

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухова Татьяна Александровна

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 12.09.2023 16:42:34

Уникальный программный ключ:
d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению практических работ

по дисциплине «Электроснабжение промышленных предприятий»

для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Передача и распределение электрической энергии в системах электроснабжения

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

Содержание

№ п/п		Стр.
	Введение	3
1.	Практическая работа №1. Электрические нагрузки промышленных предприятий.	4
2.	Практическая работа №2. Расчет освещения цеха.	14
3.	Практическая работа №3. Коммутационные и защитные аппараты до 1 кВ.	20
4.	Практическая работа №4. Внутрицеховые электрические сети напряжением до 1 кВ.	25
5.	Практическая работа №5. Питающая и распределительная сеть 6 – 10 кВ предприятий.	37
6.	Практическая работа №6. Силовые трансформаторы подстанций.	42
7.	Практическая работа №7. Потери мощности и энергии в элементах системы электроснабжения.	48
8.	Практическая работа №8. Компенсация реактивной мощности.	54
9.	Практическая работа №9. Определение местоположения цеховой подстанции.	66
10.	Практическая работа №10. Расчет контура заземления.	76
11.	Практическая работа №11. Расчет и выбор элементов релейной защиты цехового трансформатора.	82
	Приложения	85

Введение

Одна из основных задач методических указаний – развитие у студентов творческих подходов к теоретическому материалу, физическим трактовкам явлений и процессов, происходящих в электроснабжении промышленных предприятий.

Дисциплина «Электроснабжение промышленных предприятий» относится к базовым профилирующим дисциплинам направления 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника. Содержание практических занятий соответствует программе дисциплины «Электроснабжение промышленных предприятий» для студентов, перечисленных выше специальностей.

В деле совершенствования подготовки студентов по данной дисциплине важную роль играет получение практических навыков инженерных расчетов. Это достигается в процессе выполнения практических занятий, которые являются самостоятельной работой студента под руководством преподавателя, и преследует следующие задачи:

- закрепление знания схем КТП, БКТП и ТП; выполнение технико-экономических расчетов;
- умение производить выбор оборудования;
- ознакомление с теоретическими основами работы и конструкцией электрических аппаратов;
- освоение методики выбора электрических аппаратов и токоведущих частей.

Часть задач в процессе работы над дисциплиной студентам рекомендуется изучить самостоятельно. Данная дисциплина обобщает весь изученный ранее материал и готовит студента дипломному проектированию.

Практическая работа №1

Тема: Электрические нагрузки промышленных предприятий

Цель: Приобрести навыки расчета электрических нагрузок промышленных предприятий.

Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы:

Обучающийся должен:

знать:

– виды графиков электрических нагрузок;

уметь:

– рассчитывать электрические нагрузки промышленных предприятий.

Актуальность темы:

Заключается в необходимости расчета и определение суточных нагрузок цеха промышленного предприятия.

Теоретическая часть:

Расчет электрических нагрузок производится для каждого электрического узла, от которого питаются электроприемники. В сетях напряжением до 1 кВ на различных ступенях распределения в качестве электрического узла могут рассматриваться распределительные пункты, шкафы, сборки, распределительные, троллейные, магистральные шинопроводы, цеховые трансформаторные подстанции. Нагрузки определяются по цеху, корпусу, предприятию в целом.

Метод коэффициента расчетной нагрузки. Согласно Указаниям по расчету электрических нагрузок расчетная активная нагрузка группы электроприемников, подключенных к электрическому узлу:

$$P_p = K_p \sum_{i=1}^n K_{Hi} P_{Hi}$$

где K_p - коэффициент расчетной нагрузки;

P_{Hi} и K_{Hi} - номинальная активная мощность и среднее значение коэффициента использования отдельного электроприемника; n - количество электроприемников в группе.

Эффективное число электроприемников

$$n_{\text{э}} = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{Hi})^2}{\sum_{i=1}^n P_{Hi}^2}$$

где P_{Hi} - номинальная мощность отдельного электроприемника в группе.

Полученное расчетом округляется до ближайшего меньшего целого числа.

При большом количестве электроприемников в группе для магистральных шинопроводов, сборных шин цеховых трансформаторных подстанций (ТП цеха, корпуса, предприятия в целом величину $n_{\text{э}}$ можно определить также по упрощенному выражению:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{Hi}}{P_{H \text{ наиб}}}$$

где $P_{H \text{ наиб}}$ - номинальная мощность самого мощного электроприемника в группе.

Если найденное по последнему выражению $n_{\text{э}}$ окажется больше n , то принимают $n_{\text{э}} = n$. Это же условие для $l_{\text{э}}$ сохраняется, если

$$\frac{P_{H \text{ наиб}}}{P_{H \text{ мин}}} \leq 3$$

Для группы, состоящей из электроприемников различных категорий (с различными $K_{и}$), средневзвешенный коэффициент использования

$$K_{и} = \frac{\sum_{i=1}^m K_{иi} P_{Hi}}{\sum_{i=1}^m P_{Hi}}$$

а) для питающих сетей напряжением до 1 кВ в зависимости от $n_{\text{э}}$,
при $n_{\text{э}} \leq 10$

$$Q_p = 1.1 \sum_{i=1}^n K_{И} P_H \tan \varphi$$

при $n_3 > 10$

$$Q_p = \sum_{i=1}^n K_{И} P_H \tan \varphi$$

б) для магистральных шинопроводов и на шинах цеховых ТП, а также при определении реактивной нагрузки по цеху, корпусу, предприятию

$$Q_p = K_p \sum_{i=1}^n K_{И} P_H \tan \varphi = P_p \tan \varphi$$

К расчетным активной и реактивной нагрузкам силовых электроприемников до 1кВ должны быть добавлены при необходимости осветительные нагрузки $P_{ро}$ и $Q_{ро}$

Расчет электрических нагрузок электроприемников напряжением выше 1 кВ осуществляется в целом аналогично расчету, приведенному для электроприемников напряжением до 1 кВ, с учетом некоторых особенностей. Для электродвигателей напряжением выше 1 кВ вместо $K_{И}$ принимается значение коэффициента загрузки K_3 и находится расчетная нагрузка

$$P_{рд} = K_3 P_{нд}$$

где $P_{нд}$ - номинальная активная мощность высоковольтного электродвигателя.

При определении расчетной нагрузки предприятия подсчитывается количество присоединений к сборным шинам 6 - 10 кВ распределительного пункта (РП) или главной понизительной подстанции (ГПП), от которых питается предприятие. В зависимости от количества присоединений и средневзвешенного $K_{И}$ по табл. ПЗ определяется значение коэффициента одновременности K_o . При этом принимается величина $K_p = 1$. Аналогичное значение K_p принимается и в тех случаях, когда расчетная нагрузка определяется для выбора кабеля 6-10 кВ, питающего цеховую ТП.

Расчетная нагрузка силовых электроприемников до 1 кВ характерных групп, приведенная к вводу предприятия, определяется по формуле

$$P_p = K_o \sum_{i=1}^n K_{И} P_H$$

$$Q_p = K_o \sum_{i=1}^n K_{И} P_H \tan \varphi = P_p \tan \varphi$$

Результирующая нагрузка предприятия определяется с учетом осветительной и высоковольтной нагрузок, а также средств компенсации реактивной мощности Q и потерь мощности в трансформаторах.

Метод коэффициента спроса. На первой стадии проектирования системы электроснабжения могут быть неизвестными мощности отдельных электроприемников характерных групп и режим их работы. Расчетная максимальная нагрузка для таких групп электроприемников определяется следующим образом:

$$P_p = K_c P_H$$

$$Q_p = P_p \tan \varphi$$

Значения коэффициентов спроса $K_c \cos \varphi$ для указанных групп электроприемников определяются из.

Расчетная нагрузка узла системы электроснабжения определяется в этом случае с учетом коэффициента разновременности максимумов нагрузок отдельных групп электроприемников:

$$S_p = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n P_{pi}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n Q_{pi}\right)^2} K_{pm}$$

где n - количество характерных подгрупп электроприемников.

Значение K_{pm} можно приближенно принять равным 0,9.

Метод удельных плотностей нагрузки. Если имеются сведения о величинах производственных площадей отдельных цехов, например,

машиностроительных предприятий, то расчетную активную нагрузку можно определить, используя выражение

$$P_p = p_{уд} \cdot F$$

где F - площадь размещения приемников группы, m^2 ;

$p_{уд}$ - удельная плотность нагрузки на $1 m^2$ производственной площади, $kВт/m^2$. Значения удельных плотностей нагрузок $p_{уд}$ принимаются по справочной литературе.

Метод удельного расхода электроэнергии. При наличии данных по удельному расходу электроэнергии на единицу продукции расчет нагрузок по отдельным цехам, предприятию в целом можно выполнить, используя выражение

$$P_p = \frac{M \cdot \mathcal{E}_{ауд}}{T}$$

где M - выпуск продукции в натуральном выражении за время T
назначение удельных расходов электроэнергии на единицу продукции.

Электрические нагрузки однофазных электроприемников.

Однофазные электроприемники учитываются при определении суммарных нагрузок как трехфазные, если они равномерно распределены между фазами трехфазной сети. Считаются неравномерно распределенными те однофазные электроприемники, номинальная мощность которых составляет более 15 % суммарной мощности трехфазных и однофазных приемников, присоединенных к электрическому узлу. Для таких электроприемников определяется трехфазная номинальная условная мощность:

при включении однофазных электроприемников на фазное напряжение

$$P_{ну} = 3 \cdot P_{нмф}$$

$$P_{ну} = \sqrt{3} \cdot P_{нл}$$

Мощность отдельной фазы в этом случае определяется как полу сумма номинальных мощностей плеч, прилегающих к данной фазе.

При большом количестве однофазных электроприемников в группе, включенных на фазное и линейное напряжение и не распределенных равномерно, номинальная мощность отдельной фазы определяется с учетом коэффициентов приведения линейных нагрузок к данной фазе и фазному напряжению. Например, для фазы А

$$P_{H(a)} = P_{ab}p_{(ab)a} + P_{ca}p_{(ca)a} + P_{a0}$$

$$Q_{H(a)} = P_{ab}p_{(ab)a} + P_{ca}p_{(ca)a} + Q_{a0}$$

где b - однофазная нагрузка, включенная в плечо АВ трехфазной сети;

P_{ac} - то же в плечо АС;

P_{a0} и Q_{a0} - нагрузки, включенные на фазу А и нулевой провод;

$P_{(ab)a}$, $P_{(ca)a}$, $q_{(ab)a}$ - коэффициенты приведения линейных нагрузок, определяемые из справочных таблиц.

Расчетные активную и реактивную нагрузки для однофазных электроприёмников, включенных в трехфазную сеть, можно определить по формулам

$$P_{py} = K_p \sum_{i=1}^n K_{и} P_{нyi}$$

при $n_3 \leq 10$

$$Q_{py} = 1.1 \sum_{i=1}^n K_{и} P_{нyi} \tan \varphi$$

при $n_3 > 10$

$$Q_{py} = \sum_{i=1}^n K_{и} P_{нyi} \tan \varphi$$

Для узла, подключенного к трехфазной электрической сети, имеющей трехфазные и однофазные электроприемники, расчетные активная и реактивная нагрузки определяются по формулам:

$$P_{puz} = K_p \left(\sum_{i=1}^{m1} K_{и} P_{ни} + \sum_{i=1}^{m2} K_{и} P_{нyi} \right) + \sum_{i=1}^{m3} K_{и} P_{ни} + \sum_{i=1}^{m4} K_{и} P_{нyi}$$

при $n_3 \leq 10$

$$Q_{p_{уз}} = 1.1 \left(\sum_{i=1}^{m_1} K_{Hi} P_{Hi} \tan \varphi_i + \sum_{i=1}^{m_2} K_{Hi} P_{Hi} \tan \varphi_i \right) + \sum_{i=1}^{m_3} K_{Hi} P_{Hi} \tan \varphi_i + \sum_{i=1}^{m_4} K_{Hi} P_{Hi} \tan \varphi_i$$

при $n_3 > 10$

$$Q_{p_{уз}} = \sum_{i=1}^{m_1} K_{Hi} P_{Hi} \tan \varphi_i + \sum_{i=1}^{m_2} K_{Hi} P_{Hi} \tan \varphi_i + \sum_{i=1}^{m_3} K_{Hi} P_{Hi} \tan \varphi_i + \sum_{i=1}^{m_4} K_{Hi} P_{Hi} \tan \varphi_i$$

где m_1 и m_2 – количество трёхфазных и однофазных электроприемников с переменным графиком нагрузок;

m_3 и m_4 - количество трёхфазных и однофазных электроприемников с мало меняющимся графиком нагрузок.

Задание:

Задача №1

Определить n_3 для электроприемников механического участка инструментального цеха со следующими данными:

- а) токарные станки: 4 х (7 + 1,1 + 0,25) кВт;
- б) строгальные станки: 2 х (4,5 + 0,5) кВт; 2 х (5,5 + 0,75) кВт;
- в) сверлильные станки: 3 х (7,5 + 0,25) кВт; 3 х (3 + 0,25) кВт;
- г) заточные станки: 2 х 2,8 кВт; 2 х 4,5 кВт;
- д) механические ножовки: 3 х (3,2 + 0,3) кВт.

