

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Карпкин Андрей Виссарионович  
Должность: Руководитель НТИ НИЯУ МИФИ  
Дата подписания: 16.01.2025 12:46:24  
Уникальный программный ключ:  
2e905c9a64921ebc9b6e02a1d35ea14517838874

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»  
**Новоуральский технологический институт** –  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
(НТИ НИЯУ МИФИ)

**Колледж НТИ**

**Цикловая методическая комиссия общетехнических дисциплин энергетики и  
электроники**

---

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ОБЩЕПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
ОП.15 ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ  
ПРЕДПРИЯТИЙ**

для студентов колледжа НТИ НИЯУ МИФИ,  
обучающихся по программе среднего профессионального образования

специальность 11.02.16

«Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств»

очная форма обучения

на базе основного общего образования

квалификация

специалист по электронным приборам и устройствам

Новоуральск 2021

ОДОБРЕНО:

на заседании цикловой методической  
комиссии общетехнических  
дисциплин, энергетики и электроники

Протокол № 03 от 08.11.2021

Председатель ЦМК ОТДЭиЭ

\_\_\_\_\_  А.Н.Стародубцева

Разработана на основе Федерального государственного образовательного стандарта, утвержденного приказом Минобрнауки России от 04.10.2021 № 691 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности 11.02.16 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств (Зарегистрировано в Минюсте России 12.11.2021 № 65793) в части совокупности требований, обязательных при реализации основной профессиональной образовательной программы базовой подготовки выпускников очной формы получения образования на базе основного общего образования, в соответствии с компетентностной моделью выпускника, действующим учебным планом колледжа НТИ НИЯУ МИФИ по специальности 11.02.16 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств.

Методические указания по общепрофессиональной дисциплине ОП.15  
Электроснабжение промышленных предприятий – Новоуральск: Изд-во колледжа НТИ  
НИЯУ МИФИ, 2021. – 24с.

#### АННОТАЦИЯ

Методические указания по общепрофессиональной дисциплине ОП.15 Электроснабжение промышленных предприятий составлен в соответствии с учебным планом и предназначена для реализации государственных требований к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по специальности 11.02.16 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт электронных приборов и устройств среднего профессионального образования базового уровня, обучающихся на базе основного общего образования.

Автор: Стародубцева А.Н.

## СОДЕРЖАНИЕ

Практическое занятие 1 Расчёт линии 6 – 35 кВ.....	3
Практическое занятие 2 Расчёт осветительной сети.....	10
Практическое занятие 3 Определение ТКЗ в сетях до 1 кВ.....	16
Практическое занятие 4 Определение трёхфазного короткого замыкания для различных моментов времен.....	19 20
Литература.....	24

## Практическое занятие 1

### Расчет линий 6-35 кВ.

Электрический расчет кабельной или воздушной линии предусматривает выбор сечения по экономической плотности тока с последующей проверкой на нагрев длительным током нагрузки и на потерю напряжения. Расчет производится без учета трансформатора в схеме замещения. Потери мощности в трансформаторе на приемном конце учитывается в нагрузке потребителя.

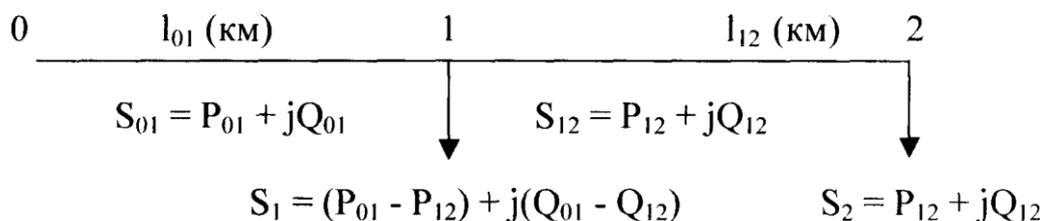
Активная и реактивная проводимости линий и потери мощности в ней не учитываются, т.к. они малы и не влияют на результаты расчетов.

Расчеты нагрузки потребителей могут быть заданы составляющей полной мощности  $P$  и  $Q$  или активная мощность и  $\cos\varphi$ .

**Цель работы** – Приобрести навыки расчета, выбор сечения по экономической плотности тока, на потерю напряжения.

#### Задача.

Рассмотрим метод расчета сети высокого напряжения, питающей потребителей электроэнергией с числом часов использования максимум нагрузки  $T_m$ . На расчетной схеме участок  $l_{01}$  линии выполнен кабелем, на участке  $l_{12}$  - воздушная линия.



1) Определить токи нагрузки на отдельных участках сети:

а) на участке 0-1:

$$I_{01} = \frac{\sqrt{P_{01}^2 + Q_{01}^2}}{\sqrt{3}U_H} \quad \text{или} \quad I_{01} = \frac{P_{01}}{\sqrt{3}U_H \cos\varphi_{01}}$$

$$\cos\varphi_{01} = \frac{P_{01}}{S_{01}}$$

$$S_{01} = \sqrt{P_{01}^2 + Q_{01}^2}$$

б) на участке 1-2:

$$I_{12} = \frac{\sqrt{P_{12}^2 + Q_{12}^2}}{\sqrt{3}U_H} \quad \text{или} \quad I_{12} = \frac{P_{12}}{\sqrt{3}U_H \cos\varphi_{12}}$$

$$\cos\varphi_{12} = \frac{P_{12}}{S_{12}}$$

$$S_{12} = \sqrt{P_{12}^2 + Q_{12}^2}$$

2) Выбираем сечение по экономической плотности тока:

а) на участке 0-1 для кабеля марки ААБ по приложению 1 находим экономическую плотность тока  $j_{эк01}$  тогда

$$\text{сечение } F_{эк01} = \frac{I_{01}}{j_{эк01}} \{мм^2\}$$

Выбираем стандартное сечение  $\{мм^2\}$ . Принимаем к прокладке провод АС.

По приложению 2 находим  $I_{доп}$  и проверяем:  $I_{доп} > I_{01}$

б) на участке 1-2 для голого провода марки АС принимаем по приложению 1, находим экономическую плотность тока  $j_{эк12}$ , тогда сечение

$$F_{эк12} = \frac{I_{12}}{j_{эк12}} \{мм^2\}$$

Выбираем стандартное сечение  $\{мм^2\}$ . Принимаем к прокладке провод марки АС-. По приложению 3 находим  $I_{доп}$  и проверяем:  $I_{доп} > I_{12}$

3) Проверяем сеть на потерю напряжения:

а) на участке 0-1:

$$\Delta U_{01} = \frac{P_{01}R_{01} + Q_{01}X_{01}}{U_{..}} \quad \text{или} \quad \Delta U_{01} = \sqrt{3}I_{01}(R_{01}\cos\varphi_{01} + X_{01}\sin\varphi_{01}), \text{ где}$$

$$R_{01} = \frac{1000I_{01}}{\gamma F_{01}},$$

$$X_{01} = X_{10}I_{01},$$

$\gamma$  - удельная проводимость для алюминиевых проводов ( $\gamma=32,3$  м/ом\*мм<sup>2</sup>)

$F_{01}$  - сечение проводника {мм<sup>2</sup>}

$X_{10}$  - удельное индуктивное сопротивление для кабельной линии {ом/км}, определяется по приложению 4.

