}}}{\sqrt{(P_{\text{нс.па2.22}})^2 + (Q_{\text{нс.па2.22}})^2}} = 0.783$$

$$\sin_{\text{нс.па2.22}} := \sqrt{1 - \cos_{\text{нс.па2.22}}^2} = 0.622$$

$$\Delta U_{\text{нс.па2.22}} := \left[\frac{\sqrt{3} \cdot i_{\text{рнс.па2.22}} \cdot (L_{\text{нс.па2.22}})}{1000} \right] \cdot (r_{22} \cdot \cos_{\text{нс.па2.22}} + x_{22} \cdot \sin_{\text{нс.па2.22}}) \cdot 100 = 6.08$$

Потери мощности в распределительных КЛ, отходящих от РП

ПЕТЛЯ

Участок: ПС-ТП4

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
 Расчеты в ПВК Mathcad 15

Потери мощности в распределительных КЛ, отходящих от РП

ПЕТЛЯ

Участок: ПС-ТП4

$$\Delta P_{nc.1} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.4} + P_{p\Sigma 3} + P_{p\Sigma 2.9} + P_{p\Sigma 2.2} + P_{p\Sigma 1} \dots + \left[\left(\Delta P_{mp2.4} + \Delta P_{mp3} + \Delta P_{mp2.9} \dots \right) \dots \right] \cdot 10^{-3} + \Delta P_{mp2.2} + \Delta P_{mp1}}{2} \right]^2 \cdot r_{21} \cdot L_{np1} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.4} + Q_{p\Sigma 3} + Q_{p\Sigma 1} + Q_{p\Sigma 2.9} + Q_{p\Sigma 2.2} \dots + \left[\left(\Delta Q_{mp2.4} + \Delta Q_{mp3} + \Delta Q_{mp1} \dots \right) \dots \right] \cdot 10^{-3} + \Delta Q_{mp2.2} + \Delta Q_{mp2.2}}{2} \right]^2 \cdot r_{21} \cdot L_{np1}}{10^2} = 4.387 \times 10^7$$

$$\Delta Q_{nc.1} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{(P_{p\Sigma 2.4} + P_{p\Sigma 3}) + (P_{p\Sigma 2.9} + P_{p\Sigma 2.2} + P_{p\Sigma 1}) \dots + \left(\Delta P_{mp2.4} + \Delta P_{mp3} \dots + \Delta P_{mp2.9} + \Delta P_{mp2.2} + \Delta P_{mp1} \right) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{21} \cdot L_{np1} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.4} + Q_{p\Sigma 3} + Q_{p\Sigma 1} + Q_{p\Sigma 2.9} + Q_{p\Sigma 2.2} \dots + \left(\Delta Q_{mp2.4} + \Delta Q_{mp3} + \Delta Q_{mp1} \dots \right) \cdot 10^{-3} + \Delta Q_{mp2.9} + \Delta Q_{mp2.2}}{2} \right]^2 \cdot x_{21} \cdot L_{np1}}{10^2} = 2.021 \times 10^3$$

$$\Delta W_{nc.1} := \tau \cdot \Delta P_{nc.1} = 1.746 \times 10^7$$

~~~~~



Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А  
Расчеты в ПВК Mathcad 15

Участок: ТП4-ТП3

~~~~~

$$Lnp_2 := 0.95$$

$$\Delta P_{nc.2} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 3} + P_{p\Sigma 2.9} + P_{p\Sigma 2.2} + P_{p\Sigma 1} \dots + \left[\frac{\Delta P_{mp3} + \left[\frac{\Delta P_{mp2_9} \dots}{+ \Delta P_{mp2_2}} \right] \dots}{+ \Delta P_{mp1}} \right] \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{21} \cdot Lnp_2 \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 3} + Q_{p\Sigma 1} + Q_{p\Sigma 2.9} + Q_{p\Sigma 2.2} \dots + \left[\frac{\Delta Q_{mp3} + \left[\frac{\Delta Q_{mp1} \dots}{+ \Delta Q_{mp2_9}} \right] \dots}{+ \Delta Q_{mp2_2}} \right] \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{21} \cdot Lnp_2}{10^2} = 3.781 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{nc.2} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 3} + P_{p\Sigma 2.9} + P_{p\Sigma 2.2} + P_{p\Sigma 1} \dots + \left[\frac{\Delta P_{mp3} + \left[\frac{\Delta P_{mp2_9} \dots}{+ \Delta P_{mp2_2}} \right] \dots}{+ \Delta P_{mp1}} \right] \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{21} \cdot Lnp_2 \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 3} + Q_{p\Sigma 1} + Q_{p\Sigma 2.9} + Q_{p\Sigma 2.2} \dots + \left[\frac{\Delta Q_{mp3} + \left[\frac{\Delta Q_{mp1} \dots}{+ \Delta Q_{mp2_9}} \right] \dots}{+ \Delta Q_{mp2_2}} \right] \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{21} \cdot Lnp_2}{10^2} = 1.742 \times 10^3$$

$$\Delta W_{nc2} := \tau \cdot \Delta P_{nc.2} = 1.505 \times 10^7$$

Участок: ТП3-ТП1

$$\Delta P_{nc.3} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.9} + P_{p\Sigma 2.2} + P_{p\Sigma 1} \dots + (\Delta P_{mp2_9} + \Delta P_{mp2_2} + \Delta P_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{21} \cdot Lnp_3 \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 1} + Q_{p\Sigma 2.9} + Q_{p\Sigma 2.2} \dots + (\Delta Q_{mp1} + \Delta Q_{mp2_9} + \Delta Q_{mp2_2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{21} \cdot Lnp_3}{10^2} = 528.305$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\Delta Q_{nc.3} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.9} + P_{p\Sigma 2.2} + P_{p\Sigma 1} \dots + (\Delta P_{mp2_9} + \Delta P_{mp2_2} + \Delta P_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{21} \cdot L_{np3} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 1} + Q_{p\Sigma 2.9} + Q_{p\Sigma 2.2} \dots + (\Delta Q_{mp1} + \Delta Q_{mp2_9} + \Delta Q_{mp2_2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{21} \cdot L_{np3}}{10^2} = 243.435$$

$$\Delta W_{nc3} := \tau \cdot \Delta P_{nc.3} = 2.102 \times 10^6$$

Участок: ТП1-ТП9

$$L_{np4} := 0.27$$

$$\Delta P_{nc.4} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.9} + P_{p\Sigma 2.2} + (\Delta P_{mp2_9} + \Delta P_{mp2_2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{21} \cdot L_{np4} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.9} + Q_{p\Sigma 2.2} + (\Delta Q_{mp2_9} + \Delta Q_{mp2_2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{21} \cdot L_{np4}}{10^2} = 426.627$$

$$\Delta Q_{nc.4} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.9} + P_{p\Sigma 2.2} + (\Delta P_{mp2_9} + \Delta P_{mp2_2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{21} \cdot L_{np4} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.9} + Q_{p\Sigma 2.2} + (\Delta Q_{mp2_9} + \Delta Q_{mp2_2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{21} \cdot L_{np4}}{10^2} = 196.583$$

$$\Delta W_{nc4} := \tau \cdot \Delta P_{nc.4} = 1.698 \times 10^6$$

Участок: ТП9-ТП2

$$L_{np5} := 0.19$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
 Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\Delta P_{nc.5} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.2} + (\Delta P_{mp2_2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{2_1} \cdot L_{np5} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.2} + (\Delta Q_{mp2_2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{2_1} \cdot L_{np5}}{10^2} = 63.168$$

$$\Delta Q_{nc.5} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.2} + (\Delta P_{mp2_2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{2_1} \cdot L_{np5} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.2} + (\Delta Q_{mp2_2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{2_1} \cdot L_{np5}}{10^2} = 29.107$$

$$\Delta W_{nc5} := \tau \cdot \Delta P_{nc.5} = 2.514 \times 10^5$$

$$\Delta P_{nc.6} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.5} + P_{p\Sigma 2.6} + P_{p\Sigma 2.7} + P_{p\Sigma 2.8} \dots + \left[\Delta P_{mp2_5} + \left[\left(\Delta P_{mp2_6} \dots \right) \dots \right] + \Delta P_{mp2_7} \right] + \Delta P_{mp2_8}}{2} \right]^2 \cdot r_{2_1} \cdot L_{np6} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.5} + Q_{p\Sigma 2.6} + Q_{p\Sigma 2.7} + Q_{p\Sigma 2.8} \dots + \left[\Delta Q_{mp2_5} \dots + \Delta Q_{mp2_6} + \left(\Delta Q_{mp2_7} \dots \right) + \Delta Q_{mp2_8} \right]}{2} \right]^2 \cdot r_{2_1} \cdot L_{np6}}{10^2} = 7.489 \times 10^3$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
 Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\Delta Q_{nc.6} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.5} + P_{p\Sigma 2.6} + P_{p\Sigma 2.7} + P_{p\Sigma 2.8} \dots + \left[\frac{\Delta P_{mp2.5} + \left[\frac{\Delta P_{mp2.6} \dots}{+ \Delta P_{mp2.7}} \right]}{+ \Delta P_{mp2.8}} \right] \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{21} \cdot L_{np6} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.5} + Q_{p\Sigma 2.6} + Q_{p\Sigma 2.7} + Q_{p\Sigma 2.8} \dots + \left[\frac{\Delta Q_{mp2.5} + \left[\frac{\Delta Q_{mp2.6} \dots}{+ \Delta Q_{mp2.7}} \right]}{+ \Delta Q_{mp2.8}} \right] \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{21} \cdot L_{np6}}{10^2} = 3.451 \times 10^3$$

$$\Delta W_{nc6} := \tau \cdot \Delta P_{nc.6} = 2.98 \times 10^7$$

Участок: ТП5-ТП7

$$L_{np7} := 0.11$$

$$\Delta P_{nc.7} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.6} + P_{p\Sigma 2.7} + P_{p\Sigma 2.8} \dots + (\Delta P_{mp2.6} + \Delta P_{mp2.7} + \Delta P_{mp2.8}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{21} \cdot L_{np7} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.6} + Q_{p\Sigma 2.7} + Q_{p\Sigma 2.8} \dots + (\Delta Q_{mp2.6} + \Delta Q_{mp2.7} + \Delta Q_{mp2.8}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{21} \cdot L_{np7}}{10^2} = 418.591$$

$$\Delta Q_{nc.7} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.6} + P_{p\Sigma 2.7} + P_{p\Sigma 2.8} \dots + (\Delta P_{mp2.6} + \Delta P_{mp2.7} + \Delta P_{mp2.8}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{21} \cdot L_{np7} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.6} + Q_{p\Sigma 2.7} + Q_{p\Sigma 2.8} \dots + (\Delta Q_{mp2.6} + \Delta Q_{mp2.7} + \Delta Q_{mp2.8}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{21} \cdot L_{np7}}{10^2} = 192.88$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\Delta W_{nc7} := \tau \cdot \Delta P_{nc.7} = 1.666 \times 10^6$$