Задача №2

В трехфазную электрическую сеть 380/220 В включены однофазные электроприемники:

- а) печи сопротивления: $P_H = 12$ кВт, $\cos \varphi = 0,95$, $n = 2$, $U_H = 220$ В;
- б) сварочные трансформаторы: $S_{ca} = 75$ кВА, ПВ = 45 %, $\cos \varphi = 0,55$, $n = 1$, $U_H = 380$ В; Определить трехфазную условную номинальную мощность.

Задача №3

От шин вторичного напряжения цеховой ТП питаются следующие группы трехфазных электроприемников:

- а) 35 электродвигателей продолжительного режима работы от 5,5 до 10 кВт суммарной мощностью $\Sigma P_H = 265$ кВт; $K_n = 0,18$; $\cos\varphi = 0,75$;
- б) 8 электродвигателей повторно-кратковременного режима работы от 4,0 до 7 кВт; " $\Sigma P_H = 42$ кВт; ПВ = 50 %; $K_n = 0,15$; $\cos\varphi = 0,55$;
- в) 20 электродвигателей продолжительного режима работы от 3 до 15 кВт; $\Sigma P_H = 175$ кВт, $K_n = 0,2$; $\cos\varphi = 0,7$;
- г) 15 электродвигателей продолжительного режима работы от 5 до 7,5 кВт; $\Sigma P_H = 100$ кВт; $K_n = 0,3$; $\cos\varphi = 0,65$.

Определить для них полную расчетную нагрузку.

Задача №4

Группа цехов тракторного завода имеет следующие установленные мощности электроприемников:

- а) агрегатный цех $P_H = 3000$ кВт;
- б) прессово-штамповочный цех $P_H = 4000$ кВт;
- в) механический цех $P_H = 3500$ кВт;
- г) покрасочный цех $P_H = 1800$ кВт.

Определить для них полную расчетную нагрузку.

Задача №5

Технологические участки ремонтно-механического цеха имеют следующие номинальные мощности электроприемников:

- а) участок станков универсального назначения: 6 х (4,5 + 1 + 0,25) кВт - нормальный режим; 5 х (7 + 1,5 + 0,25) кВт - нормальный режим; 5 х (14 + 2 + 0,75) кВт - тяжелый режим;
- б) участок специализированных станков с электродвигателями от 0,25 до 5,5 кВт суммарной мощностью $P_a = 87$ кВт;
- в) электросварочный участок, сварочные трансформаторы:
 $S_{\text{насп1}} = 37$ кВА; ПВ = 40 %; $\cos\varphi = 0,5$; $U_n = 380$ В;
 $S_{\text{насп2}} = 32$ кВА; ПВ = 40 %; $\cos\varphi = 0,5$; $U_n = 380$ В;

$S_{\text{пасп3}} = 22 \text{ кВА}$; ПВ = 60 %; $\cos\varphi = 0,5$; $U_n = 380 \text{ В}$,

Определить полную расчетную нагрузку электроприемников цеха.

Задача №6

Группа цехов автомобильного завода питается от отдельного РП на напряжении 10 кВ и имеет следующие данные:

- сборочный цех; $P_p = 1800 \text{ кВт}$; $\cos\varphi = 0,7$; $K_n = 0,2$;
- цех задних мостов: $P_n = 2900 \text{ кВт}$; $\cos\varphi = 0,75$; $K_n = 0,25$;
- цех кабин: $P_n = 2300 \text{ кВт}$; $\cos\varphi = 0,7$; $K_n = 0,3$;
- покрасочный цех: $P_n = 1500 \text{ кВт}$; $\cos\varphi = 0,65$; $K_n = 0,4$;
- гальванический цех: $P_n = 1700 \text{ кВт}$; $\cos\varphi = 0,8$; $K_n = 0,5$;
- компрессорная: электроприемники напряжением до 1 кВ: $P_n = 1300 \text{ кВт}$; $\cos\varphi = 0,7$; $K_n = 0,35$, электродвигатели напряжением 10 кВ: $P_n = 4000 \text{ кВт}$; $n = 3$; $\cos\varphi = 0,75$; $K_3 = 0,85$.

Количество присоединений к РП $n = 10$. Самый мощный электроприемников в группе напряжением 380 В - электродвигатель, у которого $P_n = 15 \text{ кВт}$. Определить полную расчетную нагрузку на шинах РП.

Контрольные вопросы:

1. Каким образом связаны расчетные активная и реактивная мощности?
2. В каких случаях необходимо использовать систему общего освещения?
3. В каком случае необходимо провести корректировку расчетной активной мощности?
4. Как зависит нормируемая освещенность дорог и проездов от интенсивности движения автомобилей?
5. Охарактеризовать способы установки прожекторов для освещения открытых площадок.

6. Какие данные являются исходными при расчете уличного освещения точечным методом?

Список литературы:

Перечень основной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения объектов : учебное пособие / Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 357 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-3979-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=469117>

2. Данилов, М.И. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) : учебное пособие / М.И. Данилов, И.Г. Романенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет». - Ставрополь : СКФУ, 2015. - 223 с. : ил. - Библиогр. в кн. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457214>

Перечень дополнительной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения промышленных и гражданских зданий : учебник / Ю.Д. Сибикин. - 6-е изд., перераб. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. - 508 с. : схем., табл., ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-8608-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=459494>

Практическая работа №2

Тема: Расчет освещения цеха

Цель: – закрепить теоретические знания по теме;

– приобрести практические навыки по расчету освещения;

– приобрести практические навыки пользования справочной и методической литературой.

Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы:

Обучающийся должен:

знать:

– методику расчета освещения.

уметь:

– рассчитывать электрическое освещение.

Актуальность темы:

Заключается в необходимости приобретения навыков по расчету освещения и использования

Теоретическая часть:

В соответствии со СНиП 2-4-79 для освещения производственных помещений, как правило, следует предусматривать газоразрядные лампы низкого и высокого давления. Для расчета общего равномерного освещения при горизонтальной поверхности основным является метод светового потока (коэффициента использования), учитывающий световой поток лампы при освещении дуговыми ртутными лампами.

Расчет по методу коэффициента использования ведется в следующем порядке:

1. Определяется требуемая нормами освещенность (табл.2.1). Выбор нормируемой освещенности осуществляется в зависимости от размера

объекта различения, контраста объекта с фоном и коэффициента отражения рабочей поверхности.

2. Определяется группа и предварительное количество светильников при их выгодном расположении. Выгодное расстояние L между светильниками или рядами светильников выбирают исходя из отношения (L/h) для получения наименьшей неравномерности распределения освещенности, в зависимости от классификационных групп светильников (табл.2.2).

3. Определяется индекс помещения.

4. Определяется коэффициент использования светового потока. Значения КПД светильника выбирается из табл.2.

5. Определяется необходимый световой поток каждого ряда светильников и световой поток одной лампы. По полученному значению выбирается стандартная лампа (Приложение: табл.2.3).

6. Определяется общая мощность освещения.

Задание:

Задача №1

1. Произвести светотехнический и электрический расчет освещения цеха.

2. Определить тип, мощность и количество ламп для общего освещения цеха.

3. Начертить план размещения светильников.

Таблица 2.1 – Нормы освещенности рабочих поверхностей в производственных помещениях

Характер зрительной работы	Наименьший размер объекта различения	Разряд работ	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Норма освещенности	
					Комб.	Общ.
Наивысшая точность	Менее 0,15 мм	1	Малый	Темный	5000	1500
				Средний	4000	1250
				Светлый	3000	1000
			Средний	Темный	2500	750
				Средний	2500	750
				Светлый	1500	400
			Большой	Темный	2500	400
				Средний	1500	300
				Светлый	1250	300
Очень высокая точность	От 0,15 до 0,3 мм	2	Малый	Темный	4000	1250
				Средний	3000	750
				Светлый	2000	500
			Средний	Темный	2000	500
				Средний	1500	500
				Светлый	1000	300
			Большой	Темный	1000	500
				Средний	750	300
				Светлый	750	200
Высокая точность	От 0,3 до 0,5 мм	3	Малый	Темный	2000	500
				Средний	1000	300
			Средний	Светлый	750	300
				Темный	1000	300
				Средний	750	200
				Светлый	400	200

			Большой	Темный	600	200
				Средний	400	200
				Светлый	400	150
Средняя точность	От 0,5 до 1 мм	4	Малый	Темный	750	300
				Средний	600	200
				Светлый	400	150
			Средний	Темный	500	200
				Средний	400	150
				Светлый	300	100
				Темный	400	150
				Большой	Средний	300
	Светлый	200	100			
Малая точность	От 1 до 5 мм	5	Малый	Темный	300	200
				Средний	200	150
				Светлый	-	150
			Средний	Темный	-	150
				Средний	-	100
				Светлый	-	75
				Темный	-	100
				Большой	Средний	-
	Светлый	-	75			
Грубая работа	Более 5 мм	6	Не зависимо от характеристик фона и контраста		-	150
Работа в горячих цехах со светящимися материалами	Более 5 мм	7	Не зависимо от характеристик фона и контраста		-	200

Таблица 2.2 – Основные характеристики светильников

Группа светильников	L/h	КПД при индексе помещения i					
		0,6	0,8	1,25	2	3	5
Д1	1,3	36	48	57	66	76	85
Д2	0,96	42	51	65	71	85	90
Г1	0,91	45	56	65	76	78	84
Г2	0,77	55	66	80	92	98	99
Г3	0,66	63	72	83	91	96	99
Г4	0,57	68	73	81	87	91	94
К1	0,49	70	78	86	92	96	98
К2	0,42	72	80	91	96	99	99

Таблица 2.3 – Основные характеристики ламп

Лампы накаливания			Люминисцентные лампы		
мощность	тип	световой поток	мощность	тип	световой поток
15	В	105	20	ЛДЦ	780
25	В	220	20	ЛД	870
40	БК	400	20	ЛБ	1120
40	БК	460	30	ЛДЦ	1375
60	Б	790	30	ЛД	1560
100	Г	1350	30	ЛБ	1995
150	Г	2000	40	ЛДЦ	1995
200	Г	2800	40	ЛД	2225
300	Г	4600	40	ЛБ	1850
500	Г	8300	80	ЛДЦ	3380
750	Г	13100	80	ЛД	3865
1000	Г	18600	80	ЛБ	4960

Контрольные вопросы:

1. Методы расчёта осветительных нагрузок.
2. Освещения производственных помещений.

Список литературы:

Перечень основной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения объектов : учебное пособие / Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 357 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-3979-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=469117>

2. Данилов, М.И. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) : учебное пособие / М.И. Данилов, И.Г. Романенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет». - Ставрополь : СКФУ, 2015. - 223 с. : ил. - Библиогр. в кн. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457214>

Перечень дополнительной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения промышленных и гражданских зданий : учебник / Ю.Д. Сибикин. - 6-е изд., перераб. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. - 508 с. : схем., табл., ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-8608-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=459494>

Практическая работа №3

Тема: Коммутационные и защитные аппараты до 1 кВ.

Цель: Изучить выбор и расчет коммутационных и защитных аппаратов до 1 кВ

Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы:

Обучающийся должен:

знать:

– виды защит, принципы действия, параметры релейной защиты.

уметь:

– выбирать элементы релейной защиты.

Актуальность темы:

Заключается в необходимости выбора и расчета коммутационных и защитных аппаратов до 1 кВ.

Теоретическая часть:

Управление режимами работы электроприемников напряжением до 1 кВ осуществляется коммутационными аппаратами: рубильниками, пакетными выключателями, магнитными пускателями. При этом, рубильники и пакетные выключатели обеспечивают только неавтоматическое (ручное) управление, а магнитные пускатели позволяют обеспечить и дистанционное управление.

Защита электрооборудования, элементов электрических сетей до 1 кВ от коротких замыканий осуществляется плавкими предохранителями и автоматическими выключателями (автоматами). Для защиты электрооборудования от перегрузок используются тепловые элементы магнитных пускателей или автоматов.

При выборе плавких предохранителей необходимо обеспечить выполнение следующих расчетных условий:

- номинальный ток плавкой вставки предохранителя $I_{\text{вс}}$ должен быть равным номинальному току электроприемника $I_{\text{н}}$ или превышать его, т.е.

$$I_{\text{вс}} \geq I_{\text{н}}$$

- плавкий предохранитель не должен срабатывать при кратковременных увеличениях тока в защищенной цепи, например во время пуска электро-двигателя. В этом случае

$$I_{\text{вс}} \geq \frac{I_{\text{кр}}}{\alpha}$$

При защите предохранителем ответвления к одиночному электродвигателю кратковременный максимальный ток линии

$$I_{\text{кр}} = I_{\text{пуск}}$$

Если предохранителем защищается магистраль, питающая группу электроприемников, то

$$I_{\text{кр}} = I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск.наиб}} + (I_{\text{р}} - k_{\text{и}} I_{\text{н.наиб}}),$$

где $I_{\text{пуск.наиб}}$ – пусковой ток одного или группы одновременно запускаемых электродвигателей, при включении которых в линии возникает наибольший пусковой ток;

$I_{\text{р}}$ – длительный расчетный ток линии;

$I_{\text{н.наиб}}$ – номинальный ток электроприемника (при ПВ = 100%), имеющего наибольший пусковой ток;

$k_{\text{и}}$ – коэффициент использования, характерный для электроприемников с $I_{\text{пуск.наиб}}$

Коэффициент кратковременной тепловой перегрузки $\alpha = 2,5$ – для легких условий; $\alpha = 1,6 \dots 2$ – для тяжелых условий пуска.