$X_{01}$  - индуктивное сопротивление кабельной линии.

б) на участке 1-2:

$$\Delta U_{12} = \frac{P_{12}R_{12} + Q_{12}X_{12}}{U_H} \quad \text{или} \quad \Delta U_{12} = \sqrt{3}I_{12}(R_{12}\cos\varphi_{12} + X_{12}\sin\varphi_{12}), \text{ где}$$

$$R_{12} = \frac{1000I_{12}}{\gamma F_{12}},$$

$$X_{12} = X_{20}I_{12},$$

$\gamma$  - удельная проводимость для алюминиевых проводов ( $\gamma=32,3$  м/ом\*мм<sup>2</sup>)

$F_{12}$  - сечение проводника {мм }

$X_{20}$  - удельное индуктивное сопротивление для воздушной линии {ом/км}, определяется по приложению 4.

$X_{12}$  - индуктивное сопротивление воздушной линии.

4) Потеря напряжения составляет:

а) на участке 0-1:

$$\Delta U_{01} \% = \frac{\Delta U_{01} 100}{U_H} \{ \% \}$$

б) на участке 1-2:

$$\Delta U_{12} \% = \frac{\Delta U_{12} 100}{U_H} \{ \% \}$$

5) Суммарная потеря напряжения, т.е. потеря всей линии:

$U_{02}\% = \Delta U_{01}\% + \Delta U_{12}\%$ , т.е. составляет меньше допустимой 5% (Если суммарная потеря напряжения превышает 5%, то выбранное сечение не правильно).

Вывод:

**Приложения:****ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Экономическая плотность тока, А/мм**

Провода, кабели	Продолжительность использования максимума нагрузки, ч/год		
	1000 - 3000	3000 – 5000	5000 – 8700
Голые провода и шины медные	2,5	2,1	1,8
Голые провода и шины алюминиевые	1,3	1,1	1,0
Кабели с бумажной и провода с резиновой и ПВХ изоляцией с медными жилами	3,0	2,5	2,0
Кабели с бумажной и провода с резиновой, и ПВХ изоляцией с алюминиевыми жилами	1,6	1,4	1,2
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией с медными жилами	3,5	3,1	2,7
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией с алюминиевыми жилами	1,9	1,7	1,6

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2.** допустимые длительные токовые нагрузки на кабели медными (числитель) и алюминиевыми (знаменатель) жилами с бумажной пропитанной маслосифоной и не стекающей изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке.

Сечение мм <sup>2</sup>	При прокладке в воздухе					При прокладке в земле				
	Двух- жильные до 1 кВ	Трехжильные			Четырех- жильные до 1кВ	Двух- жильные до 1 кВ	трехжильные			Четырех- жильные до 1 кВ
		3 кВ	6 кВ	10 кВ			3 кВ	6 кВ	10 кВ	
	Максимально допустимая температура жил °С									
80	80	65	60	80	80	80	65	60	80	
2.3	30/23	28/22	-	-	-	45/35	40/31	-	-	-
4	40/31	37/29	-	-	35/27	60/46	55/42	-	-	50/38
5	55/42	45/35	-	-	45/35	80/60	70/55	-	-	60/46
10	75/55	60/46	55/42	-	60/45	105/80	95/75	80/60	-	85/65
16	95/75	80/60	65/50	60/46	80/60	140/110	120/90	105/80	95/75	115/90
25	130/100	105/80	90/70	85/65	100/75	185/140	160/125	135/105	120/90	150/115
35	150/115	125/95	110/85	105/80	120/95	225/175	190/145	160/125	150/115	175/135
50	185/140	155/120	145/110	135/105	145/110	270/210	235/180	200/155	180/140	215/165
70	225/175	200/155	175/135	165/130	185/140	325/250	285/220	245/190	215/165	265/200
95	275/210	245/190	215/165	200/155	215/165	380/290	340/260	295/225	265/205	310/240
120	320/245	285/220	250/190	240/185	260/200	435/355	390/300	340/260	310/290	350/270
150	375/290	330/255	290/225	270/210	300/230	500/385	435/335	390/300	355/275	395/305
185	-	375/290	325/250	305/235	340/260	-	490/380	440/340	400/310	450/345
240	-	430/330	375/290	350/270	-	-	570/440	510/390	460/355	-

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3.** допустимые длительные токовые нагрузки на голые провода при прокладке вне помещений.

Марка провода	Допустимый ток, А	Марка провода	Допустимый ток, А	Марка провода	Допустимый ток, А
A-16	105	AC-16	105	ACO-150	450
A-25	135	AC-25	135	ACO-185	505
A-35	170	AC-35	170	ACO-210	605
A-50	215	AC-50	215	ACO-300	690
A-70	265	AC-70	265	ACO-400	825
A-95	320	AC-95	330	ACO-500	945
A-120	375	AC-120	380	ACU-120	375
A-150	440	AC-150	418	ACU-150	450
A-185	500	AC-185	510	ACU-18	515
A-240	590	AC-240	610	ACU-240	610
A-300	680	AC-300	800	ACU-300	705
A-400	815	AC-400	835	ACU-400	850
A-500	980	AC-500	945		
A-600	1070	AC-600	1050		

**ПРИЛОЖЕНИЕ 4.** индуктивное сопротивление трехфазных линий, Ом/км

Сечения, мм <sup>2</sup>	Провода в трубе	Воздушные линии напряжением, кВ			Кабельные линии напряжением, кВ			
		До 1	6-10	35	До 1	6	10	35
4-6	0,10	-	-	-	0,09	-	-	-
10-25	0,09	0,36	0,41	-	0,07	0,1	0,11	-
35-70	0,08	0,33	0,38	0,42	0,06	0,08	0,09	-
95-120	0,08	0,3	0,35	0,4	0,06	0,08	0,08	0,12
150-240	0,08	-	-	-	0,06	0,08	0,08	0,11