Участок: ТП7-ТП8

$$L_{np8} := 0.8$$

$$\Delta P_{nc.8} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.6} + P_{p\Sigma 2.8} + (\Delta P_{mp2.6} + \Delta P_{mp2.8}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{21} \cdot L_{np8} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.6} + Q_{p\Sigma 2.8} + (\Delta Q_{mp2.6} + \Delta Q_{mp2.8}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{21} \cdot L_{np8}}{10^2} = 1.668 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{nc.8} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.6} + P_{p\Sigma 2.8} + (\Delta P_{mp2.6} + \Delta P_{mp2.8}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{21} \cdot L_{np8} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.6} + Q_{p\Sigma 2.8} + (\Delta Q_{mp2.6} + \Delta Q_{mp2.8}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{21} \cdot L_{np8}}{10^2} = 768.379$$

$$\Delta W_{nc8} := \tau \cdot \Delta P_{nc.8} = 6.636 \times 10^6$$

Участок: ТП8-ТП6

$$L_{np9} := 0.9$$

$$\Delta P_{nc.9} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.6} + (\Delta P_{mp2.6}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{21} \cdot L_{np9} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.6} + (\Delta Q_{mp2.6}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{21} \cdot L_{np9}}{10^2} = 561.274$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
 Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\Delta Q_{nc.9} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.6} + (\Delta P_{mp2_6}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{21} \cdot L_{np9} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.6} + (\Delta Q_{mp2_6}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{21} \cdot L_{np9}}{10^2} = 258.626$$

$$\Delta W_{nc9} := \tau \cdot \Delta P_{nc.9} = 2.234 \times 10^6$$

ЛУЧ

Участок: ПС-ТП4

$$\Delta P_{nc.12} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.4} + P_{p\Sigma 3} + P_{p\Sigma 2.9} + P_{p\Sigma 2.2} + P_{p\Sigma 1} \dots + \left[\frac{\Delta P_{mp2_4} \dots + \Delta P_{mp3} + \left[\left(\frac{\Delta P_{mp2_9} \dots}{+ \Delta P_{mp2_2}} \right) \dots \right] + \Delta P_{mp1}}{2} \right] \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{12} \cdot L_{np1} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.4} + Q_{p\Sigma 3} + Q_{p\Sigma 1} + Q_{p\Sigma 2.9} + Q_{p\Sigma 2.2} \dots + \left[\frac{\Delta Q_{mp2_4} \dots + \Delta Q_{mp3} + \left[\left(\frac{\Delta Q_{mp1} \dots}{+ \Delta Q_{mp2_9}} \right) \dots \right] + \Delta Q_{mp2_2}}{2} \right] \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{12} \cdot L_{np1}}{10^2} = 1.402 \times 10^4$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
 Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\Delta Q_{nc.12} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.4} + P_{p\Sigma 3} + P_{p\Sigma 2.9} + P_{p\Sigma 2.2} + P_{p\Sigma 1} \dots + \left[\Delta P_{mp2_4} \dots + \Delta P_{mp3} + \left[\left(\Delta P_{mp2_9} \dots \right) \dots \right] + \Delta P_{mp1} \right] \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{12} \cdot L_{np1} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.4} + Q_{p\Sigma 3} + Q_{p\Sigma 1} + Q_{p\Sigma 2.9} + Q_{p\Sigma 2.2} \dots + \left[\Delta Q_{mp2_4} \dots + \Delta Q_{mp3} + \left[\left(\Delta Q_{mp1} \dots \right) \dots \right] + \Delta Q_{mp2_2} \right] \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{12} \cdot L_{np1}}{10^2} = 2.589 \times 10$$

$$\Delta W_{nc.12} := \tau \cdot \Delta P_{nc.12} = 5.579 \times 10^7$$

Участок: ТП4-ТП3

$$\Delta P_{nc.2.2} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 3} + P_{p\Sigma 2.9} + P_{p\Sigma 2.2} + P_{p\Sigma 1} \dots + \left[\Delta P_{mp3} + \left[\left(\Delta P_{mp2_9} \dots \right) \dots \right] + \Delta P_{mp1} \right] \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{12} \cdot L_{np2} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 3} + Q_{p\Sigma 1} + Q_{p\Sigma 2.9} + Q_{p\Sigma 2.2} \dots + \left[\Delta Q_{mp3} + \left[\left(\Delta Q_{mp1} \dots \right) \dots \right] + \Delta Q_{mp2_2} \right] \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{12} \cdot L_{np2}}{10^2} = 1.208 \times 10^4$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
 Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\Delta Q_{nc.2.2} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 3} + P_{p\Sigma 2.9} + P_{p\Sigma 2.2} + P_{p\Sigma 1} \dots + \left[\frac{\Delta P_{mp3} + \left(\frac{\Delta P_{mp2g} \dots}{+ \Delta P_{mp2_2}} \right) \dots \right] \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x12 \cdot Lnp_2 \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 3} + Q_{p\Sigma 1} + Q_{p\Sigma 2.9} + Q_{p\Sigma 2.2} \dots + \left[\frac{\Delta Q_{mp3} + \left(\frac{\Delta Q_{mp1} \dots}{+ \Delta Q_{mp2g}} \right) \dots \right] \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x12 \cdot Lnp_2}{10^2} = 2.231 \times 10^3$$

$$\Delta W_{nc.2.2} := \tau \cdot \Delta P_{nc.2.2} = 4.809 \times 10^7$$

Участок: ТПЗ-ТП1

$$\Delta P_{nc.3.2} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.9} + P_{p\Sigma 2.2} + P_{p\Sigma 1} \dots + (\Delta P_{mp2g} + \Delta P_{mp2_2} + \Delta P_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r12 \cdot Lnp_3 \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 1} + Q_{p\Sigma 2.9} + Q_{p\Sigma 2.2} \dots + (\Delta Q_{mp1} + \Delta Q_{mp2g} + \Delta Q_{mp2_2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r12 \cdot Lnp_3}{10^2} = 1.689 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{nc.3.2} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.9} + P_{p\Sigma 2.2} + P_{p\Sigma 1} \dots + (\Delta P_{mp2g} + \Delta P_{mp2_2} + \Delta P_{mp1}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x12 \cdot Lnp_3 \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 1} + Q_{p\Sigma 2.9} + Q_{p\Sigma 2.2} \dots + (\Delta Q_{mp1} + \Delta Q_{mp2g} + \Delta Q_{mp2_2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x12 \cdot Lnp_3}{10^2} = 311.804$$

$$\Delta W_{nc.3.2} := \tau \cdot \Delta P_{nc.3.2} = 6.719 \times 10^6$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

Участок: ТП1-ТП9

$$\Delta P_{nc.4.2} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.9} + P_{p\Sigma 2.2} \dots + (\Delta P_{mp2.9} + \Delta P_{mp2.2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{12} \cdot L_{np4} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.9} + Q_{p\Sigma 2.2} \dots + (\Delta Q_{mp2.9} + \Delta Q_{mp2.2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{12} \cdot L_{np4}}{10^2} = 1.364 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{nc.4.2} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.9} + P_{p\Sigma 2.2} + (\Delta P_{mp2.9} + \Delta P_{mp2.2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{12} \cdot L_{np4} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.9} + Q_{p\Sigma 2.2} + (\Delta Q_{mp2.9} + \Delta Q_{mp2.2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{12} \cdot L_{np4}}{10^2} = 251.794$$

$$\Delta W_{nc.4.2} := \tau \cdot \Delta P_{nc.4.2} = 5.426 \times 10^6$$

Участок: ТП9-ТП2

$$\Delta P_{nc.5.2} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.2} + (\Delta P_{mp2.2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{12} \cdot L_{np5} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.2} + (\Delta Q_{mp2.2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{12} \cdot L_{np5}}{10^2} = 201.891$$

$$\Delta Q_{nc.5.2} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.2} + (\Delta P_{mp2.2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{12} \cdot L_{np5} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.2} + (\Delta Q_{mp2.2}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{12} \cdot L_{np5}}{10^2} = 37.282$$

$$\Delta W_{nc.5.2} := \tau \cdot \Delta P_{nc.5.2} = 8.034 \times 10^5$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
 Расчеты в ПВК Mathcad 15

Участок: ПС-ТП5

$$\Delta P_{nc.6.2} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.5} + P_{p\Sigma 2.6} + P_{p\Sigma 2.7} + P_{p\Sigma 2.8} \dots + \left[\Delta P_{mp25} + \left[\left(\Delta P_{mp26} \dots \right) \dots \right] \cdot 10^{-3} \right]}{2} \right]^2 \cdot r_{12} \cdot L_{np6} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.5} + Q_{p\Sigma 2.6} + Q_{p\Sigma 2.7} + Q_{p\Sigma 2.8} \dots + \left[\Delta Q_{mp25} + \left[\left(\Delta Q_{mp26} \dots \right) \dots \right] \cdot 10^{-3} \right]}{2} \right]^2 \cdot r_{12} \cdot L_{np6}}{10^2} = 2.393 \times 10^4$$

$$\Delta Q_{nc.6.2} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.5} + P_{p\Sigma 2.6} + P_{p\Sigma 2.7} + P_{p\Sigma 2.8} \dots + \left[\Delta P_{mp25} + \left[\left(\Delta P_{mp26} \dots \right) \dots \right] \cdot 10^{-3} \right]}{2} \right]^2 \cdot x_{12} \cdot L_{np6} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.5} + Q_{p\Sigma 2.6} + Q_{p\Sigma 2.7} + Q_{p\Sigma 2.8} \dots + \left[\Delta Q_{mp25} + \left[\left(\Delta Q_{mp26} \dots \right) \dots \right] \cdot 10^{-3} \right]}{2} \right]^2 \cdot x_{12} \cdot L_{np6}}{10^2} = 4.42 \times 10^3$$

$$\Delta W_{nc.6.2} := \tau \cdot \Delta P_{nc.6.2} = 9.524 \times 10^7$$

Участок: ТП5-ТП7

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
 Расчеты в ПК Mathcad 15

$$\Delta P_{nc.7.2} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.6} + P_{p\Sigma 2.7} + P_{p\Sigma 2.8} \dots + (\Delta P_{mp2.6} + \Delta P_{mp2.7} + \Delta P_{mp2.8}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{12} \cdot L_{np7} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.6} + Q_{p\Sigma 2.7} + Q_{p\Sigma 2.8} \dots + (\Delta Q_{mp2.6} + \Delta Q_{mp2.7} + \Delta Q_{mp2.8}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{12} \cdot L_{np7}}{10^2} = 1.338 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{nc.7.2} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.6} + P_{p\Sigma 2.7} + P_{p\Sigma 2.8} \dots + (\Delta P_{mp2.6} + \Delta P_{mp2.7} + \Delta P_{mp2.8}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{12} \cdot L_{np7} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.6} + Q_{p\Sigma 2.7} + Q_{p\Sigma 2.8} \dots + (\Delta Q_{mp2.6} + \Delta Q_{mp2.7} + \Delta Q_{mp2.8}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{12} \cdot L_{np7}}{10^2} = 247.051$$

$$\Delta W_{nc.7.2} := \tau \cdot \Delta P_{nc.7.2} = 5.324 \times 10^6$$

Участок: ТП7-ТП8

$$\Delta P_{nc.8.2} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{p\Sigma 2.6} + P_{p\Sigma 2.8} \dots + (\Delta P_{mp2.6} + \Delta P_{mp2.8}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{12} \cdot L_{np8} \dots + \left[\frac{Q_{p\Sigma 2.6} + Q_{p\Sigma 2.8} \dots + (\Delta Q_{mp2.6} + \Delta Q_{mp2.8}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{12} \cdot L_{np8}}{10^2} = 5.33 \times 10^3$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$\Delta Q_{\text{nc.8.2}} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{\rho\Sigma 2.6} + P_{\rho\Sigma 2.8} \dots + (\Delta P_{\text{mp}2.6} + \Delta P_{\text{mp}2.8}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{12} \cdot L_{\text{np}8} \dots + \left[\frac{Q_{\rho\Sigma 2.6} + Q_{\rho\Sigma 2.8} \dots + (\Delta Q_{\text{mp}2.6} + \Delta Q_{\text{mp}2.8}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{12} \cdot L_{\text{np}8}}{10^2} = 984.179$$

$$\Delta W_{\text{nc.8.2}} := \tau \cdot \Delta P_{\text{nc.8.2}} = 2.121 \times 10^7$$