Из двух рассмотренных расчетных условий при выборе предохранителя принимается то из них, которое обеспечивает наибольшее значение $I_{\text{вс}}$.

Номинальный ток плавкой вставки предохранителя, защищающего ответвление к сварочному аппарату:

$$I_{\text{вс}} \geq 1,2I_{\text{нс}}\sqrt{\text{ПВ}}.$$

где $I_{\text{нс}}$ – номинальный ток сварочного аппарата при паспортной продолжительности включения.

Условия селективной работы предохранителей двух последовательно соединенных участков сети будут обеспечиваться, если номинальный ток вставки предохранителя предшествующего участка сети на две ступени превышает ток вставки предохранителя предшествующего участка сети на две ступени превышает ток вставки предохранителя, следующего за ним по направлению потока мощности участка сети.

Выбор автоматических выключателей и магнитных пускателей основан на выполнении следующих расчетных условий:

- номинальный ток расцепителя любого типа (теплового, электромагнитного) автомата, а также нагревательного элемента магнитного пускателя выбирается по длительному расчетному току линии:

$$I_{\text{н}} \geq I_{\text{дл}};$$

- ток срабатывания автомата с электромагнитным или комбинированным расцепителем проверяется по максимальному кратковременному току линии согласно условию

где $I_{\text{кр}}$ – кратковременный максимальный ток линии.

Коэффициентом 1,25 учитывается неточность в определении тока $I_{\text{кр}}$ при разбросе характеристик электромагнитных расцепителей автоматов.

Задание:

Задача №1

Выбрать предохранители для защиты от коротких замыканий электродвигателей токарного станка, имеющего многодвигательный привод:

$$P_{\text{н1}} = 7,5 \text{ кВт}; U_{\text{н}} = 380 \text{ В}; \cos\varphi = 0,8; \eta = 87\%; k_{\text{пуск}} = 7.$$

$$P_{H2} = 4 \text{ кВт}; U_H = 380 \text{ В}; \cos\varphi = 0,78; \eta = 85\%; k_{\text{пуск}} = 6,5.$$

$$P_{H3} = 0,75 \text{ кВт}; U_H = 380 \text{ В}; \cos\varphi = 0,75; \eta = 82\%; k_{\text{пуск}} = 6.$$

Задача №2

Выбрать магнитный пускатель для управления асинхронным двигателем, номинальные параметры которого следующие:

$$P_H = 11 \text{ кВт}; U_H = 380 \text{ В}; \cos\varphi = 0,85; \eta = 87\%;$$

Задача №3

Выбрать автоматический выключатель для защиты асинхронного двигателя с фазным ротором, номинальные параметры которого следующие:

$$P_H = 11 \text{ кВт}; U_H = 380 \text{ В}; \cos\varphi = 0,86; \eta = 88\%; k_{\text{пуск}} = 2,5.$$

Задача №4

Выбрать предохранитель, защищающий ответвление к сварочному аппарату, номинальные параметры которого следующие:

$$S_H = 32 \text{ кВ*А}; U_H = 380 \text{ В}; \text{ПВ} = 45\%.$$

Задача №5

Выбрать предохранитель для защиты от токов короткого замыкания асинхронного электродвигателя с номинальными параметрами:

$$P_H = 22 \text{ кВт}; U_H = 380 \text{ В}; \cos\varphi = 0,85; \eta = 89\%; k_{\text{пуск}} = 6,5.$$

Задача №6

К распределительному щиту цеха напряжением 380 В, выполненному панелями серии П (табл. П7), подключены радиальными питающими линиями шинопровод ШРА-4 и шкаф ШР-11. Расчетные нагрузки присоединенных электродвигателей составляют:

Для шинопровода: $S_p = 12 \text{ кВ*А}; P_{H \text{ наиб}} = 10 \text{ кВт}; k_{\text{пуск}} = 6,5; \cos\varphi = 0,76;$

$\eta = 85\%$; для шкафа $S_p = 96 \text{ кВ}\cdot\text{А}$; $P_{\text{н наиб}} = 22 \text{ кВт}$; $k_{\text{пуск}} = 6$; $\cos\varphi = 0,78$;

$$\eta = 86\%.$$

Расставить предохранители для защиты питающих линий, определить номинальные токи их плавких вставок.

Контрольные вопросы:

1. Условия выбора защитной аппаратуры в электрических цепях напряжением до 1кВ.
2. Режимы работы электротехнических устройств.
3. Классификация электрических аппаратов.
4. Токоведущие и контактные детали электрических аппаратов.

Список литературы:

Перечень основной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения объектов : учебное пособие / Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 357 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-3979-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=469117>
2. Данилов, М.И. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) : учебное пособие / М.И. Данилов, И.Г. Романенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет». - Ставрополь : СКФУ, 2015. - 223 с. : ил. - Библиогр. в кн. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457214>

Перечень дополнительной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения промышленных и гражданских зданий : учебник / Ю.Д. Сибикин. - 6-е изд., перераб. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. - 508 с. : схем., табл., ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-8608-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=459494>

Практическая работа №4

Тема: Внутрицеховые электрические сети напряжением до 1 кВ

Цель: Изучить основные внутрицеховые электрические сети напряжением до 1 кВ.

Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы:

Обучающийся должен:

знать:

– основные схемы

уметь:

– рассчитывать внутрицеховую электрическую сеть промышленного предприятия до 1000 В.

Актуальность темы:

Заключается в необходимости изучения основных схем внутрицеховых электрических сетей напряжением до 1 кВ.

Теоретическая часть:

Цеховые электроприемники напряжением до 1 кВ на большинстве промышленных предприятий являются основными потребителями электроэнергии. Передача и распределение ее между электроприемниками осуществляется с помощью внутрицеховых электрических сетей до 1 кВ различного назначения.

Электрооборудование многочисленных технологических установок подключается к силовым сетям цеха. Подъемно-транспортные устройства цеха питаются с помощью сетей передвижных установок (троллейных линий).

Осветительные электрические сети предназначены для передачи мощности к цеховым электроосветительным приборам. Наиболее

распространенным напряжением внутрицеховых сетей всех назначений является 380/220 В, иногда 660 В. Конструктивное выполнение цеховых электрических сетей осуществляется в основном изолированными проводами, кабелями, комплектными шинопроводами. Расчет цеховых электрических сетей независимо от их назначения производится прежде всего по допустимому нагреву токовыми

Нагрузками продолжительных режимов работы присоединенных электро-приемников. Выбор сечений проводов и кабелей по этому показателю для силовых сетей напряжением до 1 кВ заключается в соблюдении расчетного условия

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_p}{K_{\text{попр}}}$$

где I_p – длительный расчетный ток линии;

$I_{\text{доп}}$ – допустимый ток проводника;

$k_{\text{попр}}$ – коэффициент, учитывающий условия прокладки (при нормальных условиях $k_{\text{попр}} = 1$).

Выбранные сечения проводников необходимо привести в соответствие с токами их защитных аппаратов, используя следующее условие:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_3 k_3}{k_{\text{попр}}}$$

где I_3 – номинальный ток защитного аппарата или ток его срабатывания;

k_3 – отношение длительно допустимого тока проводника к номинальному току защитного аппарата или току его срабатывания, определяемое по табл. П10

Силовые сети до 1 кВ отдельных цехов могут выполняться комплектными распределительными и магистральными шинопроводами (табл. П11 и П12). Расчет таких сетевых элементов по допустимому нагреву током продолжительных режимов сводится к выполнению следующего условия:

$$I_n \geq I_p,$$

где I_n – номинальный ток шинпровода;

I_p – расчетный ток группы электроприемников, присоединенных к шинпроводу.

Для магистрального шинпровода в качестве I_p может быть принят номинальный ток цехового трансформатора, если к нему подключен только шинпровод. Распределительный шинпровод может иметь промежуточное место подключения к электрической сети по всей длине. В этом случае за I_p принимается ток наиболее нагруженного плеча, длина которого определяется от места присоединения питающей линии до конца шинпровода. Расчетный ток плеча шинпровода

$$I_{pш} = i_{pш} \ell_p,$$

где ℓ_p – длина расчетного участка шинпровода;

$i_{pш}$ – расчетная удельная токовая нагрузка на 1 м длины шинпровода.

Удельная токовая нагрузка шинпровода определяется из выражения

$$i_{pш} = \frac{S_{pш}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \ell_{ш}},$$

где $S_{pш}$ – полная расчетная мощность группы электроприемников, присоединенных к шинпроводу;

$\ell_{ш}$ – длина всего распределительного шинпровода.

Протяженные участки шинпроводов проверяются дополнительно на допустимую потерю напряжения. Для магистральных шинпроводов при одинаковых значениях $\cos\varphi$ ответвлений

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^2 \cdot \Sigma I_{pi} \cdot \ell_i}{U_n} (r_0 \cdot \cos\varphi + x_0 \cdot \sin\varphi),$$

где $I_{pi} \cdot \ell_i$ – электрический момент отдельного участка шинпровода;

r_0 и x_0 – удельные активное и индуктивное сопротивления шинпровода;

$\cos\varphi$ – коэффициент активной мощности присоединенных нагрузок;

n – количество участков.

Полученное расчетным путем ΔU не должно превышать допустимых значений ΔU для шинпровода, равных 1,5 – 1,8 %. Для распределительных шинпроводов равномерно распределенная нагрузка заменяется сосредоточенной и прикладывается в середине расчетного участка шинпровода. Выражение для определения ΔU шинпровода имеет следующий вид:

$$\Delta U = \frac{0,5 \cdot \sqrt{3} \cdot 10^2 \cdot I_p \cdot \ell_p}{U_H} (r_0 \cdot \cos\varphi + \sin\varphi)$$

Расчетная величина ΔU распределительного шинпровода сравнивается с допустимой ΔU доп = 2...2,5 %.

Электрические сети подъемно-транспортных устройств часто выполняются в виде троллейных линий из профильной стали или комплектными троллейными шинпроводами. Их расчет сводится к выбору размеров стальных уголков или троллейного комплектного моно шинпровода (ШМТ) по нагреву расчетным током и допустимой потере напряжения.

При выборе шинпровода по первому условию производится сравнение тридцатиминутной токовой нагрузки крановой установки I_{30} с допустимым током для определенного профиля угловой стали или шинпровода ШМТ. Значение I_{30} определяется из выражения

$$I_{30} = \frac{\sqrt{(P_{\text{потр}} \cdot k_{30})^2 + (P_{30} \cdot \operatorname{tg}\varphi)^2}}{\sqrt{3} \cdot U},$$

где $P_{\text{потр}}$ – потребляемая мощность крановой установки;

k_{30} – коэффициент спроса, определяемый по графикам.

Величина потребляемой мощности крановой установки

$$P_{\text{потр}} = \frac{P_H}{\eta},$$

где P_H – суммарная номинальная, приведенная к ПВ = 1 мощность электродвигателей крановой установки;

η – коэффициент полезного действия.

Выбранный шинопровод проверяется на допустимую потерю напряжения (для ШМТ) по формуле:

$$\Delta U = \sqrt{3}(R\cos\varphi + X\sin\varphi)I_{\text{пик}}L,$$

где L – длина расчетного участка троллея;

R и X – активное и реактивное сопротивление расчетного участка;

$I_{\text{пик}}$ – пиковый ток крановой установки.

Величина пикового тока

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск наиб}} + (I_{\text{м}} - I_{\text{н}}k_{\text{н}}),$$

где $I_{\text{пуск наиб}}$ – пусковой ток самого мощного двигателя крановой установки;

$I_{\text{м}}$ – максимальный расчетный ток, принимаемый равным $I/30$;

$I_{\text{н}}$ – номинальный, приведенный к ПВ = 1 ток самого мощного электродвигателя;

$k_{\text{н}}$ – коэффициент использования.

При расчете троллеев рекомендуется принимать значение $\cos\varphi = 0,45 \dots 0,5$ для кранов малой грузоподъемности с асинхронными короткозамкнутыми двигателями. Для кранов большой грузоподъемности значение $\cos\varphi = 0,6$ при использовании двигателей с фазным ротором.

Расчет осветительных электрических сетей ведется по двум условиям: допустимому нагреву током продолжительного режима и допустимой потере напряжения. Отклонение напряжения в осветительных сетях согласно не должно превышать $2,5 \dots 5\%$ номинального напряжения.

Расчетная мощность осветительных электроприемников

$$P_{\text{ро}} = k_{\text{со}} \cdot P_{\text{ро}} \cdot k_{\text{п}},$$

где $P_{\text{уо}}$ – суммарная установленная мощность ламп;

$k_{\text{со}}$ – коэффициент спроса осветительной нагрузки;

$k_{\text{п}}$ – коэффициент, учитывающий потери мощности в пускорегулирующих устройствах (ПРА).