Таблица 4 Задание по практическому занятию 4

Вариант	Длина кабельной линии	Длина воздушной линии	S <sub>01</sub>	S <sub>12</sub>	Сеть кВ.	T <sub>м</sub> (ч)
1	2	3	1500-j 500	900 -j 400	15	5500
2	2	3	1500-j 800	1000 -j 400	15	5500
3	2	3	1800-j 870	1000-j 480	10	5500
4	2	3	1200 -j 380	400 -j 200	6	5500
5	2	3	1800-j 700	900 -j 400	10	5500
6	2	3	1600-j 500	1000-J350	10	5500
7	2	3	1600-j 400	500 -J380	3	5500
8	2	3	1200-j 200	1000-J350	20	5500
9	2	3	1500-j 600	1200 -J300	15	5500
10	2	3	1800-J600	800 -J240	10	5500
11	2	3	1300-J650	900 -J400	20	5500
12	2	3	900 -J400	600 -J200	3	5500
13	2	3	1000-J500	600-j 100	3	5500
14	4	5	1800-J600	780 -J400	12	5500
15	3	5	1600-J700	900 -J300	8	5500
16	4	5	2000 -J900	1300 -J900	15	5500
17	3	3	1500-J600	900 -J200	10	6000
18	3	4	1500-J700	400 -J300	20	3300
19	1,5	3	800 -J400	400 -J200	3	3000
20	1,6	3	1900-J770	870 -J300	8	4400
21	4	5	1500-J400	900 -J300	5	6000
22	1	2	1200 -J600	800 -J400	6	4000
23	2	2,5	1600 -J700	800-J350	10	7000
24	2	1	1000-J600	600-j 100	6	4000
25	1,5	2	800 -J390	100 -J480	6	4500
26	3,5	4	2000 -J600	1100-J150	14	6000
27	3	4	2500-j1000	1200 -J900	15	6000
28	0,5	1	1500-j 500	750 -J200	10	4500
29	2,5	3	700 -J570	600 -J300	6	6000
30	1,5	2	1300-J400	900 -J300	6	7000
31	4	3	2300 -J600	1300-J400	10	7000
32	1	1,5	1200 -J600	980 -J380	3	1500
33	4	5	2200 -J900	1200-J400	6	4000
34	3	3	1500-J600	900 -J200	10	6000
35	3,5	4	1000-J600	1100-J150	14	6000
36	2	3	1600-J700	900 -J300	10	5500
37	1	2	1200 -J600	1300-J400	6	4400
38	4	1,5	700 -J570	1300 -J900	6	7000
39	3	2	1500-J400	600-j 100	14	3000
40	1	1	1800-J600	1000-J350	10	1500

## Практическое занятие 2 “Расчет осветительной сети”

**Цель** - Приобрести навыки расчета питающей линии электрического освещения ремонтных цехов предприятия.

### ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ

Наша промышленность выпускает для обычных осветительных установок лампы накаливания следующих типов: НВ (вакуумные лампы), НГ (газонаполненные лампы), НБ (биспиральные лампы) и зеркальные лампы глубокого светораспределения типа ЗН, где зеркальный отражающий слой нанесен на верхнюю часть колбы.

Лампы накаливания имеют вольфрамовую нить — прямолинейную, спиральную и биспиральную (спираль из спирали), помещенную в вакуум или инертный газ (смесь аргона и азота) и накаливаемую до 2500—3000° С абсолютной шкалы.

Характеристика ламп накаливания зависит от фактически подводимого напряжения.

В таблицах для цоколей приняты обозначения: *P*—резьбовый, *Ш*—штырьковый (исключающий самоотвинчивание), *СФ*—софитный, *Ф* — фокусирующий, *М* — для мощных ламп. Цифра 1 или 2 перед обозначением указывает число контактов на торце цоколя, число после обозначения — диаметр цоколя в мм.

Размеры ламп, указанные в таблицах, характеризуются диаметром колбы *D*, полной длиной *L* и высотой светового центра *H* (расстояние от контакта или штифтов цоколя до нити лампы).

Срок службы всех ламп— 1000 час., кроме особо оговоренных в таблицах.

### ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ЛАМПЫ

Люминесцентная лампа — газосветная ртутная лампа низкого давления, цилиндрическая трубка (колба) которой покрыта люминофором, преобразующим свечение ртутного разряда в видимый свет.

Экономичность люминесцентных ламп в 2,5—3 раза больше ламп накаливания.

Особенности люминесцентных ламп следующие:

1) большой срок службы, зависящий, в частности, от частоты включений. С увеличением включений срок службы лампы падает;

2) высокая световая отдача;

3) малая яркость (колеблется в пределах 0,4—0,5 *сб*), благодаря чему слепящее действие люминесцентных ламп меньше, чем ламп накаливания;

4) низкая температура (40—45° С) поверхности колбы делает лампу относительно пожаробезопасной;

5) возможность изготовления ламп с различными оттенками света;

6) меньшая, чем у ламп накаливания, зависимость потока от подводимого напряжения;

7) пригодность ламп (с обычным балластом) только, для сети переменного тока с частотой 50 Гц;

8) зависимость горения ламп от внешней температуры. Лампы горят нормально только при температурах окружающей среды от +10 до 4-35° С. При температуре воздуха ниже 4-10° С установка ламп требует специальных приспособлений;

9) запрещается использование люминесцентных ламп в качестве источников света для аварийного освещения на электростанциях и подстанциях.

Конструктивно люминесцентная лампа представляет собой цилиндрическую стеклянную трубку, внутренняя поверхность которой покрыта тонким слоем люминофора. Два одинаковых электрода в виде биспирали из вольфрамовой нити размещены на концах трубки и имеют по два выведенных наружу контакта.

Колба лампы заполняется аргоном при давлении 4 мм рт. ст., а для образования ртутных паров в нее введена небольшая капелька ртути.

Схема включения люминесцентной лампы имеет два аппарата: стартер СТ и дроссель (балласт) Д. Стартер служит для кратковременного замыкания цепи при включении лампы, благодаря чему электроды обтекаются током и получают накал. Дроссель обеспечивает устойчивое горение лампы, которая имеет падающую вольтамперную характеристику и может работать устойчиво только при последовательном включении индуктивного сопротивления.

### РТУТНЫЕ ЛАМПЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ С ИСПРАВЛЕННОЙ ЦВЕТНОСТЬЮ (РВДЛ)

Лампа представляет собой кварцевую трубку, в которой происходит ртутный разряд высокого давления. Трубка заключена в наружную стеклянную колбу, покрытую изнутри тонким слоем люминофора. Лампы имеют нормальный цоколь Р-40 и могут работать при любой температуре окружающей среды. Средний срок службы ламп составляет 3000 часов. Лампы включаются в сеть 220 в последовательно со специальным пускорегулирующим аппаратом (ПРА). Лампы РВДЛ предназначены для освещения высоких производственных помещений, улиц, шоссе и т. д. Основные параметры ламп приведены в таблице.