Участок: ТП8-ТП6

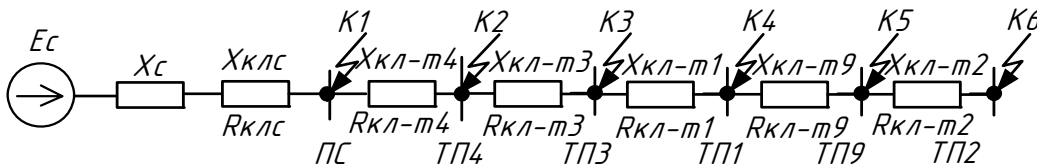
$$\Delta P_{\text{nc.9.2}} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{\rho\Sigma 2.6} + (\Delta P_{\text{mp}2.6}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{12} \cdot L_{\text{np}9} \dots + \left[\frac{Q_{\rho\Sigma 2.6} + (\Delta Q_{\text{mp}2.6}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot r_{12} \cdot L_{\text{np}9}}{10^2} = 1.794 \times 10^3$$

$$\Delta Q_{\text{nc.9.2}} := 2 \cdot \frac{\left[\frac{P_{\rho\Sigma 2.6} + (\Delta P_{\text{mp}2.6}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{12} \cdot L_{\text{np}9} \dots + \left[\frac{Q_{\rho\Sigma 2.6} + (\Delta Q_{\text{mp}2.6}) \cdot 10^{-3}}{2} \right]^2 \cdot x_{12} \cdot L_{\text{np}9}}{10^2} = 331.262$$

$$\Delta W_{\text{nc.9.2}} := \tau \cdot \Delta P_{\text{nc.9.2}} = 7.139 \times 10^6$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПК Mathcad 15

Расчёт токов КЗ 10 кВ



Сопротивления элементов схемы

$$X_c := \frac{10.5}{\sqrt{3} \cdot 7.08} = 0.856$$

$$X_{кл_{с.пс}} := 0.095 \quad R_{кл_{с.пс}} := 0.84$$

$$X_{кл_{пс.1}} := x_{12} \cdot L_{пр1} = 0.036$$

$$X_{кл_{пс.2}} := x_{12} \cdot L_{пр2} = 0.057$$

$$X_{кл_{пс.3}} := x_{12} \cdot L_{пр3} = 0.012$$

$$X_{кл_{пс.4}} := x_{12} \cdot L_{пр6} = 0.039$$

$$X_{кл_{пс.5}} := x_{22} \cdot L_{пр5} = 0.011$$

$$X_{кл_{пс.6}} := x_{22} \cdot L_{пр6} = 0.039$$

$$X_{кл_{пс.7}} := x_{22} \cdot L_{пр7} = 6.556 \times 10^{-3}$$

$$X_{кл_{пс.8}} := x_{22} \cdot L_{пр8} = 0.048$$

$$X_{кл_{пс.9}} := x_{12} \cdot L_{пр9} = 0.054$$

Точка К1

1. трехфазное

$$X_{11} := X_c + X_{кл_{с.пс}} = 0.951$$

$$R_{11} := R_{кл_{с.пс}} = 0.84$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{по.1.1}} := \frac{10.5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{11}^2 + R_{11}^2}} = 4.777$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$T_{a1} := \frac{X_{11}}{314 \cdot R_{11}} = 3.606 \times 10^{-3}$$

$$k_{y\partial.1} := 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a1}}} = 1.062$$

$$I_{y\partial 1_1} := \sqrt{2} \cdot I_{\max_{\text{но.1.1}}} \cdot \left(1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a1}}}\right) = 7.178$$

2. Двухфазное

Ток при металлическом контакте

$$I_{2\max_{\text{но.1.1}}} := \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\max_{\text{но.1.1}}}}{2} = 4.137$$

Точка К2

1. трехфазное

$$X_{12} := X_c + X_{\text{кл.нс}} + X_{\text{кл.нс.4}} = 0.99$$

$$R_{12} := R_{\text{кл.нс}} + R_{\text{кл.нс.4}} = 0.928$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{\text{но.1.2}}} := \frac{10.5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{12}^2 + R_{12}^2}} = 4.467$$

$$T_{a2} := \frac{X_{12}}{314 \cdot R_{12}} = 3.399 \times 10^{-3}$$

$$k_{y\partial} := 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a2}}} = 1.053$$

$$I_{y\partial 1_2} := \sqrt{2} \cdot I_{\max_{\text{но.1.2}}} \cdot \left(1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a2}}}\right) = 6.65$$

2. Двухфазное

Ток при металлическом контакте

$$I_{2\max_{\text{но.1.2}}} := \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\max_{\text{но.1.2}}}}{2} = 3.868$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

Точка К3

1. трехфазное

$$X_{13} := X_c + X_{кл_{с.пс}} + X_{кл_{пс.4}} + X_{кл_{пс.3}} = 1.002$$

$$R_{13} := R_{кл_{с.пс}} + R_{кл_{пс.4}} + R_{кл_{пс.3}} = 0.993$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{max_{но.1.3}} := \frac{10.5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{13}^2 + R_{13}^2}} = 4.296$$

$$T_{a3} := \frac{X_{13}}{314 \cdot R_{13}} = 3.214 \times 10^{-3}$$

$$k_{уд.3} := 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a3}}} = 1.045$$

$$I_{уд.3} := \sqrt{2} \cdot I_{max_{но.1.3}} \cdot \left(1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a3}}}\right) = 6.346$$

2. Двухфазное

Ток при металлическом контакте

$$I_{2max_{но.1.3}} := \frac{\sqrt{3} \cdot I_{max_{но.1.3}}}{2} = 3.72$$

Точка К4

1. трехфазное

$$X_{14} := X_c + X_{кл_{с.пс}} + X_{кл_{пс.4}} + X_{кл_{пс.3}} + X_{кл_{пс.1}} = 1.039$$

$$R_{14} := R_{кл_{с.пс}} + R_{кл_{пс.4}} + R_{кл_{пс.3}} + R_{кл_{пс.1}} = 1.189$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{max_{но.1.4}} := \frac{10.5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{14}^2 + R_{14}^2}} = 3.84$$

$$T_{a4} := \frac{X_{14}}{314 \cdot R_{14}} = 2.782 \times 10^{-3}$$

$$k_{уд.4} := 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a4}}} = 1.027$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$I_{y\partial 1_4} := \sqrt{2} \cdot I_{\max_{\text{но.1.4}}} \cdot \left(1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a4}}}\right) = 5.58$$

2. Двухфазное

Ток при металлическом контакте

$$I_{2\max_{\text{но.1.4}}} := \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\max_{\text{но.1.4}}}}{2} = 3.326$$

Точка К5

1. трехфазное

$$X_{15} := X_c + X_{\text{кл.нс}} + X_{\text{кл.нс.4}} + X_{\text{кл.нс.3}} + X_{\text{кл.нс.1}} + X_{\text{кл.нс.9}} = 1.093$$

$$R_{15} := R_{\text{кл.нс}} + R_{\text{кл.нс.4}} + R_{\text{кл.нс.3}} + R_{\text{кл.нс.1}} + R_{\text{кл.нс.9}} = 1.482$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{\text{но.1.5}}} := \frac{10.5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{15}^2 + R_{15}^2}} = 3.292$$

$$T_{a5} := \frac{X_{15}}{314 \cdot R_{15}} = 2.348 \times 10^{-3}$$

$$K_{y\partial 5} := 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a5}}} = 1.014$$

$$I_{y\partial 1_5} := \sqrt{2} \cdot I_{\max_{\text{но.1.5}}} \cdot \left(1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a5}}}\right) = 4.721$$

2. Двухфазное

Ток при металлическом контакте

$$I_{2\max_{\text{но.1.5}}} := \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\max_{\text{но.1.5}}}}{2} = 2.851$$

Точка К6

1. трехфазное

$$X_{16} := X_c + X_{\text{кл.нс}} + X_{\text{кл.нс.4}} + X_{\text{кл.нс.3}} + X_{\text{кл.нс.1}} + X_{\text{кл.нс.9}} + X_{\text{кл.нс.2}} = 1.15$$

$$R_{16} := R_{\text{кл.нс}} + R_{\text{кл.нс.4}} + R_{\text{кл.нс.3}} + R_{\text{кл.нс.1}} + R_{\text{кл.нс.9}} + R_{\text{кл.нс.2}} = 1.792$$

Ток при металлическом контакте

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$I_{\max_{\text{но.1.6}}} := \frac{10.5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{16}^2 + R_{16}^2}} = 2.847$$

$$T_{a6} := \frac{X_{16}}{314 \cdot R_{16}} = 2.044 \times 10^{-3}$$

$$k_{уд.6} := 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a6}}} = 1.007$$

$$I_{уд16} := \sqrt{2} \cdot I_{\max_{\text{но.1.6}}} \cdot \left(1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a6}}}\right) = 4.057$$

2. Двухфазное

Ток при металлическом контакте

$$I_{2\max_{\text{но.1.6}}} := \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\max_{\text{но.1.6}}}}{2} = 2.466$$

Точка К7

1. трехфазное

$$X_{17} := X_c + X_{кЛ_{с.пс}} + X_{кЛ_{пс.5}} = 0.963$$

$$R_{17} := R_{кЛ_{с.пс}} + R_{кЛ_{пс.5}} = 0.879$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{\text{но.1.7}}} := \frac{10.5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{17}^2 + R_{17}^2}} = 4.652$$

$$T_{a7} := \frac{X_{17}}{314 \cdot R_{17}} = 3.489 \times 10^{-3}$$

$$k_{уд.7} := 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a7}}} = 1.057$$

$$I_{уд17} := \sqrt{2} \cdot I_{\max_{\text{но.1.7}}} \cdot \left(1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a7}}}\right) = 6.953$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

2. Двухфазное

Ток при металлическом контакте

$$I_{2\max_{\text{но.1.7}}} := \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\max_{\text{но.1.7}}}}{2} = 4.028$$

Точка К8

1. трехфазное

$$X_{18} := X_c + X_{\text{кл}_{\text{с.пс}}} + X_{\text{кл}_{\text{пс.5}}} + X_{\text{кл}_{\text{пс.7}}} = 0.969$$

$$R_{18} := R_{\text{кл}_{\text{с.пс}}} + R_{\text{кл}_{\text{пс.5}}} + R_{\text{кл}_{\text{пс.6}}} = 1.011$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{\text{но.1.8}}} := \frac{10.5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{18}^2 + R_{18}^2}} = 4.33$$

$$T_{a8} := \frac{X_{18}}{314 \cdot R_{18}} = 3.054 \times 10^{-3}$$

$$k_{y\partial.8} := 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a8}}} = 1.038$$

$$I_{y\partial_{18}} := \sqrt{2} \cdot I_{\max_{\text{но.1.8}}} \cdot \left(1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a8}}}\right) = 6.355$$

2. Двухфазное

Ток при металлическом контакте

$$I_{2\max_{\text{но.1.8}}} := \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\max_{\text{но.1.8}}}}{2} = 3.75$$

Точка К9

1. трехфазное

$$X_{19} := X_c + X_{\text{кл}_{\text{с.пс}}} + X_{\text{кл}_{\text{пс.5}}} + X_{\text{кл}_{\text{пс.7}}} + X_{\text{кл}_{\text{пс.8}}} = 1.017$$

$$R_{19} := R_{\text{кл}_{\text{с.пс}}} + R_{\text{кл}_{\text{пс.5}}} + R_{\text{кл}_{\text{пс.6}}} + R_{\text{кл}_{\text{пс.8}}} = 1.173$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{\text{но.1.9}}} := \frac{10.5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{19}^2 + R_{19}^2}} = 3.905$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$T_{a9} := \frac{X_{19}}{314 \cdot R_{19}} = 2.761 \times 10^{-3}$$

$$k_{y\partial.9} := 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a9}}} = 1.027$$

$$I_{y\partial 19} := \sqrt{2} \cdot I_{\max_{\text{но.1.9}}} \cdot \left(1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a9}}}\right) = 5.671$$

2. Двухфазное

Ток при металлическом контакте

$$I_{2\max_{\text{но.1.9}}} := \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\max_{\text{но.1.9}}}}{2} = 3.382$$