Величина коэффициента спроса осветительной нагрузки принимается равной от 0,6 до 0,95 в зависимости от назначения производственных помещений, в которых используются осветительные приборы. Коэффициент $k_{п}$ может иметь значения, равные:

- 1,1 – для ламп ДРЛ, ДРИ, ДНАТ;
- 1,2 – для люминесцентных ламп при стартерной схеме включения;
- 1,3 – для люминесцентных ламп при бесстартерной схеме включения.

Расчетный ток групповой сети определяется по формулам: для трехфазных линий:

$$I_{po} = \frac{P_{po} \cdot 10^3}{3 \cdot U_{\phi} \cdot \cos\varphi};$$

для двухфазных линий с нулевым проводником

$$I_{po} = \frac{P_{po} \cdot 10^3}{2 \cdot U_{\phi} \cdot \cos\varphi};$$

для однофазных линий

$$I_{po} = \frac{P_{po} \cdot 10^3}{U_{\phi} \cdot \cos\varphi};$$

Рекомендуемые значения коэффициента активной мощности для люминесцентных ламп и питающих линий – 0,9...0,95; для ламп ДРЛ, ДРИ, ДНАТ – 0,5...0,6.

Нагрев проводников групповых осветительных сетей не превысит допустимого, если будет выполняться следующее расчетное условие:

$$I_{po} \leq I_{доп}.$$

Осветительная сеть, выбранная по условиям нагрева, проверяется на допустимую потерю напряжения, рассчитанную по формуле:

$$\Delta U_{д} = U_{xx} - U_{пит} - \Delta U_{т},$$

где U_{xx} – вторичное напряжение холостого хода трансформатора, принимаемое равным 105 %;

$U_{пит}$ – напряжение у самой удаленной лампы, принимаемое по нормам 95 % от номинального напряжения лампы;

ΔU_T – потери напряжения в трансформаторе.

$$\Delta U_T = \beta_T (U_a \cos \varphi + U_p \sin \varphi) + \frac{\beta_T}{200} (U_p \cos \varphi + U_a \sin \varphi)^2,$$

где β_T – коэффициент загрузки трансформатора;

U_a и U_p – активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания трансформатора;

$\cos \varphi$ – коэффициент активной мощности нагрузки трансформатора.

При использовании трансформаторов, для которых $S_n \leq 1000$ кВА, формула приобретает более простой вид:

$$\Delta U_T = \beta_T (U_a \cos \varphi + U_p \sin \varphi).$$

$$U_a = \frac{\Delta P_k}{S_n} \quad \text{и} \quad U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2},$$

где ΔP_k – потери короткого замыкания трансформатора;

S_n – номинальная мощность трансформатора.

Сечение проводов осветительных сетей определяется по формуле:

$$q = \frac{M}{C \Delta U_q},$$

где $M_{\text{прив}}$ – приведенный момент нагрузки.

Значение этого момента:

$$M_{\text{прив}} = \Sigma M + \Sigma \alpha \cdot m,$$

где ΣM – сумма моментов расчетного и всех последующих по направлению мощности участков с одинаковым числом проводов в линии;

$\Sigma \alpha \cdot m$ – сумма приведенных моментов участков с другим числом проводов в линии;

α – коэффициент приведения моментов, принимаемый по справочной литературе.

Сечение проводов, рассчитанное по формуле, округляется до ближайшего стандартного, с учетом которого по определяется действительная потеря напряжения на расчетном участке. Расчет

последующих участков с меньшим количеством проводов производится аналогично по остаточной потере напряжения:

$$\Delta U_{до} = \Delta U_{д} - \Delta U_{ф}.$$

Из двух расчетных условий основным становится то, при котором сечение проводов осветительной сети окажется большим.

Задание:

Задача №1

Два асинхронных электродвигателя, использующихся для привода вентиляторов, предполагается подключить к распределительному шкафу ШР-11. Выбрать номинальные токи их защитных аппаратов, встроенных в шкаф, сечение и марку проводов ответвлений к двигателю, определить способ и место их прокладки. Номинальные параметры двигателей: $P_{н1} = 11$ кВт; $U_{н} = 380$ В; $\eta = 87\%$; $\cos\varphi = 0,86$; $k_{пуск} = 7$; $P_{н2} = 15$ кВт; $\eta = 89\%$; $\cos\varphi = 0,88$; $k_{пуск} = 7$.

Задача №2

Асинхронный двигатель, используемый для привода производственного механизма повторно-кратковременного режима работы, предполагается подключить к распределительному шкафу ПР8501. Выбрать параметры защитного аппарата, встроенного в шкаф и предназначенного для защиты ответвления; сечение и марку проводов ответвления, и способ его прокладки в цехе.

Номинальные данные двигателя: $P_{н} = 7,5$ кВт; $U_{н} = 380$ В; $\eta = 87,5\%$; $\cos\varphi = 0,88$; $k_{пуск} = 7$; ПВ = 45 %.

Задача №3

Определить сечение проводников и способ прокладки линии, питающей распределительный шкаф ШР-11 от цеховой ТП. Расчетная токовая нагрузка присоединенных электроприемников к шкафу равна $I_p = 120,5$ А; $U_{н} = 380$ В. Линию предполагается подключить к сборным шинам

цеховой ТП через автоматический выключатель ВА51-33; $I_H = 160$ А; $I_{ср\bar{э}} = 1600$ А.

Задача №4

Группу электроприемников с расчетной нагрузкой в 15 кВА предполагается подключить к распределительному шинопроводу ШРА-4, $I_H = 250$ А, длина 75 м. Питание шинопровода будет осуществляться от цеховой ТП мощностью 1х630 кВА на напряжении 380 В.

Наибольший пусковой ток одного из присоединенных электродвигателей равен 195 А. Выбрать сечение, марку и место присоединения питающего кабеля к шинопроводу, а также параметры автоматического выключателя, установленного в начале питающей линии (на ТП).

Задача №5

Электроприемники механического цеха подключены к пяти распределительным шинопроводам ШРА-4 длиной по 30 м каждый. Шинопроводы установлены поперек цеха на расстоянии 10 м друг от друга. Расчетная токовая нагрузка для первых двух шинопроводов по 350 А, для третьего – 220 А, для четвертого и пятого – по 110 А. Коэффициент мощности для всех групп электроприемников $\cos\varphi = 0,8$.

Питание распределительных шинопроводов предполагается осуществить через силовые ящики (табл. П18) от магистрального шинопровода ШМА-4, проложенного вдоль цеха на высоте 5 м от пола и подключенного к цеховому трансформатору мощностью $S_H = 1600$ кВА автоматическим выключателем.

Самым мощным электроприемниками цеха является электродвигатель ($P_H = 22$ кВт, $U_H = 380$ В, $\eta = 90$ %, $\cos\varphi = 0,79$, $k_{пуск} = 6,5$). Выбрать тип магистрального шинопровода и головной автомат к нему; типы

распределительных шинопроводов и питающие их ответвления от ШМА. Проверить напряжение на выводах самого удаленного электродвигателя.

Задача №6

Выбрать троллеи из угловой стали для мостового крана, имеющего пять асинхронных электродвигателей с фазным ротором напряжением 380 В. Параметры двигателей при ПВ = 25 % приведены в табл. 3.1. Режим работы крана средний. Расчетная длина наиболее нагруженного плеча троллеев = 40 м от места подключения питающего ответвления. Расстояние между фазами троллеев составляет 250 мм, коэффициент мощности всех электродвигателей крана $\cos\varphi = 0,55$.

Таблица 3.1 – Параметры двигателя

Механизм крана	Паспортная мощность двигателей, кВт
Главный подъем	22
Вспомогательный подъем	11
Механизм передвижения моста	2x16
Механизм передвижения тележки	3,5
Всего	68,5

Задача №7

Выбрать троллейный шинопровод для мостового крана со средним режимом работы. На кране установлены асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, паспортные данные которых: подъем – 15 кВт, передвижение моста – 2x11 кВт, передвижение тележки – 2,2 кВт, ПВ = 30 %. Питание крана осуществляется на напряжении 380 В от цеховой ТП. Расчетная длина троллеев $\ell_{\text{расч}} = 50$ м.

Задача №8

Выбрать сечение проводов питающей линии длиной 25 м осветительной сети цеха на участке от РП до осветительного щитка(ЩО). Освещение предполагается выполнить лампами ДРЛ, суммарная установленная мощность которых $P_n = 15$ кВт. Допустимая потеря напряжения $\Delta U_{\text{доп}} = 2,5$ %.

Контрольные вопросы:

1. Элементы, входящие в системы внешнего электроснабжения, их назначение.
2. Виды схем внутризаводской сети СЭС, их преимущества и недостатки.
3. В чем заключается особенность использования схем глубокого ввода ГПП промышленных предприятий.
4. Основные характеристики СЭС при наличии заводских блок-станций.
5. Определения местоположения ГПП предприятия.
6. Построение внутрицеховых СЭС.
7. Основные виды внутрицеховых сетей. Классификация цеховых сетей напряжением до 1 кВ по конструктивным признакам.
8. Электропомещения и их классификация.
9. Особо опасные помещения и требования к электроустановкам, размещенным в них.
10. Какие помещения относят к влажным помещениям, и какие к жарким.
11. Блок «трансформатор-магистраль» и его использование. Распределительные шинопроводы и распределительные пункты.
12. Назначение, характеристики КРУ напряжением до 1000 В.

Список литературы:

Перечень основной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения объектов : учебное пособие / Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 357 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-3979-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=469117>

2. Данилов, М.И. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) : учебное пособие / М.И. Данилов, И.Г. Романенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет». - Ставрополь : СКФУ, 2015. - 223 с. : ил. - Библиогр. в кн. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457214>

Перечень дополнительной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения промышленных и гражданских зданий : учебник / Ю.Д. Сибикин. - 6-е изд., перераб. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. - 508 с. : схем., табл., ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-8608-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=459494>

Практическая работа №5

Тема: Питающая и распределительная сеть 6 – 10 кВ предприятий

Цель: Изучить основные схемы питающих и распределительных сетей 6 – 10 кВ предприятия

Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы:

Обучающийся должен:

знать:

– питающие и распределительные сети 6 – 10 кВ промышленного предприятия;

уметь:

– рассчитывать распределительные сети 6 – 10 кВ промышленного предприятия.

Актуальность темы:

Заключается в необходимости изучения основных схем питающих и распределительных сетей 6-10 кВ.

Теоретическая часть:

Передача и распределение электроэнергии на напряжении 6 – 10 кВ осуществляется в тех случаях, когда предприятия расположены недалеко (1 – 3 км) от источника питания и имеют сравнительно небольшие электрические нагрузки.

Система электроснабжения на напряжении 6 – 10 кВ таких предприятий включает в себя несколько составных элементов: питающую сеть 6 – 10 кВ, распределительный пункт и распределительную сеть того же напряжения с присоединенными к ней цеховыми трансформаторами.

Вся сеть напряжением 6 – 10 кВ таких предприятий выполняется, как правило, кабелями. Их пропускная способность определяется несколькими

расчетными критериями в зависимости от используемых схемных решений: экономической плотностью тока, нагревом тока нагрузки продолжительного, послеаварийного режимов и термической устойчивостью тока аварийного режима.

Сечение жил кабеля по экономической плотности тока определяется по выражению

$$F_{\text{э}} = \frac{I_p}{j_{\text{э}}},$$

где I_p – расчетный ток линии в продолжительном режиме работы;

$j_{\text{э}}$ – экономическая плотность тока, принимаемая в зависимости от числа часов использования максимальной нагрузки, рода изоляции и материала проводника. По справочной литературе принимается ближайшее стандартное сечение и указывается допустимая токовая нагрузка.

Ток продолжительного режима работы линии

$$I_{\text{н}} \geq I_p,$$

где $I_{\text{н}}$ – номинальный ток кабеля, принимаемый по табл. П20 и корректируемый с учетом условий прокладки соответствующими коэффициентами.

Послеаварийный режим может возникнуть в тех случаях, когда одна из линий, питающих электроустановку, отключается (при КЗ или ремонте), а оставшаяся в работе несет удвоенную нагрузку. Сечение жил кабеля для такого режима определяется по условию

$$F_{\text{ту}} = \frac{\sqrt{B_{\text{к}}}}{C},$$

где $B_{\text{к}}$ – тепловой импульс от тока короткого замыкания;

C – расчетный коэффициент.

Величина теплового импульса

$$B_{\text{к}} = I_{\infty}^2 (t_{\text{откл}} + T_{\text{а}}),$$

где I_{∞} – действующее значение установившегося тока КЗ в начале линии;

$t_{\text{откл}}$ – время отключения КЗ;

T_a – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ, определяемая по выражению

$$T_a = \frac{x_{\Sigma}}{\omega \cdot r_{\Sigma}},$$

где x_{Σ} и r_{Σ} – результирующие индуктивное и активное сопротивления короткозамкнутой цепи;

ω – угловая частота.