### Расчет осветительной сети

Произвести расчет питающей линии электрического освещения ремонтных цехов предприятия, питающиеся от распределительного щита 380/220 В КТП. Групповые щитки I; II; III питают светильники с люминесцентными лампами. Коэффициент мощности равен 0,95. Групповые щитки IV, V питают светильники типа ДРЛ, коэффициент мощности которых равен 0,57. В нагрузку P1 и P5, указанной на групповых щитках освещения (рис. 1), учтены повышающие коэффициенты 1,2 — для люминесцентных ламп и 1,1 для ламп ДРЛ. Питающие линии выполняются проводом марки АПВ, проложенным в стальных трубах. Длины участков указаны в метрах.

$$\cos\varphi_{1-2} = 0,5$$

$$\cos\varphi_{4-5} = 0,57$$

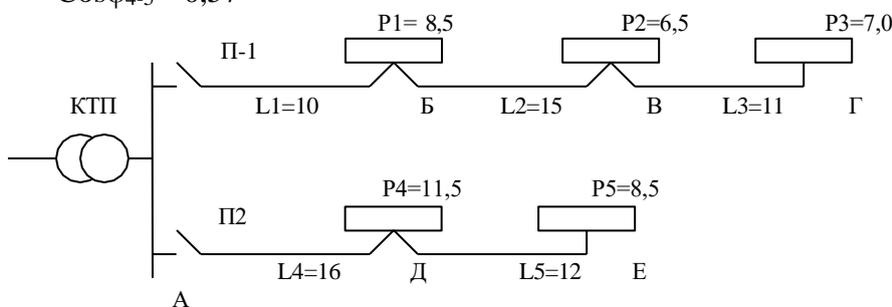


Рис. 1 Схема освещения

## Решение.

Линия П-1. Ток на головном участке А-Б

$$\Sigma P = P_1 + P_2 + P_3 = 8,5 + 6,5 + 7 = 22 \text{ Вт}$$

$$I_{\max} = \frac{\Sigma P \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cos \varphi} = \frac{(8,5 + 6,5 + 7) \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,95} = 35,2 \text{ А}$$

АПВ – алюминиевый поливинилхлоридный провод.

$I_{\max}$  для четырех проводов марки АПВ, проложенных в стальной трубе, по табл. 7.2 принимаем сечение  $10 \text{ мм}^2$ ,  $I_{\text{доп}} = 39 \text{ А}$ . Номинальный ток теплового расцепителя автомата  $I_{\text{расц}} \geq I_{\text{шах}}$ . По табл. 14.2 принимаем автомат АЕ2046 на номинальный ток  $63 \text{ А}$  с номинальным током теплового расцепителя  $40 \text{ А}$ . Проверяем принятое сечение из условий нагрева на соответствие защитному аппарату. Сеть защищается от к. з. ( $K_z = 1$  по табл. 14.9)  $I_{\text{доп}} \text{ пров} \geq K_z I_{\text{расц}} = 1 \cdot 40 = 40 \text{ А}$ . Как видно, условие не выполняется, так как  $I_{\text{доп}} \text{ пров}$  при сечении  $10 \text{ мм}^2$  равен  $39 \text{ А} < 40 \text{ А}$ .

Можно было бы принимать провод сечением  $16 \text{ мм}^2$  с  $I_{\text{доп}} \text{ пров} = 55 \text{ А}$ , но, учитывая близость значений и примечание к табл. 14.9, можно оставить сечение  $10 \text{ мм}^2$ . Следовательно, принимаем АПВ4(1X10). Производим расчет питающей линии на потерю напряжения:

$$\Sigma \Delta U \% = \Delta U_{\text{А-Б}} \% + \Delta U_{\text{Б-В}} \% + \Delta U_{\text{В-Г}} \%;$$

$$\Sigma \Delta U \% = \frac{P_1 L_1 + P_2 (L_1 + 2L) + P_3 (L_1 + L_2 + L_3)}{\gamma \cdot v^2 \cdot CS} = \frac{8,5 \cdot 10 + 6,5 \cdot 25 + 7 \cdot 36}{46 \cdot 10} = 1,1\%$$

$$C = \frac{\frac{\text{НОМ}}{10^5}}{\frac{\text{М}}{\text{ОМ} \cdot \text{мм}^2}} = \frac{32 \cdot 380^2}{10^5} = 46 \quad \gamma\text{-удельная проводимость для алюминиевых проводов} =$$

Линия П-2

$$\Sigma P = 11,5 + 8,5 = 20 \text{ Вт}$$

$$I_{\max} = \frac{\Sigma P \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cos \varphi} = \frac{20 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,57} = 53,4 \text{ А}$$

Принимаем сечение провода  $16 \text{ мм}^2$ ,  $I_{\text{доп}} \text{ пров} = 55 \text{ А}$ . Номинальный ток теплового расцепителя (см. табл. 14.2)  $I_{\text{расц}} \geq 1,3 I_{\max} = 1,3 \cdot 53,6 = 69,42 \text{ А}$ . Принимаем автомат АЕ2056 на номинальный ток  $100 \text{ А}$  с номинальным током теплового расцепителя  $80 \text{ А}$ . Проверяем принятое сечение провода на соответствие защитному аппарату. Линия защищается только от к. з. ( $K_z = 1$  по табл. 14.9):  $I_{\text{доп}} \text{ пров} \geq K_z I_{\max} = 1 \cdot 80 = 80 \text{ А}$ .

Принятое сечение провода  $16 \text{ мм}^2$  по нагреву не удовлетворяется, так как при сечении  $16 \text{ мм}^2$   $I_{\text{доп}} \text{ пров} = 55 \text{ А} < 80 \text{ А}$ . По условию соответствия току защитного аппарата принимают сечение провода  $35 \text{ мм}^2$ ;  $I_{\text{доп}} \text{ пров} = 85 \text{ А}$ ; тогда  $85 \text{ А} > 80 \text{ А}$ . Окончательно принимаем провод АПВ 4 (1x35). Расчет питающей линии на потерю напряжения

$$\Sigma \Delta U = \frac{P_4 L_4 + P_5 (L_4 + L_5)}{CS} = \frac{11,5 \cdot 16 + 8,5 \cdot 28}{46 \cdot 35} = 0,26\%$$

## Приложения:

Таблица 7.2

Допустимые длительные токовые нагрузки на провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с алюминиевыми жилами							Неизолированные Провода
Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Ток, А, для проводов, проложенных						Открытые помещения
	открыто	в одной трубе					
		двухпроводный	трехпроводный	четырёхпроводный	одного двухжильного	одного трехжильного	
2	21	19	18	15	17	14	—
2,5	24	20	19	19	19	16	—
3	27	24	22	21	22	18	—
4	32	28	28	23	25	21	—
5	36	32	30	27	28	24	—
6	39	36	32	30	31	28	—
8	46	43	40	37	38	32	—
10	60	50	47	39	42	38	—
16	75	60	60	55	60	55	105
25	105	85	80	70	75	65	136
35	130	100	95	85	95	75	170
50	165	140	130	120	125	105	215
70	210	175	165	140	150	135	265
95	255	215	200	175	190	165	320
120	295	245	220	200	230	190	—
150	340	275	255	—	—	—	—