Точка К10

1. трехфазное

$$X_{110} := X_c + X_{\text{кл.нс}} + X_{\text{кл.нс.5}} + X_{\text{кл.нс.6}} + X_{\text{кл.нс.7}} + X_{\text{кл.нс.8}} = 1.056$$

$$R_{110} := R_{\text{кл.нс}} + R_{\text{кл.нс.5}} + R_{\text{кл.нс.6}} + R_{\text{кл.нс.7}} + R_{\text{кл.нс.8}} = 1.195$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{\text{но.1.10}}} := \frac{10.5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{110}^2 + R_{110}^2}} = 3.802$$

$$T_{a10} := \frac{X_{110}}{314 \cdot R_{110}} = 2.812 \times 10^{-3}$$

$$k_{y\partial.10} := 1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a10}}} = 1.029$$

$$I_{y\partial 110} := \sqrt{2} \cdot I_{\max_{\text{но.1.10}}} \cdot \left(1 + e^{\frac{-0.01}{T_{a10}}}\right) = 5.53$$

2. Двухфазное

Ток при металлическом контакте

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$I_{2\max_{\text{но.1.10}}} := \frac{\sqrt{3} I_{\max_{\text{но.1.10}}}}{2} = 3.292$$

Расчет токов кз 0,4

$$X_{\text{пр}_{\text{QF}}} := 0.41 \cdot 10^{-3} 10^{-3}$$

$$X_{\text{шунКТП}} := 0.06 \cdot 10^{-3}$$

$$X_{\text{кЛ}_{\text{F}}} := 0.08 \cdot 10^{-3} 0^{-3}$$

$$X_{\text{кЛ1}} := x_1 \cdot L_1 = 6.875 \times 10^{-3}$$

$$X_{\text{кЛ2}} := x_2 \cdot L_2 = 3.576 \times 10^{-3}$$

$$X_{\text{кЛ3}} := x_3 \cdot L_3 = 3.672 \times 10^{-3}$$

$$X_{\text{кЛ4}} := x_{2.4} \cdot L_{2.4} = 6.12 \times 10^{-3}$$

$$X_{\text{кЛ5}} := x_{2.5} \cdot L_{2.5} = 0.037$$

$$X_{\text{кЛ6}} := x_6 \cdot L_6 = 1.788 \times 10^{-3}$$

$$X_{\text{кЛ7}} := x_7 \cdot L_7 = 7.748 \times 10^{-3}$$

$$X_{\text{кЛ8}} := x_8 \cdot L_8 = 0.011$$

$$X_{\text{кЛ9}} := x_{2.9} \cdot L_{2.9} = 1.761 \times 10^{-3}$$

$$X_{\text{кЛ10}} := x_{2.10} \cdot L_{2.10} = 3.874 \times 10^{-3}$$

$$X_{\text{кЛ11}} := x_{11} \cdot L_{11} = 0.069$$

$$X_{\text{кЛ12}} := x_{12} \cdot L_{12} = 5.283 \times 10^{-3}$$

$$X_{\text{кЛ13}} := x_{13} \cdot L_{13} = 5.283 \times 10^{-3}$$

$$X_{\text{кЛ14}} := x_{2.14} \cdot L_{2.14} = 6.12 \times 10^{-3}$$

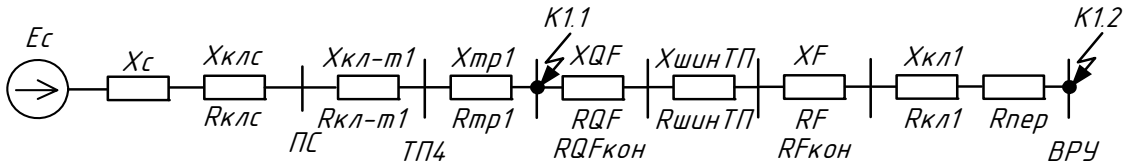
$$X_{\text{кЛ15}} := x_{15} \cdot L_{15} = 7.044 \times 10^{-3}$$

$$X_{\text{кЛ16}} := x_{16} \cdot L_{16} = 0.345$$

$$X_{\text{кЛ17}} := x_9 \cdot L_{2.9} = 1.761 \times 10^{-3}$$

$$X_{\text{кЛ18}} := x_{2.10} \cdot L_{2.10} = 3.874 \times 10^{-3}$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15



Точка К1.0

1. трехфазное

$$X0 := (X_c + X_{клс.пс} + X_{клпс.1} + x_{тп1}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 = 0.017$$

$$R0 := (R_{клс.пс} + R_{клпс.1} + r_{тп1}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 = 6.492 \times 10^{-3}$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{но.0}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X0^2 + R0^2}} = 12.705$$

3. однофазное

$$X0 := [2(X_c + X_{клс.пс} + X_{клпс.1}) + 3x_{тп1}] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 = 0.05$$

$$R0 := [2(R_{клс.пс} + R_{клпс.1}) + 3r_{тп1}] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 = 0.018$$

Ток при контакте через дугу

$$R_{д0} := 15 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{к0} := R0 + R_{д0} = 0.033$$

$$I_{0\min_{но.0}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X0^2 + R_{к0}^2}} = 11.648$$

Точка К1.1

1. трехфазное

$$X1 := (X_c + X_{клс.пс} + X_{клпс.1} + x_{тп1}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.08$$

$$+ X_{тпQF} + X_{шнКТП} + X_{кЛF} + x_1$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$R1 := (R_{клс.пс} + R_{клпс.1} + r_{мп1}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.45$$

$$+ R_{мпQF} + R_{мпQF.конм} + R_{шинКТП} + R_{кЛF} + R_{кЛF.конм} + r_1$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{max_{но.1}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X1^2 + R1^2}} = 0.505$$

3. однофазное

$$X1 := \left[2(X_c + X_{клс.пс} + X_{клпс.1}) + 3x_{мп1} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.23$$

$$+ 3(X_{мпQF} + X_{шинКТП} + X_{кЛF} + x_2)$$

$$R1 := \left[2(R_{клс.пс} + R_{клпс.1}) + 3r_{мп1} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.629$$

$$+ 3(R_{мпQF} + R_{мпQF.конм} + R_{шинКТП} + R_{кЛF} + R_{кЛF.конм} + r_2)$$

Ток при контакте через дугу

$$R_{д1} := 20 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{к1} := R1 + R_{д1} = 0.649$$

$$I_{0min_{но.1}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X1^2 + R_{к1}^2}} = 1.007$$

Точка К1.2

1. трехфазное

$$X2 := (X_c + X_{клс.пс} + X_{клпс.1} + x_{мп1}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.077$$

$$+ X_{мпQF} + X_{шинКТП} + X_{кЛF} + x_2$$

$$R2 := (R_{клс.пс} + R_{клпс.1} + r_{мп1}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.333$$

$$+ R_{мпQF} + R_{мпQF.конм} + R_{шинКТП} + R_{кЛF} + R_{кЛF.конм} + r_2$$

Ток при металлическом контакте

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$I_{\max_{\text{но.2}}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X2^2 + R2^2}} = 0.675$$

3. однофазное

$$X2 := \left[2(X_c + X_{\text{кл.нс}} + X_{\text{кл.нс.1}}) + 3x_{\text{мп1}} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 \dots = 0.23$$

$$+ 3(X_{\text{мпQF}} + X_{\text{шинКТП}} + X_{\text{кЛФ}} + x_2)$$

$$R2 := \left[2(R_{\text{кл.нс}} + R_{\text{кл.нс.1}}) + 3r_{\text{мп1}} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 \dots = 0.629$$

$$+ 3(R_{\text{мпQF}} + R_{\text{мпQF.конм}} + R_{\text{шинКТП}} + R_{\text{кЛФ}} + R_{\text{кЛФ.конм}} + r_2)$$

Ток при контакте через дугу

$$R_{\partial 2} := 20 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{\text{к2}} := R2 + R_{\partial 2} = 0.649$$

$$I_{\min_{\text{но.2}}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X2^2 + R_{\text{к2}}^2}} = 1.007$$

Точка К1.3

1. трехфазное

$$X3 := (X_c + X_{\text{кл.нс}} + X_{\text{кл.нс.1}} + x_{\text{мп1}}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 \dots = 0.079$$

$$+ X_{\text{мпQF}} + X_{\text{шинКТП}} + X_{\text{кЛФ}} + x_3$$

$$R3 := (R_{\text{кл.нс}} + R_{\text{кл.нс.1}} + r_{\text{мп1}}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 \dots = 0.45$$

$$+ R_{\text{мпQF}} + R_{\text{мпQF.конм}} + R_{\text{шинКТП}} + R_{\text{кЛФ}} + R_{\text{кЛФ.конм}} + r_3$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{\text{но.3}}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X3^2 + R3^2}} = 0.505$$

3. однофазное

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$X_3 := \left[2(X_c + X_{кЛс.пс} + X_{кЛпс.1}) + 3x_{мп1} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 \dots = 0.235$$

$$+ 3(X_{мпQF} + X_{шинКТП} + X_{кЛF} + x_3)$$

$$R_3 := \left[2(R_{кЛс.пс} + R_{кЛпс.1}) + 3r_{мп1} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 \dots = 1.349$$

$$+ 3(R_{мпQF} + R_{мпQF.конм} + R_{шинКТП} + R_{кЛF} + R_{кЛF.конм} + r_3)$$

Ток при контакте через дугу

$$R_{\partial_3} := 20 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{к_3} := R_3 + R_{\partial_3} = 1.369$$

$$I_{0\min_{но.3}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X_3^2 + R_{к_3}^2}} = 0.499$$

Точка К2.0

1. трехфазное

$$X_{0_2} := (X_c + X_{кЛс.пс} + X_{кЛпс.1} + x_{мп2.2}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 = 0.014$$

$$R_{0_2} := (R_{кЛс.пс} + R_{кЛпс.1} + r_{мп2.2}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 = 4.282 \times 10^{-3}$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{но.0.2}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{0_2}^2 + R_{0_2}^2}} = 15.989$$

3. однофазное

$$X_{0_2} := \left[2(X_c + X_{кЛс.пс} + X_{кЛпс.1}) + 3x_{мп2.2} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 = 0.04$$

$$R_{0_2} := \left[2(R_{кЛс.пс} + R_{кЛпс.1}) + 3r_{мп2.2} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 = 0.011$$

Ток при контакте через дугу

$$R_{\partial_2} := 15 \cdot 10^{-3}$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$R_{k0.2} := R_{0.2} + R_{\partial 0.2} = 0.026$$

$$I_{0\min_{no.0.2}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X_{0.2}^2 + R_{k0.2}^2}} = 23.299$$

Точка К2.4

1. трехфазное

$$X_4 := (X_c + X_{кл.нс} + X_{кл.нс.1} + x_{мп2.2}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.076$$

$$+ X_{мпQF} + X_{шинКТП} + X_{кЛF} + x_{2.4}$$

$$R_4 := (R_{кл.нс} + R_{кл.нс.1} + r_{мп2.2}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.448$$

$$+ R_{мпQF} + R_{мпQF.конм} + R_{шинКТП} + R_{кЛF} + R_{кЛF.конм} + r_{2.4}$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{no.4}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_4^2 + R_4^2}} = 0.508$$

3. однофазное

$$X_4 := [2(X_c + X_{кл.нс} + X_{кл.нс.1}) + 3x_{мп2}] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.235$$

$$+ 3(X_{мпQF} + X_{шинКТП} + X_{кЛF} + x_{2.4})$$

$$R_4 := [2(R_{кл.нс} + R_{кл.нс.1}) + 3r_{мп2}] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 1.349$$

$$+ 3(R_{мпQF} + R_{мпQF.конм} + R_{шинКТП} + R_{кЛF} + R_{кЛF.конм} + r_{2.4})$$

Ток при контакте через дугу

$$R_{\partial 4} := 20 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{k4} := R_4 + R_{\partial 4} = 1.369$$

$$I_{0\min_{no.4}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X_4^2 + R_{k4}^2}} = 0.499$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