Из перечисленных критериев определяющим в конкретных условиях становится тот, который обуславливает наибольшее сечение жил кабеля.

Задание:

Задача №1

Определить сечение радиальных кабельных линий, проложенных в земляной траншее и питающих двухсекционный РП напряжением 10 кВ. Расчетная нагрузка присоединенных потребителей $S_p = 8,5$ МВ·А. Время использования максимальной нагрузки $T_m = 4000$ ч, установившийся ток КЗ на шинах источника питания $I_{\infty} = 9$ кА, $T_a = 0,01$ с.

Задача №2

Две двухтрансформаторные ТП подключены к двойной сквозной магистрали. Номинальная мощность и коэффициент загрузки трансформаторов $S_n = 1000$ кВ·А, $k_3 = 0,7$. Ток короткого замыкания на шинах РП напряжением 10 кВ, куда подключены магистрали, $I_{\infty} = 5,8$ кА, $T_a = 0,01$ с, $T_m = 3500$ ч. Выбрать кабели магистралей с учетом потерь в трансформаторах ТП.

Задача №3

Выбрать кабели радиальных линий напряжением 10 кВ, питающих двухтрансформаторную ТП мощностью 2x1600 кВ·А и коэффициентом

загрузки $k_3 = 0,7$. Ток КЗ на шинах РП, куда подключены линии, $I_\infty = 6$ кА, $T_a = 0,01$ с, $T_m = 3000$ ч. Кабели будут проложены в земляной траншее.

Задача №4

Определить сечение кабельной линии напряжением 10 кВ, питающей по схеме одиночной магистрали три одотрансформаторные ТП с трансформаторами $S_H = 630$ кВ·А, $k_3 = 0,85$. Ток КЗ на шинах РП, куда присоединена магистраль, для двух вариантов: а) $I_\infty = 12$ кА, б) $I_\infty = 5,5$ кА. Для обоих вариантов $T_a = 0,01$ с, $T_m = 3000$ ч.

Контрольные вопросы:

1. Перечислить требования, предъявляемые к распределительным сетям на предприятии.

2. Какие существуют схемы питания промышленных предприятий? Приведите примеры.

3. Для чего секционируют системы шин?

4. Перечислить типы цеховых трансформаторных подстанций.

5. Указать особенности распределения электроэнергии внутри цеха на напряжении до 1000 В.

Список литературы:

Перечень основной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения объектов : учебное пособие / Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 357 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-3979-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=469117>

2. Данилов, М.И. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) : учебное пособие / М.И. Данилов, И.Г. Романенко ; Министерство образования и науки

Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет». - Ставрополь : СКФУ, 2015. - 223 с. : ил. - Библиогр. в кн. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457214>

Перечень дополнительной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения промышленных и гражданских зданий : учебник / Ю.Д. Сибикин. - 6-е изд., перераб. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. - 508 с. : схем., табл., ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-8608-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=459494>

Практическая работа №6

Тема: Силовые трансформаторы подстанций

Цель: Познакомиться с конструкцией силовых трансформаторов и их выбором на подстанцию

Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы:

Обучающийся должен:

знать:

– конструкцию силовых трансформаторов;

уметь:

– рассчитывать силовые трансформаторы и производить выбор на подстанцию.

Актуальность темы:

Заключается в необходимости расчета и выбора силовых трансформаторов

Теоретическая часть:

Основным и наиболее дорогостоящим элементом любой системы электроснабжения предприятия являются силовые трансформаторы цеховых и главных понижающих подстанций. Эффективное использование суммарной трансформаторной мощности на предприятии позволяет проектировать наиболее экономичную систему его электроснабжения.

Экономичность принимаемых технических решений при выборе мощности трансформаторов и их количества определяется в результате сравнения приведенных затрат, например, двух вариантов (не учитывая влияния компенсации реактивной мощности на выбор трансформаторов, величины приведенных затрат для каждого варианта):

$$Z_{T1} = EK_{T1} + \left[\Delta P_{xx1} + \left(\frac{S}{S_{H1}} \right)^2 \cdot \Delta P_{H1} \right] \cdot C_0,$$

$$Z_{T2} = EK_{T2} + \left[\Delta P_{xx2} + \left(\frac{S}{S_{H2}} \right)^2 \cdot \Delta P_{H2} \right] \cdot C_0,$$

где K_{T1} и K_{T2} – капитальные затраты по трансформаторам;

S и S_H – средняя нагрузка и номинальная мощность трансформаторов;

ΔP_{xx} и ΔP_H – потери активной мощности в трансформаторе при холостом ходе и при номинальной нагрузке;

C_0 – удельная стоимость активных потерь.

Можно также воспользоваться разницей приведенных затрат сравниваемых вариантов:

$$\Delta Z_T = Z_{T2} - Z_{T1} = E \Delta K_T + \left[\Delta P_{xx} + \left(\frac{S}{S_{H1}} \right)^2 \cdot \Delta P_H \right] \cdot C_0,$$

где $\Delta K_T = K_{T2} - K_{T1}$; $\Delta P_{xx} = \Delta P_{xx2} - \Delta P_{xx1}$; $\Delta P_H = \frac{\Delta P_{H2}}{K_2} - \Delta P_H$; $K = \frac{S_{H2}}{S_{H1}}$; $E = P_H + \frac{\Delta Z}{\Delta K}$ – коэффициент дополнительных капитальных вложений.

Выбор количества и мощности трансформаторов цеховых ТП определяется рядом общих положений (величина нагрузки, распределение электроприемников по площади цеха, режим их работы); а также местными условиями (условия окружающей среды, наличие свободного места установки подстанции), в которых трансформатор будет работать.

Поскольку в этих случаях сравниваются в основном трансформаторы мощностью 630, 1000, 1600 и 2500 кВ·А, то при удельных плотностях нагрузок на единицу производственной площади $S_{уд} < 0,2$ кВ·А/м², $S_{уд} = 0,2 \dots 0,3$ кВ·А/м² и $S_{уд} > 0,3$ кВ·А/м² рекомендуется использовать трансформаторы номинальной мощностью 630...1000 кВ·А, 1600 кВ·А и 2500 кВ·А соответственно (табл. П21). Состав электроприемников конкретных цехов с учетом категории надежности их электроснабжения регламентирует целесообразность использования одно- или двухтрансформаторных ТП. При выборе трансформаторов на главных

понижительных подстанциях, от которых предполагается электроснабжение предприятий, следует учитывать то обстоятельство, что своих проектных мощностей предприятия достигают по прошествии нескольких лет работы. Поэтому с учетом реальных нагрузок и динамики их роста следует выбирать такие мощности трансформаторов, чтобы спустя 10 – 15 лет работы их можно было заменить на более мощные, а существующие передать в эксплуатацию другим потребителям.

При проектировании и эксплуатации подстанций необходимо предусматривать экономически целесообразный режим работы трансформаторов. Сущность его состоит в том, что при наличии нескольких трансформаторов, работающих на общие шины, количество включенных трансформаторов определяется условием минимума приведенных потерь мощности. Приведенные потери включают в себя потери активной мощности в самих трансформаторах, а также потери в элементах системы электроснабжения по всей цепи питания от источников до рассматриваемого трансформатора при передаче к нему реактивной мощности, т.е.

$$\Delta P'_T = \Delta P'_{XX} + k_3^2 \Delta P'_{K3},$$

где $\Delta P'_{XX} = \Delta P_{XX} + k_{ип} \Delta Q_{XX}$, - приведенные потери холостого хода трансформаторов;

$$\Delta P'_{K3} = \Delta P_{K3} + k_{ип} \Delta Q_{K3} - \text{приведенные потери нагрузочные};$$

k_3 – коэффициент нагрузки;

$k_{ип}$ – коэффициент изменения потерь, который задается энергосистемой в пределах 0,02-0,05;

$$\Delta Q_{XX} = \frac{I_{XX}\%}{100} S_{HT} - \text{реактивная мощность холостого хода трансформатора};$$

$\Delta Q_{K3} = \frac{I_K\%}{100} S_{HT}$ – реактивная мощность трансформатора при номинальной нагрузке.

$$\Delta P'_T = \Delta P'_{XX} + \frac{\Delta P_{K3}}{S_{HT}^2} \cdot S^2,$$

где S – значение нагрузки трансформатора.

Полученное уравнение представляет собой параболу. Для количества работающих трансформаторов одинаковой мощности n и $n - 1$ при неизменной нагрузке подстанции обе параболы, представленные графически, будут иметь общую точку пересечения, в которой справедливо равенство

Задание:

Задача №1

Определить количество и мощность цеховых трансформаторов для двух вариантов. Сравнить экономические показатели вариантов с учетом затрат на установку БНК-0,38 кВ (табл. П22). В цехе имеются электроприемники всех категорий по надежности электроснабжения.

Вариант а. Расчетные нагрузки цеха $P_p = 4300$ кВт, $Q_p = 5000$ кВар, $S_{уд} = 0,3$ кВА/м². Компенсация реактивной мощности в сети 0,38 кВ отсутствует.

Вариант б. Исходные расчетные данные те же, но в цеховой сети установлены БНК-0,38 кВ суммарной мощностью $Q_{ок} = 2000$ кВар.

Задача №2

Группа из трех цехов предприятия имеет потребителей II и III категорий. Расчетные нагрузки цехов:

$$P_{p1} = 2500 \text{ кВт}, P_{p2} = 1800 \text{ кВт}, P_{p3} = 2000 \text{ кВт},$$
$$Q_{p1} = 2000 \text{ кВар}, Q_{p2} = 1900 \text{ кВар}, Q_{p3} = 2100 \text{ кВар}$$

Расстояние между цехами 50 м.

Определить количество и мощность цеховых трансформаторов, предусмотрев для потребителей II категории двухтрансформаторные ТП (вариант а). Для варианта б предусматриваются однотрансформаторные ТП с резервированием в 20 % по вторичному напряжению между цехами. Дать экономическое сравнение вариантов.

Задача №3

Группа из четырех промышленных объектов имеет потребителей I, II и III категорий. Расчетные нагрузки каждого объекта:

$$P_{p1} = 3000 \text{ кВт}, P_{p2} = 3500 \text{ кВт}, P_{p3} = 2500 \text{ кВт}, P_{p4} = 5000 \text{ кВт},$$
$$Q_{p1} = 2800 \text{ кВар}, Q_{p2} = 3200 \text{ кВар}, Q_{p3} = 3000 \text{ кВар}, Q_{p4} = 4500 \text{ кВар}.$$

Ближайший энергообъект (ТЭЦ) находится на расстоянии 6 км. Определить количество и мощность силовых трансформаторов подстанции, от которой предполагается питать промышленные объекты. Коэффициент разновременности максимумов нагрузки $k_{рм} = 0,81$.

Задача №4

Определить количество и мощность трансформаторов на подстанции глубокого ввода 110/10 кВ, от которой предполагается осуществить электроснабжение машиностроительного завода. Максимальная суточная нагрузка завода в течение двух часов $S_m = 23 \text{ МВ}\cdot\text{А}$.

Коэффициент заполнения графика $k_{зг} = 0,7$. Нагрузка потребителей I категории составляет $S_p = 4 \text{ МВ}\cdot\text{А}$.

Контрольные вопросы:

1. Сформулируйте общие положения по выбору числа трансформаторов на подстанции.
2. По каким критериям выбирается мощность трансформаторов?
3. Как производится проверка трансформатора с учётом его перегрузочной способности?
4. Укажите порядок расчёта ТП.
5. Чем обусловлен существующий ряд мощностей трансформаторов?

Список литературы:

Перечень основной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения объектов : учебное пособие / Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 357 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-3979-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=469117>

2. Данилов, М.И. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) : учебное пособие / М.И. Данилов, И.Г. Романенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет». - Ставрополь : СКФУ, 2015. - 223 с. : ил. - Библиогр. в кн. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457214>

Перечень дополнительной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения промышленных и гражданских зданий : учебник / Ю.Д. Сибикин. - 6-е изд., перераб. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. - 508 с. : схем., табл., ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-8608-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=459494>

Практическая работа №7

Тема: Потери мощности и энергии в элементах системы электроснабжения

Цель: Изучить расчет потерь мощности в системах электроснабжения промышленного предприятия

Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы:

Обучающийся должен:

знать:

– потери мощности и энергии в элементах системы электроснабжения.

уметь:

– определять потери активной и реактивной мощности.

Актуальность темы:

Заключается в необходимости расчета потерь мощности и энергии.

Теоретическая часть:

Работа таких элементов системы электроснабжения, как линии электропередачи, силовые трансформаторы, токоограничивающие реакторы, сопровождается потерями мощности и энергии.

зависимости от исходных данных их можно определить для линий электропередач:

– по среднеквадратичному току $I_{ск}$,

– по максимальному току I_m .

Среднеквадратичный ток оценивается выражением

$$I_{ск} = k_{\phi} I_{cp}.$$

Среднее значение тока при известном расходе активной электроэнергии за время T_d

$$I_{\text{ср}} = \frac{\mathcal{E}_a}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{H}} \cos \varphi_{\text{св}} \cdot T_d},$$

где T_d – время действительной работы линии;

\mathcal{E}_a – расход активной энергии за время T_d ;

$\cos \varphi_{\text{св}}$ – средневзвешенное значение коэффициента активной мощности.