Таблица 14.2

Тип выключателя	Номинальный ток, А	Число полюсов	Вид расцепителя максимального тока	Ряд номинальных токов тепловых максимальных расцепителей	Вставка тока в зоне короткого замыкания, кратная номинальному току теплового расцепителя и равная 12
AE2026	16	3	Комбинированный	0,3; 0,4; 0,5; 0,6;0,8; 1,0; 1,25; 2,0; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10;12,5; 16	и равная 12
AE2046	63	3	Комбинированный	10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5;40;50;63	
AE2056	100	3	>	16; 20; 25; 31,5; 40; 50;60;80;100	

Таблица 14.9

Ток и тип защитного аппарата	Коэффициенты защиты К			
	сети, для которых защита от перегрузки обязательна			сети, не требующие защиты от перегрузки
	провода с резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией		с бумажной изоляцией	
	взрывопожароопасные помещения, жилые, торговые помещения и т. д.	не взрыво- и не пожароопасные производственные помещения предприятий		
Номинальный ток плавкой вставки предохранителей	1,25	1,0	1,0	0,33
Ток уставки автоматического выключателя с максимальным мгновенно действующим расцепителем	1,25	1,0	1,0	0,22
Номинальный ток расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратозависимой от тока характеристикой	1,0	1,0	1,0	1,0
Ток трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратозависимой от тока характеристикой	1,0	1,0	0,8	0,66

Таблица 2 Варианты задания по лабораторной работе 2

Вариант	$P_1$ кВт	$P_2$ кВт	$P_3$ кВт	$P_4$ кВт	$P_5$ кВт	$l_1$ (м)	$l_2$ (м)	$l_3$ (м)	$l_4$ (м)	$l_5$ (м)
1	6	6,5	10	9	6	12	15	9	18	13
2	8,5	6,5	7	11,5	8,5	10	15	11	16	12
3	9,5	5,5	8	12	8,5	10	15	11	13	9
4	8,5	3,5	4	6	9	12	10	9	15	13
5	6	5	4	10	6	10	14	12	18	10
6	10	9	8	12	9	10	12	8	15	7
7	10	8	6	12	8	8	12	6	16	10
8	10	7,5	5	12	9	10,5	7,5	5	12	9
9	9	7	8	12	8	12	15	10	14	8
10	7,5	8	8,5	13	12	12	14	10	17	12
11	5,5	4,5	6	11	9	10	12	10	14	6
12	9	8	7	10	9	11	14	10	16	8
13	6,5	4,5	5,5	10	12	13	17	8	14	10
14	10	9	8	12	9	12	16	10	16	8
15	8	6	5	11	10	8	12	10	14	6
16	10	7	6	10,5	9	12	13	10	14	8
17	6,5	4,5	3	9	8,5	9	12	9	10	6
18	7,5	5,5	6,5	10	7	8	9	7	14	10
19	10	5,5	6	12	9	8	12	9	20	15
20	10	8	9	12	9	12	14	10	14	11
21	5,5	4,5	7	10	7	12	16	10	14	11
22	9,5	6	5	12	7	8	12	12	18	12
23	10	9	7	13	7	8	10	9	14	11
24	6,5	4,5	7	10,5	9,5	9	15	11	12	8
25	3,5	5,5	9	12	9	15	20	12	18	13
26	3,5	4	8	10	6,5	5	12	10	15	9
27	3,5	5,5	9	5,5	9,5	15	20	12	18	15
28	10,5	7	5,5	9,5	6,5	7,5	13	18	20	11
29	10	8	6	12	9	10	12	9	16	9
30	9,5	5,5	6,5	11,5	12	10	12	14	10	7

### Практическое занятие 3

#### Определение токов короткого замыкания в сетях напряжением до 1000В.

При расчете токов к.з. в сетях напряжением ниже 1000В необходимо учитывать индуктивные и активные сопротивления короткозамкнутой цепи. В таких сетях, особенно выполненных кабельными линиями или проводами в трубах, активные сопротивления значительно превышают индуктивные. На суммарное значение

сопротивления короткозамкнутой цепи значительно влияют активные сопротивления электрических аппаратов, катушек трансформаторов тока, токовых обмоток автоматов и реле, переходные сопротивления контактов коммутационных аппаратов.

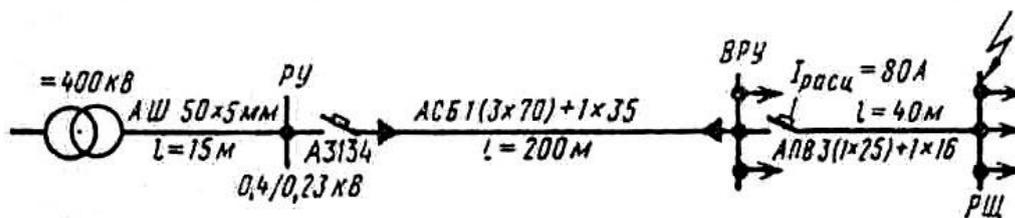


Рис 21.10

**Пример.** Определить ток трехфазного к.з. на шинах распределительного щита (РШ). Схема сети и исходные данные приведены на рис. 21.10 Трансформатор соединен с шинами распределительного устройства (РУ) алюминиевыми шинами сечением  $50 \times 5 = 250 \text{ мм}^2$ , расположенными в одной плоскости. Расстояние между шинами 300 мм Трансформаторы тока имеют коэффициент трансформации 200/5 А. При  $U_T = 400 \text{ кВ}$ .

Решение. По табл. 21.1 активное и индуктивное сопротивления трансформатора  $r_{тр} = 5,7 \text{ мОм}$ ;  $x_{тр} = 17,2 \text{ мОм}$ . Сопротивление шин от трансформатора до РУ  $r_{ш} = r_0 l = 0,142 \cdot 15 = 2,12 \text{ мОм}$ ;  $x_{ш} = x_0 l = 0,2 \cdot 15 = 3,0 \text{ мОм}$ , где  $r_0$  и  $x_0$  - активное и индуктивное сопротивления 1 м шин (по справочным таблицам или приложению П-22).

Сопротивление обмоток расцепителей и контактов автоматов по табл. 21.1:

на 200А  $r_a = 0,4 \text{ мОм}$ ;  $x_a = 0,3 \text{ мОм}$ ; (П-2, П-10)

на 100А  $r_a = 1,3 \text{ мОм}$ ;  $x_a = 0,9 \text{ мОм}$ . (П-2, П-10)

Сопротивление кабеля АСБ сечением  $1(3 \times 70) + 1 \times 25 \text{ мм}$  по табл. 8.2 и приложению П-10.