Точка К2.5

1. трехфазное

$$X5 := (X_c + X_{кЛс.пс} + X_{кЛпс.1} + x_{мп2.2}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.754$$

$$+ X_{мпQF} + X_{шинКТП} + X_{кЛF} + x_{2.5}$$

$$R5 := (R_{кЛс.пс} + R_{кЛпс.1} + \Gamma_{мп2.2}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 1.245$$

$$+ R_{мпQF} + R_{мпQF.конм} + R_{шинКТП} + R_{кЛF} + R_{кЛF.конм} + \Gamma_{2.5}$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{max_{но.5}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X5^2 + R5^2}} = 0.159$$

3. однофазное

$$X5 := [2(X_c + X_{кЛс.пс} + X_{кЛпс.2}) + 3x_{мп2.2}] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 2.262$$

$$+ 3(X_{мпQF} + X_{шинКТП} + X_{кЛF} + x_{2.5})$$

$$R5 := [2(R_{кЛс.пс} + R_{кЛпс.1}) + 3\Gamma_{мп2.2}] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 3.733$$

$$+ 3(R_{мпQF} + R_{мпQF.конм} + R_{шинКТП} + R_{кЛF} + R_{кЛF.конм} + \Gamma_{2.5})$$

Ток при контакте через дугу

$$R_{д5} := 20 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{к5} := R5 + R_{д5} = 3.753$$

$$I_{0min_{но.5}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X5^2 + R_{к5}^2}} = 0.158$$

Точка К2.6

1. трехфазное

$$X6 := (X_c + X_{кЛс.пс} + X_{кЛпс.1} + x_{мп2.2}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.074$$

$$+ X_{мпQF} + X_{шинКТП} + X_{кЛF} + x_6$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$R_6 := (R_{кЛс.пс} + R_{кЛпс.1} + \Gamma_{мп2.2}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.208$$

$$+ R_{мпQF} + R_{мпQF.конм} + R_{шинКТП} + R_{кЛФ} + R_{кЛФ.конм} + \Gamma_6$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{max_{но.6}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_6^2 + R_6^2}} = 1.047$$

3. однофазное

$$X_6 := \left[2(X_c + X_{кЛс.пс} + X_{кЛпс.2}) + 3X_{мп2.2} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.22$$

$$+ 3(X_{мпQF} + X_{шинКТП} + X_{кЛФ} + x_6)$$

$$R_6 := \left[2(R_{кЛс.пс} + R_{кЛпс.1}) + 3\Gamma_{мп2.2} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.622$$

$$+ 3(R_{мпQF} + R_{мпQF.конм} + R_{шинКТП} + R_{кЛФ} + R_{кЛФ.конм} + \Gamma_6)$$

Ток при контакте через дугу

$$R_{\partial_6} := 20 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{к_6} := R_6 + R_{\partial_6} = 0.642$$

$$I_{0min_{но.6}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X_6^2 + R_{к_6}^2}} = 1.02$$

Точка К2.14

1. трехфазное

$$X_{14} := (X_c + X_{кЛс.пс} + X_{кЛпс.1} + X_{мп2.2}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.076$$

$$+ X_{мпQF} + X_{шинКТП} + X_{кЛФ} + x_{2.14}$$

$$R_{14} := (R_{кЛс.пс} + R_{кЛпс.1} + \Gamma_{мп2.2}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.448$$

$$+ R_{мпQF} + R_{мпQF.конм} + R_{шинКТП} + R_{кЛФ} + R_{кЛФ.конм} + \Gamma_{2.14}$$

Ток при металлическом контакте

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$I_{\max_{\text{но.14}}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{14}^2 + R_{14}^2}} = 0.508$$

3. однофазное

$$X_{14} := \left[2(X_c + X_{кЛс.пс} + X_{кЛпс.2}) + 3x_{\text{мп2.2}} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 \dots = 0.225$$

$$+ 3(X_{\text{мпQF}} + X_{\text{шинКТП}} + X_{кЛФ} + x_{2.14})$$

$$R_{14} := \left[2(R_{кЛс.пс} + R_{кЛпс.1}) + 3r_{\text{мп2.2}} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 \dots = 1.342$$

$$+ 3(R_{\text{мпQF}} + R_{\text{мпQF.конм}} + R_{\text{шинКТП}} + R_{кЛФ} + R_{кЛФ.конм} + r_{2.14})$$

Ток при контакте через дугу

$$R_{\partial 14} := 20 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{к14} := R_{14} + R_{\partial 14} = 1.362$$

$$I_{\min_{\text{но.14}}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X_{14}^2 + R_{к14}^2}} = 0.502$$

Точка К3.0

1. трехфазное

$$X_{03} := (X_c + X_{кЛс.пс} + X_{кЛпс.1} + x_{\text{мп3}}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 = 0.017$$

$$R_{03} := (R_{кЛс.пс} + R_{кЛпс.1} + r_{\text{мп3}}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 = 6.492 \times 10^{-3}$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{\text{но.0.3}}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{03}^2 + R_{03}^2}} = 12.705$$

3. однофазное

$$X_{03} := \left[2(X_c + X_{кЛс.пс} + X_{кЛпс.1}) + 3x_{\text{мп3}} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 = 0.05$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$R_{03} := \left[2(R_{клс.пс} + R_{клпс.1}) + 3\Gamma_{мпз} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 = 0.018$$

Ток при контакте через дугу

$$R_{\partial 03} := 15 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{к03} := R_{03} + R_{\partial 03} = 0.033$$

$$I_{0\min_{п0.03}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X_{03}^2 + R_{к03}^2}} = 11.648$$

Точка К3.7

1. трехфазное

$$X_7 := \left(X_c + X_{клс.пс} + X_{клпс.1} + x_{мпз} \right) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 \dots = 0.077$$

$$+ X_{мп\text{QF}} + X_{шинКТП} + X_{к\text{LF}} + x_7$$

$$R_7 := \left(R_{клс.пс} + R_{клпс.1} + \Gamma_{мпз} \right) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 \dots = 0.21$$

$$+ R_{мп\text{QF}} + R_{мп\text{QF.конм}} + R_{шинКТП} + R_{к\text{LF}} + R_{к\text{LF.конм}} + \Gamma_7$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{п0.7}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_7^2 + R_7^2}} = 1.032$$

3. однофазное

$$X_7 := \left[2(X_c + X_{клс.пс} + X_{клпс.2}) + 3x_{мпз} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 \dots = 0.23$$

$$+ 3(X_{мп\text{QF}} + X_{шинКТП} + X_{к\text{LF}} + x_7)$$

$$R_7 := \left[2(R_{клс.пс} + R_{клпс.1}) + 3\Gamma_{мпз} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 \dots = 0.629$$

$$+ 3(R_{мп\text{QF}} + R_{мп\text{QF.конм}} + R_{шинКТП} + R_{к\text{LF}} + R_{к\text{LF.конм}} + \Gamma_7)$$

Ток при контакте через дугу

$$R_{\partial 7} := 20 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{к7} := R_7 + R_{\partial 7} = 0.649$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
 Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$I_{0\min_{\text{но.7}}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X7^2 + R_{K7}^2}} = 1.007$$

Точка К3.8

1. трехфазное

$$X8 := (X_c + X_{K_{L_{c.nc}}} + X_{K_{L_{nc.1}}} + X_{\text{мрз}}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.077$$

$$+ X_{\text{мр}_{QF}} + X_{\text{шинКТП}} + X_{K_{LF}} + x_8$$

$$R8 := (R_{K_{L_{c.nc}}} + R_{K_{L_{nc.1}}} + r_{\text{мрз}}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.21$$

$$+ R_{\text{мр}_{QF}} + R_{\text{мр}_{QF.\text{конм}}} + R_{\text{шинКТП}} + R_{K_{LF}} + R_{K_{LF.\text{конм}}} + r_8$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{\text{но.8}}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X8^2 + R8^2}} = 1.032$$

3. однофазное

$$X8 := [2(X_c + X_{K_{L_{c.nc}}} + X_{K_{L_{nc.2}}}) + 3X_{\text{мрз}}] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.23$$

$$+ 3(X_{\text{мр}_{QF}} + X_{\text{шинКТП}} + X_{K_{LF}} + x_8)$$

$$R8 := [2(R_{K_{L_{c.nc}}} + R_{K_{L_{nc.1}}}) + 3r_{\text{мрз}}] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.629$$

$$+ 3(R_{\text{мр}_{QF}} + R_{\text{мр}_{QF.\text{конм}}} + R_{\text{шинКТП}} + R_{K_{LF}} + R_{K_{LF.\text{конм}}} + r_8)$$

Ток при контакте через дугу

$$R_{\partial 8} := 20 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{K8} := R8 + R_{\partial 8} = 0.649$$

$$I_{0\min_{\text{но.8}}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X8^2 + R_{K8}^2}} = 1.007$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$X_{0.4} := (X_c + X_{кЛс.пс} + X_{кЛпс.1} + x_{мп2.4}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 = 0.014$$

$$R_{0.4} := (R_{кЛс.пс} + R_{кЛпс.1} + r_{мп2.4}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 = 4.282 \times 10^{-3}$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{но.0.4}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{0.4}^2 + R_{0.4}^2}} = 15.989$$

3. однофазное

$$X_{0.4.} := [2(X_c + X_{кЛс.пс} + X_{кЛпс.1}) + 3x_{мп2.4}] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 = 0.04$$

$$R_{0.4.} := [2(R_{кЛс.пс} + R_{кЛпс.1}) + 3r_{мп2.4}] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 = 0.011$$

Ток при контакте через дугу

$$R_{\partial 0.4} := 15 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{к0.4} := R_{0.4.} + R_{\partial 0.4} = 0.026$$

$$I_{0\min_{но.0.4}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X_{0.4.}^2 + R_{к0.4}^2}} = 14.478$$

Точка К4.9

1. трехфазное

$$X_9 := (X_c + X_{кЛс.пс} + X_{кЛпс.1} + x_{мп2.4}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.073$$

$$+ x_{мпQF} + X_{шинКТП} + X_{кЛF} + x_{2.9}$$

$$R_9 := (R_{кЛс.пс} + R_{кЛпс.1} + r_{мп2.4}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.082$$

$$+ r_{мпQF} + r_{мпQF.конм} + R_{шинКТП} + R_{кЛF} + R_{кЛF.конм} + r_{2.9}$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{но.9}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_9^2 + R_9^2}} = 2.105$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

3. однофазное

$$X_9 := \left[2(X_c + X_{кЛс.пс} + X_{кЛпс.2}) + 3x_{мп2.4} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 \dots = 0.218$$

$$+ 3(X_{мпQF} + X_{шинКТП} + X_{кЛF} + x_{2.9})$$

$$R_9 := \left[2(R_{кЛс.пс} + R_{кЛпс.1}) + 3r_{мп2.4} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 \dots = 0.244$$

$$+ 3(R_{мпQF} + R_{мпQF.конм} + R_{шинКТП} + R_{кЛF} + R_{кЛF.конм} + r_{2.9})$$

Ток при контакте через дугу

$$R_{\partial_9} := 20 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{к_9} := R_9 + R_{\partial_9} = 0.264$$

$$I_{0\min_{но.9}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X_9^2 + R_{к_9}^2}} = 2.024$$

Точка К6.0

1. трехфазное

$$X_{0_6} := (X_c + X_{кЛс.пс} + X_{кЛпс.1} + x_{мп2.6}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 = 0.011$$

$$R_{0_6} := (R_{кЛс.пс} + R_{кЛпс.1} + r_{мп2.6}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 = 3.273 \times 10^{-3}$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{но.0.6}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{0_6}^2 + R_{0_6}^2}} = 20.642$$

3. однофазное

$$X_{0_6} := \left[2(X_c + X_{кЛс.пс} + X_{кЛпс.1}) + 3x_{мп2.6} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 = 0.031$$

$$R_{0_6} := \left[2(R_{кЛс.пс} + R_{кЛпс.1}) + 3r_{мп2.6} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 = 8.317 \times 10^{-3}$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

Ток при контакте через дугу

$$R\partial_{0.6} := 15 \cdot 10^{-3}$$

$$Rk_{0.6} := R_{0.6} + R\partial_{0.6} = 0.023$$

$$I_{0\min_{\text{но.0.6}}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X_{0.6}^2 + Rk_{0.6}^2}} = 17.986$$