Коэффициент формы графика $k_{\text{ф}} = 1,05 \dots 1,1$ для электроприемников продолжительного режима работы при $n > 2$ и электроприемников повторно-кратковременного режима работы при $n > 20$. Для электроприемников повторно-кратковременного режима работы при $n < 20$

$$k_{\text{ф}} = \sqrt{1 + \frac{1 - \text{ПВ}}{n_{\text{э}} \cdot \text{ПВ}}}$$

где ПВ – продолжительность включения электроприемников;

$n_{\text{э}}$ – эффективное число электроприемников.

Потери активной мощности и энергии в линии:

$$\Delta P = 3I_{\text{СК}}^2 R_{\text{л}} 10^{-3};$$

$$\Delta \mathcal{E}_a = \Delta P \cdot T_d.$$

Потери реактивной мощности:

$$\Delta Q = 3I_{\text{СК}}^2 x_{\text{л}} 10^{-3};$$

$$\Delta \mathcal{E}_p = \Delta Q \cdot T_d,$$

где $R_{\text{л}}$ и $x_{\text{л}}$ – активное и индуктивное сопротивления линии.

При известном расходе активной энергии за определенное время (сутки, год), а также известной величине максимальной активной нагрузки $P_{\text{м}}$ можно найти время $T_{\text{м}}$, в течение которого линия, работая с неизменной максимальной нагрузкой, передает эту энергию потребителю:

$$T_{\text{м}} = \frac{\mathcal{E}_a}{P_{\text{м}}}.$$

По известным значениям \mathcal{E}_a и $T_{\text{м}}$ определяется максимальный ток за рассматриваемый период времени:

$$I_M = \frac{\mathcal{E}_a}{\sqrt{3} \cdot U_H \cos \varphi_{CB} T_M}$$

Потери активной и реактивной мощности в линиях:

$$\Delta P_L = 3I_M^2 R_L 10^{-3};$$

$$\Delta Q_L = I_M^2 x_L 10^{-3},$$

Для определения потерь энергии в этом случае учитывается время максимальных потерь τ . Его значение находится по графикам зависимости $\tau = f(T_M, \cos \varphi)$. При отсутствии графиков для определения τ можно воспользоваться приближенным выражением:

$$\tau = (0,124 + \frac{T_M}{10^4})^2 \cdot 8760.$$

Потери активной и реактивной энергии в линиях:

$$\mathcal{E}_a = \Delta P \cdot \tau;$$

$$\mathcal{E}_p = \Delta Q \cdot \tau.$$

В трансформаторах потери мощности и энергии определяются по их каталожным данным, если известна фактическая нагрузка S .

Суммарные активные и реактивные потери мощности:

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + \left(\frac{S}{S_{HT}}\right)^2 \cdot \Delta P_{кз};$$

$$\Delta Q_T = \frac{S_{HT}}{100} [i_{xx} + \left(\frac{S}{S_{HT}}\right)^2 \cdot U_K]$$

Потери энергии:

$$\Delta \mathcal{E}_{PT} = \frac{S_{HT}}{100} [i_{xx} \cdot T_B + U_K \left(\frac{S}{S_{HT}}\right)^2 \cdot \tau],$$

$$\Delta \mathcal{E}_{AT} = \Delta P_{xx} T_B + \Delta P_{кз} \left(\frac{S}{S_{HT}}\right)^2 \cdot \tau;$$

где T_B – время включения трансформатора.

В токоограничивающих реакторах потери активной и реактивной мощности:

$$\Delta P_p = 3\Delta P_{H\Phi} \left(\frac{I}{I_H}\right)^2;$$

$$\Delta Q_p = 3\Delta Q_{\text{нф}} \left(\frac{I}{I_H}\right)^2$$

где $\Delta P_{\text{нф}}$ и $\Delta Q_{\text{нф}}$ – потери активной и реактивной мощности в одной фазной обмотке реактора при номинальном токе [9];

I – фактическая токовая нагрузка фазной обмотки реактора.

Потери активной и реактивной энергии в трехфазном реакторе:

$$\Delta \mathcal{E}_a = \Delta P_p \cdot T_B,$$

$$\Delta \mathcal{E}_p = \Delta Q_p \cdot \tau.$$

Задание:

Задача №1

Цеховая ТП с трансформаторами 2x1600 кВА подключена двумя радиальными линиями ($l = 0,8$ км), выполненными кабелем ААБ-10(3x70). Годовой расход электроэнергии электроприемника-ми цеха $\mathcal{E}_{\text{ар}} = 9000 \cdot 10^3$ кВт·ч при $\cos\varphi = 0,87$. Время действительной работы линии $T_{\text{д}} = 5500$ ч. Определить потери активной и реактивной мощности и энергии в линиях.

Задача №2

Определить годовые потери активной и реактивной электроэнергии в трансформаторе $S_{\text{н}} = 1000$ кВА с коэффициентами загрузки $k_3 = 0,85$. Число часов использования максимальной нагрузки $T_{\text{м}} = 3500$ ч, $\cos\varphi = 0,8$.

Задача №3

Двухсекционный РП питается радиальными линиями, $l=1,5$ км, выполненными кабелем ААШвУ-10(3x185). Годовой расход электроэнергии присоединенных потребителей $40000 \cdot 10^3$ кВт·ч. при $\cos\varphi = 0,88$. Время действительной работы линий $T_{\text{д}} = 7500$ ч. Определить потери активной и реактивной мощности в линиях.

Задача №4

Определить годовые потери активной энергии в трехфазном реакторе РБА-10-630-0,56УЗ, максимальная токовая нагрузка которого $I_{\text{макс}} = 520 \text{ А}$, потери в фазной обмотке при номинальном токе кВт. $\Delta P_{\text{нф}}=4.6 \text{ кВт}$

Контрольные вопросы:

1. Потери электроэнергии в трансформаторах, причины и способы их снижения.
2. Потери электроэнергии в линии и пути их снижения.

Список литературы:

Перечень основной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения объектов : учебное пособие / Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 357 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-3979-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=469117>
2. Данилов, М.И. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) : учебное пособие / М.И. Данилов, И.Г. Романенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет». - Ставрополь : СКФУ, 2015. - 223 с. : ил. - Библиогр. в кн. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457214>

Перечень дополнительной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения промышленных и гражданских зданий : учебник / Ю.Д. Сибикин. - 6-е изд., перераб. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. - 508 с. : схем., табл., ил. -

Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-8608-9 ; То же [Электронный ресурс]. -
URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=459494>

Практическая работа №8

Тема: Компенсация реактивной мощности

Цель: Изучить основные компенсирующие устройства реактивной мощности

Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы:

Обучающийся должен:

знать:

– основные типы компенсирующих устройств.

уметь:

– рассчитывать реактивную мощность.

Актуальность темы:

Заключается в необходимости расчета и выбора компенсирующих устройств реактивной мощности.

Теоретическая часть:

Экономическое значение реактивной мощности (РМ), потребляемой из энергосистемы в часы больших нагрузок ее сети, определяется с учетом суммарных расчетных нагрузок (активной и реактивной) потребителя [10]:

$$\Delta \mathcal{E}_3 = \overline{P}_p \cdot tg \varphi_3.$$

Математическое ожидание расчетных нагрузок потребителя

$$\overline{P}_p = P_p \cdot k_0, \quad \overline{Q}_p = \Delta Q_p \cdot k_0,$$

где k_0 – коэффициент приведения расчетных нагрузок, равный 0,9.

Нормативное значение коэффициента $tg \varphi_{эн}$, которым пользуется энергоснабжающей организации, определяется по выражению

$$tg \varphi_{эн} = \frac{240}{\alpha \cdot d_{\max} + 50b} tg \varphi_B \cdot k_1,$$

где $d_{\text{макс}}$ – отношение потребления энергии в квартале максимума нагрузки энергосистемы к потреблению ее в квартале максимума нагрузки предприятия; при отсутствии необходимых данных $d_{\text{макс}} = 1$;

a – основная ставка тарифа на активную мощность, руб./кВт·год);

b – дополнительная ставка тарифа на активную энергию, руб./кВт·ч;

$\text{tg}\varphi_{\text{Б}}$ – базовый коэффициент реактивной мощности, принимаемый равным 0,25; 0,3; 0,4 для сетей 6 – 20 кВ, присоединенных к шинам подстанции с высшим напряжением 35, 110 и 220 – 330 кВ соответственно;

k_1 – коэффициент удорожания конденсаторов, принимаемый равным кратности повышения тарифа на электроэнергию:

$$k_1 = k_w = \frac{\alpha \cdot k_{w1} + b \cdot k_{w2} \cdot 10^{-2} \cdot T_M}{\alpha + b \cdot T_M \cdot 10^{-2}},$$

где T_M – число часов использования максимальной нагрузки, определяемое характером и сменностью работы потребителя в год, ч:

для односменных предприятий – 1800 – 2500;

для двухсменных предприятий – 3500 – 4500;

для трехсменных предприятий – 5000 – 7000.

k_{w1} и k_{w2} – коэффициент увеличения основной и дополнительной ставок тарифа на электроэнергию (определяются делением действующих ставок тарифа на 60 и $1,8 \cdot 10^{-2}$) соответственно. Если в результате расчета окажется, что $\text{tg}\varphi_{\text{ЭН}} > 0,6$, то его значение принимается равным 0,6. Такое же значение $\text{tg}\varphi_{\text{ЭН}}$ принимается и для шин генераторного напряжения 6 – 20 кВ.

Выбор средств компенсации РМ осуществляется в два расчетных этапа:
при потреблении РМ из энергосистемы в пределах экономического ее значения $Q_{\text{э}}$;

при потреблении РМ из энергосистемы, превышающем экономическое значение $Q_{\text{п}}$.

На первом этапе определяется мощность батарей низковольтных конденсаторов (БНК), устанавливаемых в сетях до 1 кВ по критерию выбора минимального числа цеховых трансформаторов.

Для каждой группы цеховых трансформаторов одинаковой мощности определяется минимальное их количество по выражению

$$N_{T_{\text{мин}}} = \frac{P_{\text{рн}}}{\beta_T \cdot S_{\text{ТН}}},$$

где $P_{\text{рн}}$ – суммарная расчетная активная нагрузка напряжением до 1 кВ данной группы цеховых трансформаторов;

β_T – коэффициент загрузки трансформаторов, зависящий от категории потребителей по надежности электроснабжения;

$S_{\text{ТН}}$ – номинальная единичная мощность цехового трансформатора, зависящая от удельной плотности нагрузки на единицу производственной площади [7].

Полученное значение округляется до ближайшего большего целого числа.

Наибольшая РМ, которую можно передать в сеть до 1 кВ при заданном β_T , определяется:

для трансформаторов, заполненных маслом или негорючей жидкостью:

$$Q_T = \sqrt{(1,1\beta_T S_{\text{ТН}} N_{T_{\text{мин}}})^2 - P_{\text{рн}}^2},$$

для сухих трансформаторов

$$Q_T = \sqrt{(1,05\beta_T S_{\text{ТН}} N_{T_{\text{мин}}})^2 - P_{\text{рн}}^2}.$$

Мощность низковольтных конденсаторов

$$Q_{\text{нк1}} = Q_{\text{рн}} = Q_T,$$

где $Q_{\text{рн}}$ – суммарная расчетная реактивная нагрузка до 1 кВ рассматриваемой группы цеховых трансформаторов. При условии, что $Q_{\text{нк1}} < 0$, БНК в сети до 1 кВ не устанавливаются.

В зависимости от номинальной мощности и частоты вращения синхронные электродвигатели рассматриваются индивидуально в целях использования их реактивной мощности для компенсации.

Располагаемая реактивная мощность синхронных двигателей, у которых $P_{нд} > 2500$ кВт или $n > 1000 \frac{1}{\text{мин}}$, используется для компенсации реактивной мощности у потребителей:

$$Q_{д1} = \sum (Q_{др} - Q_{дн}) \cong \sum 0,2 \cdot Q_{дн}.$$

Участие в компенсации реактивной мощности синхронных двигателей, у которых $P_{нд} \leq 2500$ кВт или $n \leq 1000 \frac{1}{\text{мин}}$, целесообразно только при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Для этого определяется соотношение

$$R = \frac{C_{Qэ}}{C_{рг}}.$$

Удельная стоимость потребления реактивной мощности и энергии из энергосистемы, не превышающего экономического значения

для потребителей, имеющих приборы учета $Q_{\text{макс}}$:

$$C_{Qэ} = (C_1 + d_1 T_{M_{Qэ}} \cdot 10^{-2}) \cdot 1,6 \cdot K_1,$$

где C_1 – плата за 1 квар потребленной реактивной мощности, $C_1 = 1,2$ руб./квар·год;

d_1 – плата за 1 квар·ч потребленной реактивной энергии, $d_1 = 0,03$ коп./квар·ч;

$T_{M_{Qэ}}$ – годовое число часов использования максимальной реактивной мощности при потреблении из энергосистемы $Q_э$.