$r_0 = 0,46 \text{ Ом/км}$ ,  $x_0 = 0,08 \text{ Ом/км}$ ;

$r_k = r_0 l = 0,46 \cdot 0,2 = 0,0092 \text{ Ом} = 92 \text{ мОм}$ ,  $x_k = x_0 l = 0,09 \cdot 0,2 = 0,018 \text{ Ом} = 18 \text{ мОм}$ .

Сопротивление линии, выполненное проводом марки АПВ сечением  $3(1 \times 25) + 1 \times 16 \text{ мм}$  в трубах, по табл. 8.2 и приложению П-10

$r_0 = 1,28 \text{ Ом/км}$ ,  $x_0 = 0,09 \text{ Ом/км}$ ;

$r_k = r_0 l = 1,28 \cdot 0,04 = 0,0512 \text{ Ом} = 51,2 \text{ мОм}$ ,  $x_k = x_0 l = 0,09 \cdot 0,04 = 0,0036 \text{ Ом} = 3,6 \text{ мОм}$ .

Сопротивление контактов рубильника на 400А по табл.21.1  $r_{тр.т} = 0,4 \text{ мОм}$ .  $x_{тр.т} = 0,7 \text{ мОм}$ .

Переходное сопротивление контактных сопротивлений  $r_{п} = 25 \text{ мОм}$ .

Определяем суммарные активные и индуктивные сопротивления в короткозамкнутой цепи

$$\Gamma_{\Sigma} = \Gamma_{тр} + \Gamma_{ш} + \Gamma_{a-200} + \Gamma_{a-100} + \Gamma_{каб} + \Gamma_{л} + \Gamma_{р} + \Gamma_{тр.т} + \Gamma_{п} = 5,7 + 2,12 + 0,4 + 1,3 + 92 + 51,2 + 0,2 + 0,4 + 25 = 178,3 \text{ мОм}$$

$$X_{\Sigma} = X_{тр} + X_{ш} + X_{a-200} + X_{a-100} + X_{каб} + X_{л} + X_{тр} = 17,2 + 3 + 0,3 + 0,9 + 18 + 3,6 + 0,7 = 43,7 \text{ мОм}$$

Определяем ток трехфазного к.з. на шинах РШ по формуле:

$$I^{(3)} = I'' = I_{\infty} \frac{U_{ном}}{\sqrt{3} \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2}} = \frac{400}{1,73 \sqrt{178,32^2 + 43,7^2}} = 1,27 \text{ кА}$$

**Приложения:****ПРИЛОЖЕНИЕ П-10**

Индуктивные сопротивления кабелей с поясной изоляцией, Ом/км, по (Л. 5)

Сечение кабеля, мм <sup>2</sup>	Номинальное напряжение, кВ		Сечение кабеля, мм <sup>2</sup>	Номинальное напряжение, кВ	
	6	10		6	10
10	0,11	0,122	95	0,078	0,083
16	0,102	0,113	120	0,076	0,081
25	0,091	0,099	150	0,074	0,079
35	0,087	0,095	185	0,073	0,077
50	0,083	0,09	240	0,071	0,075
70	0,08	0,086			

Таблица 8.2

Сечение, мм <sup>2</sup>	Провода и кабели, Ом/км		Сечение, мм <sup>2</sup>	Провода и кабели, Ом/км	
	медные	алюминиевые		медные	алюминиевые
1	18,9	-	35	0,54	0,92
1,5	12,6	-	5,0	0,39	0,64
2,5	7,55	12,6	70	0,28	0,46
4	4,56	7,90	95	0,2	0,34
6	3,06	5,26	120	0,158	0,27
10	1,84	3,16	150	0,123	0,21
16	1,20	1,98	185	0,103	0,17
25	0,74	1,28	240	0,17	0,132

ПРИЛОЖЕНИЕ П-22

**Сопротивление шин**

Сечение шины, мм	Активное сопротивление при +65° С, мом/м		Индуктивное сопротивление, мОм/м, при D <sub>ср</sub> , мм			
	Медь	Алюминий	100	150	200	300

25x3	0,268	0,475	0,179	0,2	0,225	0,244
30x3	0,223	0,394	0,163	0,189	0,206	0,235
30x4	0,167	0,296	0,163	0,189	0,206	0,235
40x4	0,125	0,222	0,145	0,17	0,189	0,214
40x5	0,1	0,177	0,145	0,17	0,189	0,214
50x5	0,08	0,142	0,137	0,1565	0,18	0,2
50x6	0,067	0,118	0,137	0,1565	0,18	0,2
60x6	0,0558	0,099	0,1195	0,145	0,163	0,189
60x8	0,0418	0,074	0,1195	0,145	0,163	0,189
80x8	0,0313	0,055	0,102	0,126	0,145	0,17
80x10	0,025	0,0445	0,102	0,126	0,145	0,17
100x10	0,02	0,0355	0,09	0,1127	0,133	0,157
2(60x8)	0,0209	0,037	0,12	0,145	0,163	0,189
2(80x8)	0,0157	0,0277	—	0,126	0,145	0,17
2(80x10)	0,0125	0,0222	—	0,126	0,145	0,17
2(100x10)	0,01	0,0178	—	-	0,133	0,157