Точка К6.10

1. трехфазное

$$X_{10} := (X_c + X_{кЛ_{с.пс}} + X_{кЛ_{пс.1}} + X_{\text{мп2.6}}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.071$$

$$+ X_{\text{мп}_{QF}} + X_{\text{шинКТП}} + X_{кЛ_F} + x_{2.10}$$

$$R_{10} := (R_{кЛ_{с.пс}} + R_{кЛ_{пс.1}} + r_{\text{мп2.6}}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.103$$

$$+ R_{\text{мп}_{QF}} + R_{\text{мп}_{QF.конм}} + R_{\text{шинКТП}} + R_{кЛ_F} + R_{кЛ_{F.конм}} + r_{2.10}$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{\text{но.10}}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{10}^2 + R_{10}^2}} = 1.849$$

3. однофазное

$$X_{10} := [2(X_c + X_{кЛ_{с.пс}} + X_{кЛ_{пс.2}}) + 3X_{\text{мп2.6}}] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.211$$

$$+ 3(X_{\text{мп}_{QF}} + X_{\text{шинКТП}} + X_{кЛ_F} + x_{2.10})$$

$$R_{10} := [2(R_{кЛ_{с.пс}} + R_{кЛ_{пс.1}}) + 3r_{\text{мп2.6}}] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.307$$

$$+ 3(R_{\text{мп}_{QF}} + R_{\text{мп}_{QF.конм}} + R_{\text{шинКТП}} + R_{кЛ_F} + R_{кЛ_{F.конм}} + r_{2.10})$$

Ток при контакте через дугу

$$R\partial_{10} := 20 \cdot 10^{-3}$$

$$Rk_{10} := R_{10} + R\partial_{10} = 0.327$$

$$I_{0\min_{\text{но.10}}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X_{10}^2 + Rk_{10}^2}} = 1.779$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

Точка К6.11

1. трехфазное

$$X_{11} := (X_c + X_{кЛ_{с.пс}} + X_{кЛ_{пс.1}} + x_{мп2.6}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 1.161$$

$$+ X_{мп_{QF}} + X_{шнКТП} + X_{кЛ_F} + x_{11}$$

$$R_{11} := (R_{кЛ_{с.пс}} + R_{кЛ_{пс.1}} + r_{мп2.6}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 1.944$$

$$+ R_{мп_{QF}} + R_{мп_{QF.конм}} + R_{шнКТП} + R_{кЛ_F} + R_{кЛ_F.конм} + r_{11}$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{но.11}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{11}^2 + R_{11}^2}} = 0.102$$

3. однофазное

$$X_{11} := \left[2(X_c + X_{кЛ_{с.пс}} + X_{кЛ_{пс.2}}) + 3x_{мп2.6}\right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 3.482$$

$$+ 3(X_{мп_{QF}} + X_{шнКТП} + X_{кЛ_F} + x_{11})$$

$$R_{11} := \left[2(R_{кЛ_{с.пс}} + R_{кЛ_{пс.1}}) + 3r_{мп2.6}\right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 5.83$$

$$+ 3(R_{мп_{QF}} + R_{мп_{QF.конм}} + R_{шнКТП} + R_{кЛ_F} + R_{кЛ_F.конм} + r_{11})$$

Ток при контакте через дугу

$$R_{\partial_{11}} := 20 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{к_{11}} := R_{11} + R_{\partial_{11}} = 5.85$$

$$I_{\min_{но.11}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X_{11}^2 + R_{к_{11}}^2}} = 0.102$$

Точка К7.0

1. трехфазное

$$X_{07} := (X_c + X_{кЛ_{с.пс}} + X_{кЛ_{пс.1}} + x_{мп2.7}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 = 0.014$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$R_{07} := (R_{кЛс.пс} + R_{кЛпс.1} + r_{мп2.7}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 = 4.282 \times 10^{-3}$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{но.0.7}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{07}^2 + R_{07}^2}} = 15.989$$

3. однофазное

$$X_{07} := [2(X_c + X_{кЛс.пс} + X_{кЛпс.1}) + 3x_{мп2.7}] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 = 0.04$$

$$R_{07} := [2(R_{кЛс.пс} + R_{кЛпс.1}) + 3r_{мп2.7}] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 = 0.011$$

Ток при контакте через дугу

$$R_{\partial 07} := 15 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{к0.7} := R_{07} + R_{\partial 0} = 0.026$$

$$I_{0\min_{но.0.7}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X_{07}^2 + R_{к0.7}^2}} = 14.478$$

Точка К7.12

1. трехфазное

$$X_{12} := (X_c + X_{кЛс.пс} + X_{кЛпс.1} + x_{мп2.7}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.073$$

$$+ x_{мпQF} + X_{шинКТП} + X_{кЛF} + x_{12}$$

$$R_{12} := (R_{кЛс.пс} + R_{кЛпс.1} + r_{мп2.7}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.134$$

$$+ R_{мпQF} + R_{мпQF.конт} + R_{шинКТП} + R_{кЛF} + R_{кЛF.конт} + r_{12}$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{но.12}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{12}^2 + R_{12}^2}} = 1.514$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

3. однофазное

$$X_{12} := \left[2(X_c + X_{кЛ_{с.пс}} + X_{кЛ_{пс.2}}) + 3x_{мр2.7} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 \dots = 0.218$$

$$+ 3(X_{мр_{QF}} + X_{шинКТП} + X_{кЛ_F} + x_{12})$$

$$R_{12} := \left[2(R_{кЛ_{с.пс}} + R_{кЛ_{пс.1}}) + 3\Gamma_{мр2.7} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 \dots = 0.4$$

$$+ 3(R_{мр_{QF}} + R_{мр_{QF,конм}} + R_{шинКТП} + R_{кЛ_F} + R_{кЛ_F,конм} + r_{12})$$

Ток при контакте через дугу

$$R\partial_{12} := 20 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{к12} := R_{12} + R\partial_{12} = 0.42$$

$$I_{0min_{но.12}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X_{12}^2 + R_{к12}^2}} = 1.464$$

Точка К8.0

1. трехфазное

$$X_{08} := (X_c + X_{кЛ_{с.пс}} + X_{кЛ_{пс.1}} + x_{мр8}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 = 0.014$$

$$R_{08} := (R_{кЛ_{с.пс}} + R_{кЛ_{пс.1}} + \Gamma_{мр8}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 = 4.282 \times 10^{-3}$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{max_{но.0.8}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{08}^2 + R_{08}^2}} = 15.989$$

3. однофазное

$$X_{08} := \left[2(X_c + X_{кЛ_{с.пс}} + X_{кЛ_{пс.1}}) + 3x_{мр8} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 = 0.04$$

$$R_{08} := \left[2(R_{кЛ_{с.пс}} + R_{кЛ_{пс.1}}) + 3\Gamma_{мр8} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 = 0.011$$

Ток при контакте через дугу

$$R\partial_{08} := 15 \cdot 10^{-3}$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$R_{k0.8} := R_{0.8} + R_{\partial 0} = 0.026$$

$$I_{0\min_{\text{но.0.8}}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X_{0.8}^2 + R_{k0.8}^2}} = 14.478$$

Точка К8.13

1. трехфазное

$$X_{13} := (X_c + X_{kl_{c.nc}} + X_{kl_{nc.1}} + X_{mp8}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.073$$

$$+ X_{mp_{QF}} + X_{шинКТП} + X_{кЛФ} + x_{13}$$

$$R_{13} := (R_{kl_{c.nc}} + R_{kl_{nc.1}} + r_{mp8}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.134$$

$$+ R_{mp_{QF}} + R_{mp_{QF.конм}} + R_{шинКТП} + R_{кЛФ} + R_{кЛФ.конм} + r_{13}$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{\text{но.13}}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{13}^2 + R_{13}^2}} = 1.514$$

3. однофазное

$$X_{13} := [2(X_c + X_{kl_{c.nc}} + X_{kl_{nc.2}}) + 3X_{mp8}] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.218$$

$$+ 3(X_{mp_{QF}} + X_{шинКТП} + X_{кЛФ} + x_{13})$$

$$R_{13} := [2(R_{kl_{c.nc}} + R_{kl_{nc.1}}) + 3r_{mp8}] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.4$$

$$+ 3(R_{mp_{QF}} + R_{mp_{QF.конм}} + R_{шинКТП} + R_{кЛФ} + R_{кЛФ.конм} + r_{13})$$

Ток при контакте через дугу

$$R_{\partial 13} := 20 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{k13} := R_{13} + R_{\partial 13} = 0.42$$

$$I_{0\min_{\text{но.13}}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X_{13}^2 + R_{k13}^2}} = 1.464$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

Точка К9.0

1. трехфазное

$$X_{09} := (X_C + X_{кЛ_{с.пс}} + X_{кЛ_{пс.1}} + x_{мп9}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 = 0.014$$

$$R_{09} := (R_{кЛ_{с.пс}} + R_{кЛ_{пс.1}} + r_{мп9}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 = 4.282 \times 10^{-3}$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{п0.0.9}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{09}^2 + R_{09}^2}} = 15.989$$

3. однофазное

$$X_{09} := [2(X_C + X_{кЛ_{с.пс}} + X_{кЛ_{пс.1}}) + 3x_{мп9}] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 = 0.04$$

$$R_{09} := [2(R_{кЛ_{с.пс}} + R_{кЛ_{пс.1}}) + 3r_{мп9}] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 = 0.011$$

Ток при контакте через дугу

$$R_{\partial 09} := 15 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{к0.9} := R_{09} + R_{\partial 09} = 0.026$$

$$I_{0\min_{п0.0.9}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X_{09}^2 + R_{к0.9}^2}} = 14.478$$

Точка К9.15

1. трехфазное

$$X_{15} := (X_C + X_{кЛ_{с.пс}} + X_{кЛ_{пс.1}} + x_{мп9}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.073$$

$$+ X_{мп_{QF}} + X_{шнкТП} + X_{кЛ_{F}} + x_{15}$$

$$R_{15} := (R_{кЛ_{с.пс}} + R_{кЛ_{пс.1}} + r_{мп9}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.134$$

$$+ R_{мп_{QF}} + R_{мп_{QF.конм}} + R_{шнкТП} + R_{кЛ_{F}} + R_{кЛ_{F.конм}} + r_{15}$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{\text{но.15}}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{15}^2 + R_{15}^2}} = 1.514$$

3. однофазное

$$X_{15} := \left[2(X_c + X_{\text{кЛс.пс}} + X_{\text{кЛпс.2}}) + 3x_{\text{тр9}} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 \dots = 0.218$$

$$+ 3(X_{\text{трQF}} + X_{\text{шинКТП}} + X_{\text{кЛФ}} + x_{15})$$

$$R_{15} := \left[2(R_{\text{кЛс.пс}} + R_{\text{кЛпс.1}}) + 3\Gamma_{\text{тр9}} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 \dots = 0.4$$

$$+ 3(R_{\text{трQF}} + R_{\text{трQF.конм}} + R_{\text{шинКТП}} + R_{\text{кЛФ}} + R_{\text{кЛФ.конм}} + \Gamma_{15})$$

Ток при контакте через дугу

$$R_{\partial_{15}} := 20 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{\text{к15}} := R_{15} + R_{\partial_{15}} = 0.42$$

$$I_{\min_{\text{но.15}}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X_{15}^2 + R_{\text{к15}}^2}} = 1.464$$

Точка К9.16

1. трехфазное

$$X_{16} := (X_c + X_{\text{кЛс.пс}} + X_{\text{кЛпс.1}} + x_{\text{тр9}}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 \dots = 4.614$$

$$+ X_{\text{трQF}} + X_{\text{шинКТП}} + X_{\text{кЛФ}} + x_{16}$$

$$R_{16} := (R_{\text{кЛс.пс}} + R_{\text{кЛпс.1}} + \Gamma_{\text{тр9}}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 \dots = 7.745$$

$$+ R_{\text{трQF}} + R_{\text{трQF.конм}} + R_{\text{шинКТП}} + R_{\text{кЛФ}} + R_{\text{кЛФ.конм}} + \Gamma_{16}$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{\text{но.16}}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{16}^2 + R_{16}^2}} = 0.026$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