Значение $T_{M_{Qэ}}$ определяется в зависимости от соотношения ψ и K_M по выражениям:

$$\text{при } \psi \leq K_M T_{M_{Qэ}} = \frac{T_{\Gamma}(K_M - 2\psi + 1)}{2(1 - \psi)};$$

$$\text{при } \psi < K_M T_{M_{Qэ}} = \frac{T_{\Gamma}(1 - \psi)}{2(1 - K_M)}$$

где ψ – степень компенсации, величина которой может быть принята равной 0,7; 0,6; 0,5; 0,25 для ГПП с первичным напряжением 35, 110, 220, 500

кВ соответственно и при потреблении из энергосистемы $Q_{\text{Э}}$, при питании от шин генераторного напряжения $\psi = 0,25$;

K_M – отношение натуральной минимальной нагрузки к натуральной максимальной нагрузке, принимаемое для 1-, 2-, 3-сменной и непрерывной работы равным 0,9; 0,8; 0,7; 0,8 соответственно;

T_{Γ} – годовой фонд рабочего времени; для 1-, 2-, 3-сменной и непрерывной работы принимается 2000, 4000, 6000, 8500 ч соответственно.

Удельная стоимость потерь активной мощности в синхронных двигателях и конденсаторах при генерировании ими реактивной мощности:

$$C_{\text{рг}} = \alpha \cdot K_{W1} + b \cdot T_{\Gamma} \cdot 10^{-2} \cdot K_{W2}.$$

После определения величины соотношения R по табл. П23 находится коэффициент α . Суммарная реактивная мощность от синхронных двигателей номинальной мощностью $P_{\text{нд}} \leq 2500$ кВт и скорости

$$n \leq 1000 \frac{1}{\text{мин}}:$$

$$Q_{\text{д2}} = \sum \alpha \cdot Q_{\text{дн}}.$$

Реактивная мощность от синхронных двигателей, которую экономически целесообразно использовать для компенсации при одновременном потреблении из энергосистемы $Q_{\text{Э}}$, определяется по формуле

$$Q'_{\text{д}} = Q_{\text{д1}} + Q_{\text{д2}}.$$

После определения $Q_{\text{д1}}, Q_{\text{нк}}, Q'_{\text{д}}$ составляется баланс реактивной мощности на границе балансового разграничения с энергосистемой:

$$\Delta Q' = \overline{Q_p} - Q_{\text{нк1}} - Q'_{\text{д}} - Q_{\text{Э}}.$$

Если $\Delta Q' < 0$, то рекомендуется уменьшить значение $Q_{\text{Э}}$ до обеспечения условия $\Delta Q' = 0$. При $\Delta Q' > 0$ рассматривается возможность получения дополнительной реактивной мощности от следующих источников:

1) синхронных двигателей мощностью до 2500 кВт и $n \leq 1000 \frac{1}{\text{мин}}$, если располагаемая мощность этих двигателей не используется полностью при потреблении из энергосистемы экономического значения $Q_{\text{Э}}$;

- 2) БНК, дополнительно устанавливаемых сверх $Q_{\text{НК}}$;
- 3) БВК, устанавливаемых в узлах нагрузки 6 – 10 кВ;
- 4) энергосистемы, величина которой превышает экономическое значение $Q_{\text{п}} = \Delta Q'$.

Целесообразность более полного использования реактивной мощности от синхронных двигателей мощностью 2500 кВт и $n \leq 1000 \frac{1}{\text{мин}}$ определяется по табл. П23 с учетом следующих положений.

Для предприятий с 1-, 2-, 3-сменной работой затраты на генерирование реактивной мощности синхронными двигателями сопоставляются с затратами на потребление реактивной мощности из энергосистемы, превышающее экономическое ее значение, и на генерирование реактивной мощности установками БНК. При этом используются следующие соотношения:

$$R = \frac{C_{Q_{\text{п}}}}{C_{\text{рг}}} \text{ и } R = \frac{Z_{\text{НК}}}{C_{\text{рг}}}.$$

Для предприятий с непрерывным режимом работы затраты на генерирование реактивной мощности синхронными двигателями сопоставляются с затратами на потребление реактивной мощности из энергосистемы, превышающее экономическое значение, и на генерирование реактивной мощности установками БВК. Соответствующие этому соотношения:

$$R = \frac{C_{Q_{\text{п}}}}{C_{\text{рг}}} \text{ и } R = \frac{Z_{\text{ВК}}}{C_{\text{рг}}}.$$

В указанных соотношениях $C_{Q_{\text{п}}}$ – удельная стоимость потребления реактивной мощности и энергии из энергосистемы $Q_{\text{п}}$, превышающее экономическое значение;

$Z_{\text{НК}}$ и $Z_{\text{ВК}}$ – удельные затраты на компенсацию реактивной мощности установками БНК и БВК, руб./квар.

Удельная величина $C_{Q_{\text{п}}}$ для потребителей, имеющих приборы учета максимальной реактивной мощности:

$$C_{Q_{\Pi}} = \left(C_2 + d_2 T_{M_{Q_{\Pi}}} \cdot 10^{-2} \right) \cdot \frac{2K_1 K_w}{1 + K_1},$$

где C_2 – плата за 1 квар потребленной из энергосистемы реактивной мощности, превышающей экономическое значение, $C_2 = 3,6$ руб./квар·год);

d_2 – плата за 1 квар·ч реактивной энергии для потребителей, имеющих приборы учета Q_{\max} , $d_2 = 0,09$ коп./квар·ч);

$T_{M_{Q_{\Pi}}}$ - годовое число часов использования максимальной реактивной мощности при ее потреблении из энергосистемы, превышающем экономическое значение. Величина определяется по формулам (7.12) и (7.13) при значениях ψ

$$\psi = 1 - \frac{Q_{\Pi}}{Q_p},$$

где Q_{Π} – потребление из энергосистемы реактивной мощности, превышающее экономическое значение.

Удельные затраты на компенсацию реактивной мощности конденсаторными установками БНК и БВК:

$$Z_{\text{НК}} = 0,22C_{\text{НК}} + Z_{\text{рнк}},$$

$$Z_{\text{ВК}} = 0,22(C_{\text{ВК}} + C_{\text{В}}) + Z_{\text{рвк}},$$

где $C_{\text{НК}}$, $C_{\text{ВК}}$, $C_{\text{В}}$ – удельная стоимость батарей БНК, БВК и выключателя 6 – 10 кВ. Их значения можно принять:

$$C_{\text{НК}} = 7,5 - 10,5 \text{ руб./квар},$$

$$C_{\text{ВК}} = 3,7 - 4,9 \text{ руб./квар},$$

$$C_{\text{В}} = 0,5 - 3 \text{ руб./квар} - \text{ для камер КСО},$$

$$C_{\text{В}} = 0,9 - 5,1 \text{ руб./квар} - \text{ для камер КРУ}.$$

Значения $C_{\text{НК}}$, $C_{\text{ВК}}$, $C_{\text{В}}$ должны быть откорректированы в связи с увеличением стоимости компенсирующих устройств на текущий период времени.

Значения $Z_{\text{рнк}}$ и $Z_{\text{рвк}}$ определяются следующим образом:

$$Z_{\text{рнк}} = C_{\text{рг}} \cdot \Delta P_{\text{кн}},$$

$$Z_{\text{рвк}} = C_{\text{рг}} \cdot \Delta P_{\text{кв}},$$

где $\Delta P_{\text{кн}}$ и $\Delta P_{\text{кв}}$ – удельные потери активной мощности в установках БНК и БВК, принимаемые равными: $\Delta P_{\text{кн}} = 0,004$ кВт/квар; $\Delta P_{\text{кв}} = 0,002$ кВт/квар.

По найденному наименьшему значению R определяется из табл. П23 коэффициент α .

С учетом номинальной реактивной мощности синхронных двигателей

$$Q_{\text{д3}} = \sum \alpha \cdot Q_{\text{дн1}}.$$

Если значение R окажется меньше рассчитанного по формуле (7.10), то величина $Q_{\text{д3}} = Q_{\text{д2}}$.

Результирующее значение используемой реактивной мощности от синхронного двигателя

$$Q_{\text{д}}'' = Q_{\text{д1}} + Q_{\text{д3}}.$$

Снова составляется баланс реактивной мощности:

$$\Delta Q'' = \overline{Q}_{\text{р}} + Q_{\text{нк1}} - Q_{\text{д}}'' - Q_{\text{э}}.$$

Если $\Delta Q'' > 0$, то для предприятий с 1-, 2-, 3-сменной работой рассматривается целесообразность дополнительной установки БНК мощностью $Q_{\text{нк2}}$. С этой целью определяется значение экономически целесообразной реактивной мощности $Q_{\text{тэ}}$, которую можно передать через цеховые трансформаторы в сеть до 1 кВ по критериям минимальных активных потерь в сети 6 – 10 кВ, стоимости БНК и стоимости потребляемой реактивной мощности (энергии) из энергосистемы.

При потреблении из энергосистемы мощности $Q_{\text{п}}$, превышающем экономическое значение,

$$Q_{\text{тэ}} = \frac{3_{\text{нк}} - C_{Q_{\text{н}}}}{2A}.$$

Задание:

Задача №1

Предприятие с двухсменной работой питается от подстанции напряжением 110/10 кВ и имеет расчетную активную нагрузку $P_p = 4,5$ МВт.

Определить для предприятия значение Q_{Σ} .

Задача №2

Определить мощность низковольтных батарей конденсаторов $Q_{НК}$ для группы цехов машиностроительного предприятия, расчетные нагрузки которых составляют:

вариант *а*

– механический цех: $P_p = 2200$ кВт, $Q_p = 3100$ кВар;

– агрегатный цех: $P_p = 1800$ кВт, $Q_p = 2000$ кВар;

– термический цех: $P_p = 2300$ кВт, $Q_p = 2600$ кВар;

– сборочный цех: $P_p = 1300$ кВт, $Q_p = 1500$ кВар

вариант *б*

– инструментальный цех: $P_p = 800$ кВт, $Q_p = 900$ кВар;

– ремонтный цех: $P_p = 400$ кВт, $Q_p = 500$ кВар;

– электролизный цех: $P_p = 450$ кВт, $Q_p = 250$ кВар;

– покрасочный цех: $P_p = 600$ кВт, $Q_p = 500$ кВар.

Задача №3

На предприятии с двухсменным режимом работы используются четыре синхронных электродвигателя ($P_{нд} = 1600$ кВт, $n = 1000$ мин⁻¹, $U_n = 10$ кВ, $\cos\phi = 0,88$). Определить суммарную реактивную мощность, которую экономически целесообразно получать от синхронных двигателей. Электроснабжение предприятия осуществляется от ГПП-220/10 кВ.

Задача №4

На предприятии с трехменным режимом работы используются четыре синхронных электродвигателя. Один из них имеет номинальные параметры: $P_{\text{н}} = 3 \text{ МВт}$, $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$, $U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$, $\cos\phi = 0,89$. Остальные электродвигатели имеют одинаковые параметры: $P_{\text{н}} = 1,25 \text{ МВт}$, $n = 500 \text{ мин}^{-1}$, $U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$, $\cos\phi = 0,87$. Электроснабжение предприятия осуществляется от ТЭЦ на напряжении 10 кВ. Определить суммарную реактивную мощность, которую экономически целесообразно получать от всех синхронных электродвигателей.

Задача №5

На предприятии с двухменным режимом работы установлены два синхронных электродвигателя с номинальными параметрами: $P_{\text{н}} = 1,25 \text{ мВт}$, $n = 500 \text{ мин}^{-1}$, $U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$, $\cos\phi = 0,89$. Электроснабжение предприятия с расчетной реактивной нагрузкой $Q_{\text{р}} = 4,5 \text{ МВар}$ осуществляется от подстанции 110/10 кВ. Составить и проанализировать баланс реактивной мощности по предприятию, для которого $Q_{\text{э}} = 1,3 \text{ МВар}$; $Q_{\text{НК1}} = 1,2 \text{ МВар}$.

Задача №6

Результаты анализа баланса реактивной мощности по предприятию показали, что $Q'\Delta > 0$. Определить величину дополнительной реактивной мощности $Q_{\text{дз}}$, которую могут генерировать два синхронных двигателя (исходные данные из задачи 5). Составить и проанализировать баланс реактивной мощности $Q''\Delta$ по предприятию.

Задача №7

Расчетная нагрузка предприятия с двухменным режимом работы, питающегося от ГПП-220/10 кВ, составляет: $P_{\text{р}} = 3,5 \text{ МВт}$ $Q_{\text{р}} = 4,3 \text{ МВар}$. Анализ баланса реактивной мощности по предприятию показал, что $Q'\Delta =$

870 кВар и $Q''\Delta = 630$ кВар. Определить величины дополнительной реактивной мощности низковольтных батарей конденсаторов и $Q_{2НК}$ и $Q_{НК}$.

Задача №8

Предприятие с расчетными нагрузками $P_p = 6000$ кВт, $Q_p = 7000$ кВар имеет непрерывный режим работы и питается от ГПП-220/10 кВ. Анализ балансов реактивной мощности показал, что $\Delta Q' = 1200$ кВар, $Q'\Delta Q''\Delta = 900$ кВар. Осуществить дополнительные мероприятия по компенсации реактивной мощности на предприятии.