Таблица 3

Варианты задания по лабораторной работе 3

№ варианта	Сечение шины (мм)	Длина шины (м)	Длина от РУ до ВРУ (м)	Сечение кабеля (мм <sup>2</sup> ) Ø основной жилы + Ø дополнительной жилы	Длина от ВРУ до РУ (м)	Сечение провода (мм <sup>2</sup> ) Ø основной жилы + Ø дополнительной жилы	S тран-ра кВ·А
1	50×6	18	250	1(3×95)+1×50	60	3(1×50)+1×25	250
2	50×5	6	100	1(3×10)+1×4	20	3(1×16)+1×6	160
3	50×5	12	350	1(3×50)+1×25	30	3(1×16)+1×4	250
4	80×8	10	150	1(3×95)+1×50	30	3(1×70)+1×35	630
5	40×4	30	500	1(3×120)+1×75	60	3(1×50)+1×25	630
6	60×6	20	800	1(3×185)+1×95	90	3(1×50)+1×25	1000
7	50×5	30	450	1(3×95)+1×50	80	3(1×25)+1×16	1000
8	50×5	10	400	1(3×25)+1×16	80	3(1×50)+1×25	160
9	50×5	25	300	1(3×70)+1×50	60	3(1×70)+1×35	630
10	50×5	20	400	1(3×120)+1×70	60	3(1×50)+1×25	1000
11	50×5	20	400	1(3×120)+1×35	100	3(1×70)+1×35	600
12	30×3	10	600	1(3×120)+1×70	60	3(1×70)+1×35	160
13	50×5	18	140	1(3×70)+1×50	70	3(1×70)+1×35	400
14	50×5	10	400	1(3×50)+1×35	60	3(1×25)+1×16	600
15	50×5	20	300	1(3×95)+1×35	60	3(1×35)+1×16	500
16	50×5	20	350	1(3×50)+1×50	80	3(1×35)+1×16	400
17	50×5	25	300	1(3×95)+1×70	60	3(1×50)+1×35	350
18	40×4	8	80	1(3×70)+1×50	10	3(1×70)+1×35	160
19	50×5	25	400	1(3×120)+1×70	50	3(1×50)+1×25	400
20	40×4	18	300	1(3×95)+1×170	50	3(1×50)+1×25	400
21	40×4	8	100	1(3×50)+1×25	20	3(1×50)+1×25	400
22	60×6	8	150	1(3×70)+1×35	50	3(1×16)+1×10	400
23	40×4	15	250	1(3×50)+1×25	60	3(1×35)+1×10	400
24	40×4	10	150	1(3×50)+1×25	50	3(1×25)+1×16	250
25	100×10	30	320	1(3×95)+1×50	80	3(1×35)+1×25	1000
26	60×6	25	400	1(3×120)+1×70	70	3(1×70)+1×35	630
27	40×5	8	150	1(3×50)+1×25	50	3(1×50)+1×25	400
28	60×6	20	300	1(3×95)+1×50	60	3(1×50)+1×25	630
29	40×4	20	150	1(3×50)+1×16	50	3(1×35)+1×25	200
30	50×5	20	350	1(3×180)+1×25	100	3(1×50)+1×16	800
31	50×5	20	400	1(3×70)+1×25	100	3(1×25)+1×16	600
32	50×5	10	400	1(3×50)+1×35	60	3(1×25)+1×16	600
33	50×5	10	300	1(3×95)+1×35	80	3(1×50)+1×16	500
34	40×5	20	220	1(3×95)+1×35	60	3(1×35)+1×16	160
35	80×8	35	350	1(3×150)+1×70	100	3(1×10)+1×35	400
36	40×5	10	150	1(3×50)+1×25	80	3(1×25)+1×16	250
37	40×5	10	400	1(3×95)+1×50	100	3(1×50)+1×35	400
38	25×3	20	300	1(3×50)+1×25	60	3(1×16)+1×6	400
39	50×5	20	150	1(3×30)+1×25	30	3(1×25)+1×16	160
40	40×4	10	150	1(3×50)+1×25	50	3(1×35)+1×25	250

## Практическое занятие 4

### Определение 3-х фазного короткого замыкания для различных моментов времени.

**Цель работы** - Приобрести навыки расчета тока к.з. для различных моментов времени.

Для выбора ремонтной защиты кроме начального действующего тока к.з. необходимо знать и его действующее значение для различных моментов времени от начала к.з. Если начальное действующее значение тока к.з. можно определить по формуле

$$I_d = I_n^{(3)} \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2} \quad \text{где } K_y \text{ – ударный коэффициент}$$

$I_n^{(3)}$  – начальное действующее значение.

За первый период. Здесь затухающая периодической составляющей тока к.з. за первый период пренебрегли и приняли длительный.

При  $X_{расч} > 3$  периодическая составляющая тока к.з., практически не применяется и действующее значение  $I_n'' = I_\infty$ .

Начальное действующее значение периодической составляющей за первый период после возникновения к.з. называется начальным сверх переходным током к.з. ( $I''$ ).

Действующее значение установившегося тока к.з. обозначим через  $I_\infty$ .

Т.о., действующее значение периодической составляющей тока к.з. изменяется  $I''$  от  $I_\infty$ . Начальное действующее значение сверхпереходного трехфазного тока к.з. можно вычислить по закону Ома.  $I''^{(3)} = E / (\sqrt{3} Z)$ , где  $Z$ -

Наибольшее возможное значение мгновенного тока к.з. называется ударным током.

Отношение ударного тока к.з. к наибольшему значению периодической составляющей тока к.з. называется ударным коэффициентом  $K_y$ :

$K_y = i_y / i_{п\ max}$ , где  $i_{п\ max}$  - наибольшее значение периодического тока.

Если при короткозамкнутой цепи через  $r_{рез} = 0$ , т.е. отсутствует активное сопротивление, то  $T_a = \infty$ , т.е. апериодическая составляющая тока к.з. не затухает и  $K_y = 2$ .

Если при короткозамкнутой цепи  $x_{рез} = 0$ , т.е. отсутствует индуктивное сопротивление, то  $T_a = 0$ , т.е. апериодическая составляющая тока к.з. совсем не возникает  $K_y = 1$ .

Следовательно ударный коэффициент изменяется в пределах  $2 > K_y > 1$ .

Постоянная времени определяется по формуле  $T_a = X_{рез} / (3,14 \cdot r_{рез})$ , или соотношению  $X/r$  по рисунку можно определить  $K_y$ .

$$X = 0,4; r = 0,28$$

$$T_a = 0,4 / 3,14$$

$$r_{рез} = 0,4 / (3,14 \cdot 0,035) = 0,28$$

$$x/r = 14,3$$

$$T_a = 0,035$$

$$K_y = 1,8$$

**Пример.** Питающая сеть (рис 21.9) подключена к энергосистеме, по условию которой на шинах напряжением 37 кВ  $I'' = 20$  кА;  $\beta'' = 1,7$ . Турбогенераторы оборудованы АРН. Данные для расчета даны на рис 21,9. Определить  $I''$ ,  $I_{0,2}$ ,  $i_d$ ,  $S_{0,2}$  в точке К.

**РЕШЕНИЕ.** По рис. 21.7 в зависимости от  $\beta'' = 1,7$  находим расчетное сопротивление  $X_{расч}$  от источника питания до шин 37 кВ:  $X_{расч\ с} = 0,22$  (по рис. 21.7)

Определяем мощность питающей системы:  $S_{ном\Sigma} = \sqrt{3} I'' U_{ср} X_{расч\ с} = 1,73 \times 20 \times 37 \times 0,22 = 281 \text{ мВА}$

Принимаем за базисные мощность и напряжение:  $S_б = 281 \text{ мВА}$  и  $U_б = 10,5 \text{ кВ}$ .

Реактивное сопротивление трансформаторов  $Tp_1$  и  $Tp_2$ , отнесенное к базисной мощности,

$S_{\text{ном}} = 4 \text{ МВА}$  (трансформатор 2, рис 21.9)

$$X_{\text{б тр.}} = X_{\text{ном тр.}} (S_{\text{б}}/S_{\text{ном}}) = 0,075(281/4) = 5,3$$

Реактивное сопротивление линии, отнесенное к базисным условиям,

$$X_{\text{б л}} = x_0 l (S_{\text{б}}/U_{\text{б}}^2) = 0,4 * 5 (281/10,5^2) = 5,1$$

$x_0$  – из схемы ВЛ. Рис 21.9.