3. однофазное

$$X_{16} := \left[2(X_c + X_{кЛс.пс} + X_{кЛпс.2}) + 3X_{мп9} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 \dots = 13.842$$

$$+ 3(X_{мпQF} + X_{шинКТП} + X_{кЛF} + x_{16})$$

$$R_{16} := \left[2(R_{кЛс.пс} + R_{кЛпс.1}) + 3\Gamma_{мп9} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 \dots = 0.4$$

$$+ 3(R_{мпQF} + R_{мпQF.конт} + R_{шинКТП} + R_{кЛF} + R_{кЛF.конт} + \Gamma_{10})$$

Ток при контакте через дугу

$$R_{\partial 16} := 20 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{к16} := R_{16} + R_{\partial 16} = 0.42$$

$$I_{0\min_{но.16}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X_{16}^2 + R_{к16}^2}} = 0.05$$

Точка К5.0

1. трехфазное

$$X_{05} := (X_c + X_{кЛс.пс} + X_{кЛпс.1} + X_{мп2.5}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 = 7.24 \times 10^{-3}$$

$$R_{05} := (R_{кЛс.пс} + R_{кЛпс.1} + \Gamma_{мп2.5}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 = 2.523 \times 10^{-3}$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{но.0.5}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{05}^2 + R_{05}^2}} = 30.122$$

3. однофазное

$$X_{05} := \left[2(X_c + X_{кЛс.пс} + X_{кЛпс.1}) + 3X_{мп2.5} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 = 0.02$$

$$R_{05} := \left[2(R_{кЛс.пс} + R_{кЛпс.1}) + 3\Gamma_{мп2.5} \right] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5} \right)^2 = 6.067 \times 10^{-3}$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

Ток при контакте через дугу

$$R\delta_{05} := 15 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{k0.5} := R_{05} + R\delta_{05} = 0.021$$

$$I_{0\min_{no.0.5}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X_{05}^2 + R_{k0.5}^2}} = 23.689$$

Точка К5.17

1. трехфазное

$$X_{17} := (X_c + X_{kl_{c.nc}} + X_{kl_{nc.1}} + X_{mp2.5}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.066$$

$$+ X_{mp_{QF}} + X_{шинКТП} + X_{кЛФ} + x_{2.9}$$

$$R_{17} := (R_{kl_{c.nc}} + R_{kl_{nc.1}} + r_{mp2.5}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.08$$

$$+ R_{mp_{QF}} + R_{mp_{QF.конм}} + R_{шинКТП} + R_{кЛФ} + R_{кЛФ.конм} + r_{2.9}$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{no.17}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{17}^2 + R_{17}^2}} = 2.218$$

3. однофазное

$$X_{17} := [2(X_c + X_{kl_{c.nc}} + X_{kl_{nc.2}}) + 3X_{mp2.5}] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.198$$

$$+ 3(X_{mp_{QF}} + X_{шинКТП} + X_{кЛФ} + x_{2.9})$$

$$R_{17} := [2(R_{kl_{c.nc}} + R_{kl_{nc.1}}) + 3r_{mp2.5}] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.239$$

$$+ 3(R_{mp_{QF}} + R_{mp_{QF.конм}} + R_{шинКТП} + R_{кЛФ} + R_{кЛФ.конм} + r_{2.9})$$

Ток при контакте через дугу

$$R\delta_{17} := 20 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{k17} := R_{17} + R\delta_{17} = 0.259$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$I_{0\min_{\text{но.17}}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X_{17}^2 + R_{K17}^2}} = 2.125$$

Точка К5.18

1. трехфазное

$$X_{18} := (X_c + X_{KЛ_{c.пс}} + X_{KЛ_{пс.1}} + X_{\text{мп}2.5}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.067$$

$$+ X_{\text{мп}QF} + X_{\text{шинКТП}} + X_{KЛF} + x_{2.10}$$

$$R_{18} := (R_{KЛ_{c.пс}} + R_{KЛ_{пс.1}} + r_{\text{мп}2.5}) \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.102$$

$$+ R_{\text{мп}QF} + R_{\text{мп}QF.\text{конм}} + R_{\text{шинКТП}} + R_{KЛF} + R_{KЛF.\text{конм}} + r_{2.10}$$

Ток при металлическом контакте

$$I_{\max_{\text{но.18}}} := \frac{0.4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{18}^2 + R_{18}^2}} = 1.887$$

3. однофазное

$$X_{18} := [2(X_c + X_{KЛ_{c.пс}} + X_{KЛ_{пс.2}}) + 3X_{\text{мп}2.5}] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.201$$

$$+ 3(X_{\text{мп}QF} + X_{\text{шинКТП}} + X_{KЛF} + x_{2.10})$$

$$R_{18} := [2(R_{KЛ_{c.пс}} + R_{KЛ_{пс.1}}) + 3r_{\text{мп}2.5}] \cdot \left(\frac{0.4}{10.5}\right)^2 \dots = 0.305$$

$$+ 3(R_{\text{мп}QF} + R_{\text{мп}QF.\text{конм}} + R_{\text{шинКТП}} + R_{KЛF} + R_{KЛF.\text{конм}} + r_{2.10})$$

Ток при контакте через дугу

$$R_{\partial 18} := 20 \cdot 10^{-3}$$

$$R_{K18} := R_{18} + R_{\partial 18} = 0.325$$

$$I_{0\min_{\text{но.18}}} := \frac{0.4 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{X_{18}^2 + R_{K18}^2}} = 1.814$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

Выбор предохранителей

Первая линия

$$I_{1.p} = 100.348$$

$$I_{н.вст1} := 250$$

ПН2-250

$$3 \cdot I_{н.вст1} = 750$$

Вторая линия

$$I_{2.p} = 185.877$$

$$I_{н.вст2} := 250$$

ПН2-250

$$3 \cdot I_{н.вст2} = 750$$

Третья линия

$$I_{3.p} = 122.348$$

$$I_{н.вст3} := 250$$

$$I_{н.вст3} \geq I_{p3}$$

ПН2-250

$$3 \cdot I_{н.вст3} = 750$$

Четвертая линия

$$I_{2.4.p} = 123.239$$

$$I_{н.вст4} := 250$$

ПН2-250

$$3 \cdot I_{н.вст4} = 750$$

Пятая линия

$$I_{2.5.p} = 67.127$$

$$I_{н.вст5} := 100$$

ПН2-100

$$3 \cdot I_{н.вст5} = 300$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

Шестая линия

$$I_{6.p} = 138.274$$

$$I_{н.всм6} := 400$$

ПН2-400

$$3 \cdot I_{н.всм6} = 1.2 \times 10^3$$

Седьмая линия

$$I_{7.p} = 200.738$$

$$I_{н.всм7} := 250$$

ПН2-250

$$3 \cdot I_{н.всм7} = 750$$

Восьмая линия

$$I_{8.p} = 183.351$$

$$I_{н.всм8} := 250$$

НПН-250

$$3 \cdot I_{н.всм8} = 750$$

Девятая линия

$$I_{2.9.p} = 365.015$$

$$I_{н.всм9} := 400$$

ПН2-400

$$3 \cdot I_{н.всм9} = 1.2 \times 10^3$$

Десятая линия

$$I_{2.10.p} = 254.921$$

$$I_{н.всм10} := 400$$

ПН2-400

$$3 \cdot I_{н.всм10} = 1.2 \times 10^3$$

Одинадцатая линия

$$I_{11.p} = 52.944$$

$$I_{н.всм11} := 100$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

ПН2-100

$$3 \cdot I_{н.всм11} = 300$$

Двенадцатая линия

$$l_{12,р} = 177.767$$

$$I_{н.всм12} := 400$$

ПН2-400

$$3 \cdot I_{н.всм12} = 1.2 \times 10^3$$

Тринадцатая линия

$$l_{13,р} = 228.37$$

$$I_{н.всм13} := 400$$

ПН2-400

$$3 \cdot I_{н.всм13} = 1.2 \times 10^3$$

Четырнадцатая линия

$$l_{2.14,р} = 130.3$$

$$I_{н.всм14} := 150$$

ПН2-150

$$3 \cdot I_{н.всм14} = 450$$

Пятнадцатая линия

$$l_{15,р} = 232.486$$

$$I_{н.всм15} := 250$$

ПН2-250

$$3 \cdot I_{н.всм15} = 750$$

Шестнадцатая линия

$$l_{16,р} = 8.789$$

$$I_{н.всм16} := 10$$

НПН-60

$$3 \cdot I_{н.всм16} = 30$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

Семнадцатая линия

$$I_{2.9.p} = 365.015$$

$$I_{н.всм17} := 400$$

ПН2-400

$$3 \cdot I_{н.всм17} = 1.2 \times 10^3$$

Восемнадцатая линия

$$I_{2.10.p} = 254.921$$

$$I_{н.всм18} := 400$$

ПН2-400

$$3 \cdot I_{н.всм18} = 1.2 \times 10^3$$

Выбор предохранителей на 10 кВ

ТП1

$$I_{mn1.p} := \frac{Smp1}{10 \cdot \sqrt{3}} = 18.938$$

$$I_{н.всм.mn1} := 20$$

НПН2-60

$$3 \cdot I_{н.всм18} = 1.2 \times 10^3$$

ТП2

$$I_{mn2.p} := \frac{Smp2_2}{10 \cdot \sqrt{3}} = 25.61$$

$$I_{н.всм.mn2} := 31.5$$

НПН2-60

ТП3

$$I_{mn3.p} := \frac{Smp3}{10 \cdot \sqrt{3}} = 17.211$$

$$I_{н.всм.mn3} := 20$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

НПН2-60

$$3 \cdot I_{H.всм.мн3} = 60$$

ТП4

$$I_{mn4.p} := \frac{Smp2_4}{10 \cdot \sqrt{3}} = 32.787$$

$$I_{H.всм.мн4} := 40$$

НПН2-60

$$3 \cdot I_{H.всм.мн4} = 120$$

ТП5

$$I_{mn5.p} := \frac{Smp2_5}{10 \cdot \sqrt{3}} = 65.971$$

$$I_{H.всм.мн5} := 100$$

ПН2-100

$$3 \cdot I_{H.всм.мн5} = 300$$

ТП6

$$I_{mn6.p} := \frac{Smp2_6}{10 \cdot \sqrt{3}} = 40.357$$

$$I_{H.всм.мн6} := 63$$

НПН2-60

$$3 \cdot I_{H.всм.мн5} = 300$$

ТП7

$$I_{mn7.p} := \frac{Smp2_7}{10 \cdot \sqrt{3}} = 27.231$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

$$I_{н.вст.мн7} := 31.5$$

НПН2-60

$$3 \cdot I_{н.вст.мн7} = 94.5$$

ТП8

$$I_{мн8,р} := \frac{Smp2_8}{10 \cdot \sqrt{3}} = 34.281$$

$$I_{н.вст.мн8} := 40$$

НПН2-60

$$3 \cdot I_{н.вст.мн8} = 120$$

ТП9

$$I_{мн9,р} := \frac{Smp2_9}{10 \cdot \sqrt{3}} = 31.496$$

$$I_{н.вст.мн9} := 40$$

НПН2-60

$$3 \cdot I_{н.вст.мн9} = 120$$

Выбор выключателей

ТП1

$$I_{мн1} := \frac{Smp1}{0.4 \cdot \sqrt{3}} = 473.449$$

ТП2

$$I_{мн2} := \frac{Smp2_2}{0.4 \cdot \sqrt{3}} = 640.245$$

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЯ А
Расчеты в ПВК Mathcad 15