Суммарное сопротивление до точки к.з.

$$X_{\text{б}\Sigma} = X_{\text{расч}\Sigma} = X_{\text{расч с}} + X_{\text{б тр.}}/2 + X_{\text{б л}} = 0,22 + 5,3/2 + 5,1 = 7,97$$

Базисный ток, отнесенный к напряжению 10,5 кВ,

$$I_{\text{б}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3} U_{\text{б}}} = \frac{281}{1,73 \cdot 10,5} = 15,4 \text{ кА.}$$

Т.к.  $X_{\text{расч}\Sigma} > 3$ , то в точке к.з. ток не затухает. Тогда  $I'' = I_{0,2} = I_{\infty} = I_{\text{б}}/X_{\text{б}\Sigma} = 15,4/7,97 = 1,9 \text{ кА.}$

Ударный ток к.з.  $i_y = K_y \sqrt{2} I'' = 1,8 * 1,41 * 1,9 = 4,85 \text{ кА}$ , при  $K_y = 1,8$  рис. 21.3

Действующее значение полного тока к.з.

$$I_{\text{д}} = I'' \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2} = 1,9 \sqrt{1 + 2(1,8 - 1)^2} = 2,76 \text{ кА.}$$

Мощность отключения  $S_{0,2} = \sqrt{3} U_{\text{ср}} I'' = 1,73 * 10,5 * 1,9 = 34,8 \text{ МВА}$

$I''$  – действующее значение начального сверхпереходного тока, кА.

**Приложения:**

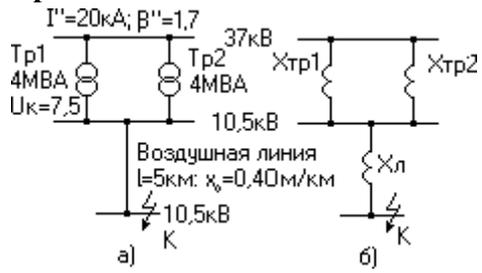


рис. 21.9. а – расчетная схема;  
 б – схема замещения.

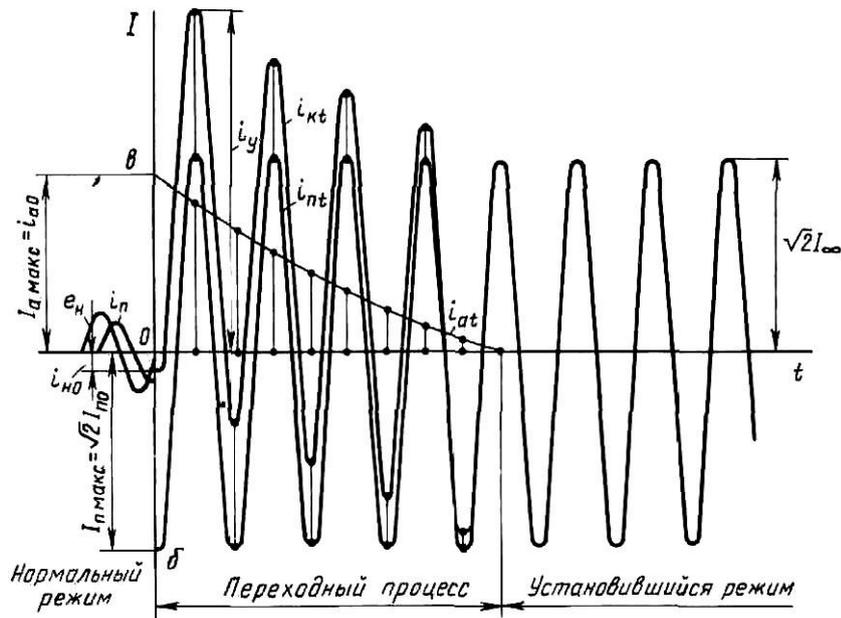


Рис. 6.1. Кривые изменения тока при коротком замыкании.

Таблица 4 Варианты задания по лабораторноте 4

№ варианта	$I''$ кА	$\beta''$ табл. знач.	S тран- ра кВ А	$U_{пит.}$ шины ВН, кВ	$U_{пит.}$ шины НН, кВ	Длина возд. линии (м)	$U_{вл}$ (кВ)	$X_0$ МОм
1	20	1	6	25	10	10	10,5	0,4
2	17	1,2	3	35	12	4	10,5	0,4
3	30	2,8	6	40	12	8	12	0,4
4	14	1,5	3	35	15	9	15	0,4
5	15	0,8	5	30	3	8	3	0,4
6	14	1,2	3,5	25	12	7	12	0,4
7	2	0,8	1,5	30	3	3	10,5	0,4
8	22	2,2	0,3	25	6	3	6	0,4
9	25	1,7	5	20	10,5	3	10,5	0,4
10	14	1,2	0,5	12	1,5	3	1,5	0,4
11	15	1,7	2	25	10,5	3	10,5	0,4
12	15	1,7	4	35	12	3	10,5	0,4
13	20	1,7	4	20	6	3	6	0,4
14	15	1,7	4	35	10	4	5	0,4
15	20	1,7	4	25	6	6	10,5	0,4
16	30	1,7	6	40	12	8	10,5	0,4
17	10	1,3	3,5	28	6,5	4	6,5	0,4
18	0,9	0,9	5	36	12	3,5	12	0,4
19	15	2,3	6	30	10	3	10	0,4
20	10	0,9	2	30	6	2	6	0,4
21	15	1	3,5	20	6	7	6	0,4
22	15	0,9	6	30	6	3	6	0,4
23	25	2	6	40	15	8	15	0,4
24	30	2	3	25	12	6	12	0,4
25	10	0,9	2	30	6	2	6	0,4
26	15	0,9	4	25	5	5	10,5	0,4
27	10	1,7	4	30	7	7	7	0,4
28	30	1,7	4	35	10,5	3	10,5	0,4
29	20	1,2	4	30	6	3	6	0,4
30	15	1,7	6	35	10,5	6	10,5	0,4
31	30	2,6	6	40	20	9	20	0,4
32	25	1,8	4,5	30	10	5,5	10	0,4
33	18	1,5	3,5	33	1	6,5	12	0,4
34	18	0,8	6	30	15	3,5	15	0,4
35	25	2,5	5	33	15	8	15	0,4
36	30	2	6	40	15	6	15	0,4
37	13	1	2	25	6	2	6	0,4
38	19	1,5	5	15	3	3	3	0,4
39	24	1,8	4	30	15	4	15	0,4
40	11	2	1	35	12	2	12	0,4

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Алиев И.И. Электротехнический справочник – М.; ИП РадиоСофт, 2000.- 384 с
- 2 Справочник по проектированию электроснабжения / под. Ред. Ю.Г. Брыбина – М.; энергоатомиздат, 1990 – 567с
- 3 Каминский Е.А. Практические примеры чтения схем электроустановок – М.; энергоатомиздат, 1988 – 368с
- 4 Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок – М.; высш. шк.,1990 – 366с