ТП3

$$I_{mn3} := \frac{Smp3}{0.4 \cdot \sqrt{3}} = 430.281$$

ТП4

$$I_{mn4} := \frac{Smp2_4}{0.4 \cdot \sqrt{3}} = 819.667$$

ТП5

$$I_{mn5} := \frac{Smp2_5}{0.4 \cdot \sqrt{3}} = 1.649 \times 10^3$$

ТП6

$$I_{mn6} := \frac{Smp2_6}{0.4 \cdot \sqrt{3}} = 1.009 \times 10^3$$

ТП7

$$I_{mn7} := \frac{Smp2_7}{0.4 \cdot \sqrt{3}} = 680.78$$

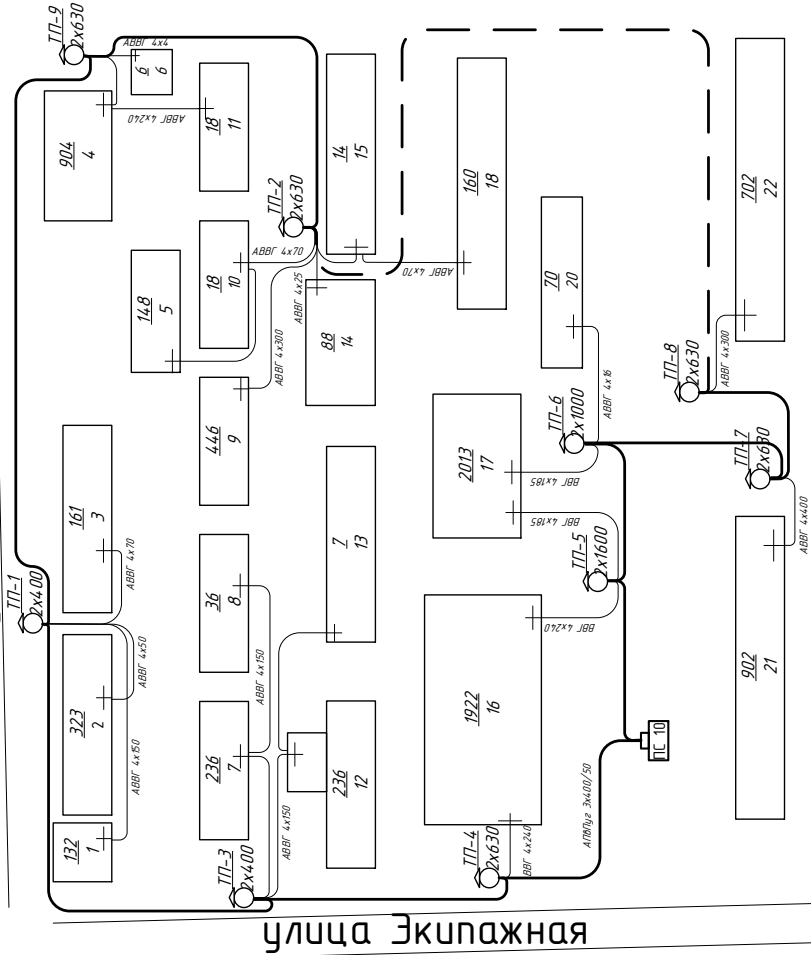
ТП8

$$I_{mn8} := \frac{Smp2_8}{0.4 \cdot \sqrt{3}} = 857.024$$

ТП9

$$I_{mn9} := \frac{Smp2_9}{0.4 \cdot \sqrt{3}} = 787.389$$

улица Светланская

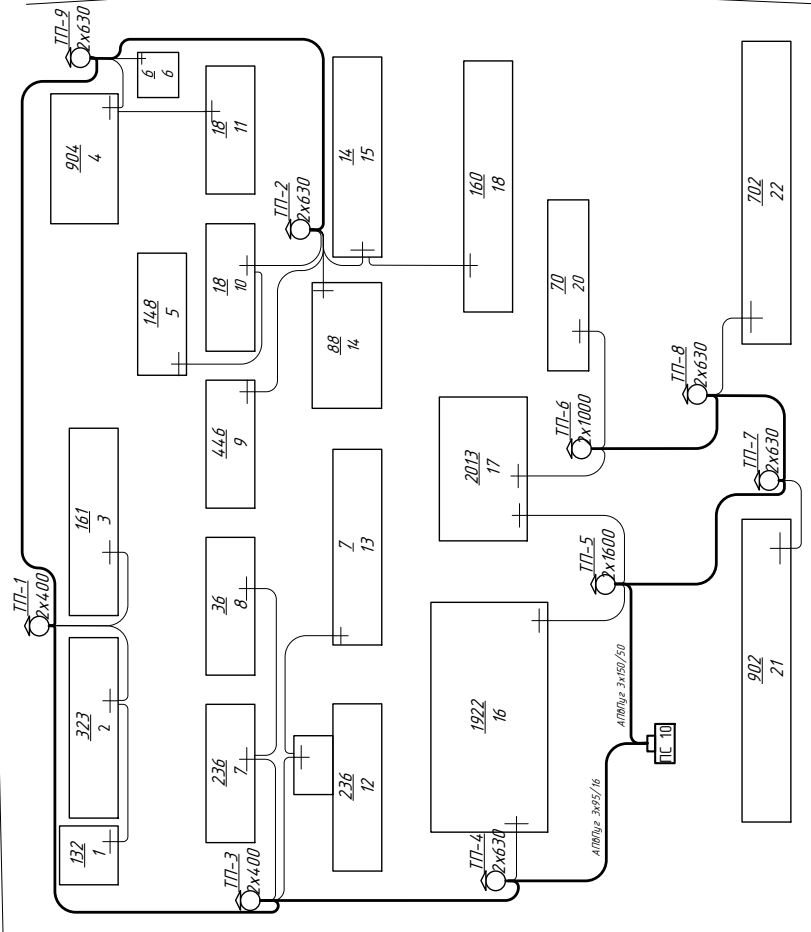


улица Экипажная

улица Мухоморова Амурского

улица Экипажная

улица Светланская



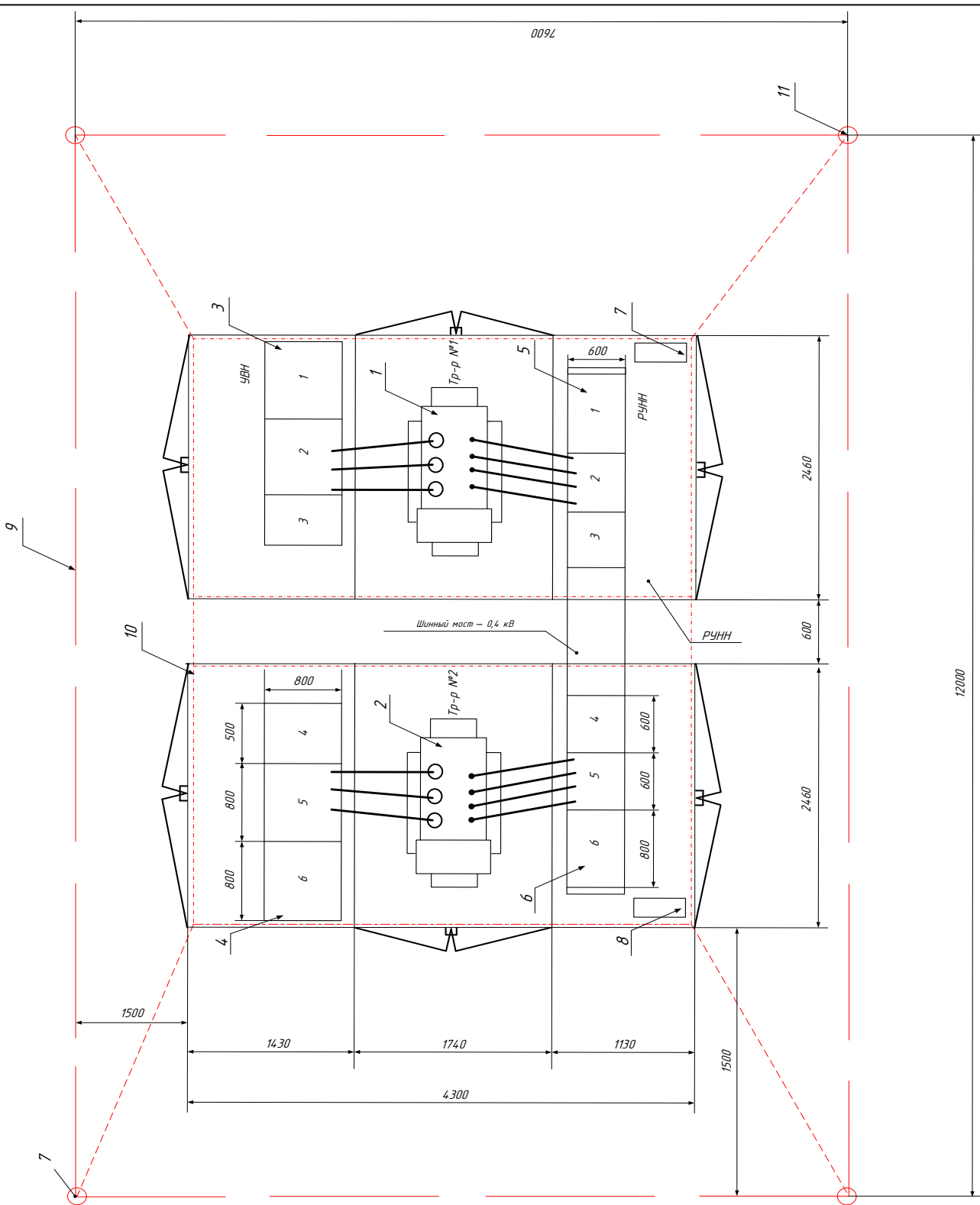
улица Мухоморова Амурского

улица Дальнезаводская

№	Объем	Руб	С/г
1	Жилой дом №1	128,25	31,635
2	Жилой дом №2 со встроенным кафе	258,87	193,566
3	Жилой дом №3	155,52	41,655
4	ТЦ	705,75	566,6
5	Гостиница	112,7	95,975
6	Церковь	4,3	3,87
7	Училище	884	147,2
8	Блок	27	23,49
9	Столовая	318,3	311,01
10	Управление	83,5	117,65
11	Управление	19,5	117,65

№	Объем	Руб	0,1г	С/г
12	Университет	784	147,2	235,635
13	Управление	5,4	4,968	7,158
14	Университет	69	55,2	86,363
15	Управление	10,8	10,396	14,376
16	ТЦ	1801	1201	922
17	Офисы	1519	1332	2013
18	Магазин	925	100	160,078
20	Фонд со встроенным магазином	45,9	52,443	67,693
21	Жилой дом №5 со встроенными магазинами и магазинами	623,25	323,019	702,017
22	Жилой дом №6 со встроенными магазинами и магазинами	784,6	444,676	901,85

ВКР 14.4096.13.03.02.СХ	Лист	№ документа	Дата	Исполнитель
Лист 1	1	1		
	2	2		
Проектная организация: ООО «Светлана»				
Получатель: ООО «Светлана»				
Исполнитель: ООО «Светлана»				
Состав: И.И. Иванов, А.А. Петров, С.С. Сидоров				
Масштаб: 1:1				
Дата: 15.03.2014				
Подпись: _____				
М.П. _____				



Обозначение	Наименование
1, 2	Силовой трансформатор ТМ-400/10/0,4 кВ
3, 4	Распределительное устройство 10 кВ
5, 6	Распределительное устройство 0,4 кВ
7, 8	Шкаф учета
9	Горизонтальный заземлитель, сталь полосовая 40х4
10	Внутренний контур заземлителя
11	Вертикальный заземлитель, угловая сталь 50х50

ВКР 144.096.13.03.02 СХ	
Лист	Итого
1	1
Задание на разработку проекта	
Д	Листов 6
Т. Ковалев	Листов 5
М. Ковалев	Листов 1
С. Ковалев	Листов 1
В. Ковалев	Листов 1
Итого	Листов 6
Проектирование выполняемой системы в соответствии с требованиями стандарта	
Корфидра Энергетики	