Контрольные вопросы:

1. Для чего производится компенсация реактивной мощности на предприятии?
2. Перечислите методы естественной компенсации реактивной мощности.
3. Каким образом происходит искусственная компенсация реактивной мощности?
4. Укажите типы компенсирующих устройств. Отметьте достоинства и недостатки каждого вида.
5. Определите порядок выбора компенсирующего устройства.

Список литературы:

Перечень основной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения объектов : учебное пособие / Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 357 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-3979-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=469117>
2. Данилов, М.И. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) : учебное пособие / М.И. Данилов, И.Г. Романенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Северо-Кавказский федеральный университет». - Ставрополь : СКФУ, 2015.
- 223 с. : ил. - Библиогр. в кн. ; То же [Электронный ресурс]. -
URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457214>

Перечень дополнительной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения промышленных и гражданских зданий : учебник / Ю.Д. Сибикин. - 6-е изд., перераб. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. - 508 с. : схем., табл., ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-8608-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=459494>

Практическая работа №9

Тема: Определение местоположения цеховой подстанции

Цель: – закрепить теоретические знания по теме;

– приобрести практические навыки по расчету и выбору местоположения цеховой подстанции;

– приобрести практические навыки пользования справочной и методической литературой.

Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы:

Обучающийся должен

знать:

– последовательность выполнения расчета и условия выбора местоположения цеховой подстанции;

уметь:

– рассчитывать и выбирать центр нагрузки на плане предприятия.

Актуальность темы:

Заключается в необходимости определения местоположения цеховой подстанции.

Теоретическая часть:

Теория определения местоположения источника питания, можно сказать, основана на законах классической механики (определения центра тяжести). Характерна общность подхода: от выбора места для шкафов 2УР, трансформаторов 3УР, подстанций РП-10 кВ и ГПП до расположения ТЭЦ, УРП и других источников питания энергосистем. Уровни имеют различные ограничения. Например, для ТЭЦ важны потребители горячей воды и размещение паровых воздуходувок; для ГПП – возможность размещения вблизи энергоемких агрегатов и особенности ввода ЛЭП высокого

напряжения; для подстанций 4УР – необходимость технологического управления высоковольтным оборудованием или разбросанность подстанций 3УР, определяемых, в свою очередь, характером нагрузки и строительными решениями по отделению (сооружению); для 2УР – количество, единичная мощность, режимы работы электроприемников и территориальная выделенность участков и т. д.

Длина линий от i -го потребителя до источника питания ИП в прямоугольной системе может быть выражена через координаты ИП x, y и координаты потребителей x_i, y_i (электроприемников для 2УР; шкафов 2УР и электроприемников, питающихся от щита низкого напряжения трансформатора для 3УР; трансформаторов 3УР и высоковольтных электродвигателей для 4УР; агрегатов и ТП, питающихся от 5УР, и распределительных подстанций для 5УР):

$$l_i = \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} \quad \text{или} \quad l_i = |x-x_i| + |y-y_i|.$$

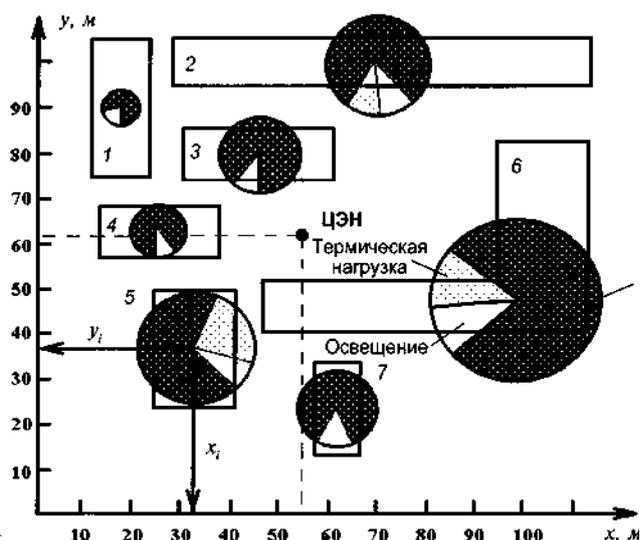
Теория выбора места расположения источников питания была создана, когда для расчетов использовали величины приведенных затрат Z_i . Для отдельной линии электропередачи Z_i определяли по уравнению

$$Z_i = \left(EK_i + P_i^2 \delta (\alpha K_{\text{пм}} + \beta \tau_i) \right) / \gamma U_{\text{ном}}^2 F_i l_i = z_i l_i$$

Суммарные приведенные затраты для n линий (радиально-лучевая сеть) теоретически определимы, если взять за основу детерминистскую точку зрения, согласно которой существуют однозначные исходные данные для каждой линии к моменту принятия решения о размещении ИП, соответствующие реальности после завершения строительства и выхода на проектную производительность.

Имеется ряд математических методов, позволяющих аналитически определить условный центр электрических нагрузок промышленного предприятия или отдельных его цехов. При отыскании центра электрических нагрузок, например, цеха для размещения распределительной подстанции 4УР, используется план цеха с расположением ТП 10/0,4 кВ (3УР) и

отдельных высоковольтных электроприемников 1УР, а при отыскании центра электрических нагрузок предприятия средней мощности (для крупного поиска центра не имеет смысла) используется его генеральный план, а в качестве отдельных потребителей рассматриваются цеха предприятия. Наибольшее распространение получил метод, согласно которому если считать нагрузки цеха равномерно распределенными по его площади, то центр нагрузок (ЦЭН) можно принять совпадающим с центром тяжести фигуры, изображающей цех в плане (рис.). В действительности же нагрузки цеха распределены по его площади неравномерно, поэтому центр нагрузок не совпадает с центром тяжести цеха в плане.



Наличие многоэтажных зданий цехов и расположение электроприемников на различных отметках обуславливают учет в расчетах третьей координаты. Координатой 2 для двух- и трехэтажных зданий не имеет смысла пользоваться, в частности учитывать требования о размещении оборудования выше нулевой отметки. Координатой 2 можно пренебречь и в случае, когда расстояние от центра нагрузки потребителя, например, КТП, до центра ИП, например, РП 10 кВ, в 1,5 раза больше высоты здания. Практически учет третьей координаты в реальном проектировании промышленных предприятий не требуется.

При разработке схемы электроснабжения промышленных предприятий рекомендуется размещать источники питания с наибольшим приближением к

центру питаемой нагрузки, под которым понимается условный центр. Проведя аналогию между массами и электрическими нагрузками производств, цехов, отделений, участков, P_i координаты их центра для размещения источника питания следующего уровня системы электроснабжения можно определить по формулам:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i x_i}{\sum_{i=1}^n P_i}; \quad y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i y_i}{\sum_{i=1}^n P_i}.$$

Описанный метод отыскания центра электрических нагрузок (ЦЭН) отличается простотой и наглядностью, он легко реализуется на ЭВМ. Погрешность расчетов по этому методу не превышает 5-10 % и определяется точностью исходных данных

В общем случае такой подход не обеспечивает минимума приведенных затрат на сеть. При двух неодинаковых нагрузках центр будет между нагрузками, ближе к наибольшей. Если сюда поместить ИП, то приведенные затраты на сеть сложатся из затрат на участок сети, питающий меньшую нагрузку, и затрат на участок сети, питающий большую нагрузку. Если строго исходить из минимума приведенных затрат, то ИП следует совместить с наибольшей нагрузкой, что обеспечивает явно меньшие затраты, так как вся сеть будет состоять только из относительно дешевого провода, питающего меньшую нагрузку. При числе нагрузок больше двух в общем случае возникает аналогичная ситуация.

При решении вопроса о размещении ИП и определении их мощностей возможны три случая:

- 1) местоположение определено условиями генплана или требованиями технологов;
- 2) местоположение можно варьировать в ограниченных пределах, но известны нагрузки, которые предполагается питать от каждого ИП;
- 3) не известны число ИП, распределение нагрузок по отдельным ИП.

Для некоторых ИП на местоположение накладываются ограничения. Это наиболее общий случай, отвечающий реальной практике и характерный для всех уровней системы электроснабжения.

В первом случае задача сводится к распределению нагрузок по отдельным источникам питания и к определению мощностей ИП.

Во втором случае задача может быть решена методом линейного программирования, если ограничения на размещение ИП могут быть заданы в виде системы линейных неравенств:

$$\varphi_k = a_k x + b_k y + c_k \geq 0, \quad k = 1, 2, \dots, m.$$

Центр электрических нагрузок определяется как некоторая постоянная точка на генеральном плане промышленного предприятия. В действительности центр смещается, что объясняется: изменениями потребляемой мощности отдельным приемником, цехом и предприятием в целом в соответствии с графиком нагрузки (на стадии проектирования график известен приближенно, а на стадии эксплуатации постоянно меняется); изменениями сменности и других социально-экономических и экологических условий; развитием предприятия. В связи с этим центр электрических нагрузок описывает во времени на генеральном плане промышленного предприятия фигуру сложной формы поэтому правильнее говорить не о центре как некоторой стабильной точке, а о зоне рассеяния.

Задачи, связанные с построением рациональных систем электроснабжения промышленных предприятий, относятся к числу оптимизационных. В электрике выделилось два подхода к решению задач оптимизации: статический и динамический. При статическом подходе к решению проектных задач не учитывается изменение электрических нагрузок во времени. При динамическом подходе учитывается динамика систем электроснабжения во времени на перспективу 5, 10, 20 лет, особенно в части изменения электрических нагрузок, поэтому принимаемые решения получают более обоснованными.

При переходе к конкретному проектированию следует помнить, что проектировщики широко применяют профессионально-логический метод. Суть его применительно к выбору местоположения подстанции заключается в том, что опытный проектировщик часто принимает решение, не прибегая к вычислениям координат. Он пользуется хорошими знаниями объектов проектирования, объектом-аналогом, учитывает реальные ограничения и другие неформализуемые сведения.

Задачу выбора местоположения подстанций приходится решать на различных уровнях системы электроснабжения. Опыт проектирования показывает, что выбор местоположения цеховых ТП осуществляется, как правило, без построения картограммы нагрузок цеховых потребителей электроэнергии. Объясняется это тем, что расположение цеховых ТП в центре питаемых ими нагрузок часто оказывается невозможным из-за различных ограничений (технологических, транспортных и т. п.). Поэтому для отыскания центра цеховой сети используют приближенные методы. Для упрощенного определения координат в цеховой сети можно воспользоваться методикой, применяемой при прокладке участков сети по взаимно перпендикулярным направлениям, которая заключается в следующем:

- 1) чтобы найти координату x_0 центра нагрузок, необходимо передвигать параллельно самой себе проведенную произвольно на плане цеха вертикальную линию до тех пор, пока разность сумм нагрузок левее и правее этой линии поменяет знак или станет равной нулю, т. е. нагрузки станут равными;

- 2) передвигая параллельно самой себе горизонтальную линию, находят такое ее положение, при котором разность сумм нагрузок выше и ниже этой линии изменит знак или станет равной нулю. Это положение линии даст координату y_0 центра нагрузок.

Оптимальное положение РП обычно будет не в центре нагрузок, получающих питание от него, поскольку это приводит к обратным потокам энергии, вызывающим увеличение расхода проводникового материала и

потерь электроэнергии. Как правило, РП смещена к наибольшей нагрузке и располагается ближе к источнику питания. Выбор места РП I! первую очередь определяется наличием двигателей напряжением выше 1 кВ (компрессорные, насосные, воздуходувные и т. п.) и электротехнологических установок, например, из-за взрывоопасное, то сооружается отдельно стоящая распределительная подстанция.

Особенно важен вопрос о размещении подстанций 5УР и 4УР, которые для средних и крупных предприятий определяют схему. В этом случае проектирование систем электроснабжения предприятий осуществляется на основе генерального плана объекта, на который наносятся все производственные цеха и отдельные участки предприятия. Расположение цехов на генеральном плане определяется технологическим процессом производства, а также архитектурно-строительными и эксплуатационными требованиями.

Выбор типа и места расположения подстанций осуществляют следующим образом: на генеральный план предприятия наносят нагрузки цехов, отделений или участков с уточнением напряжения, рода тока и очередности ввода в эксплуатацию; выявляют сосредоточенные нагрузки и находят центры групп распределенных нагрузок ЗУР (2УР); предварительно намечают места расположения подстанций и производят распределение нагрузок между ними. Учитывая возможности применения унифицированных схем и комплектных распределительных устройств, намечают типы подстанций (закрытая или открытая, отдельно стоящая, пристроенная, встроенная, внутрицеховая), определяют их ориентировочные габариты. Выбранное место расположения подстанции согласовывают с генпланом, технологами, строителями. Для отыскания местоположения подстанций 5УР и 4УР широко применяют картограмму нагрузок.

Картограмма представляет собой размещенные на генеральном плане кругов, площади которых в принятом масштабе равны расчетным нагрузкам цехов. Аналогично на плане цеха можно разместить нагрузки отделений,

участков, крупных электроприемников. Каждому цеху, отдельному зданию, сооружению соответствует окружность, центр которой совмещают с центром нагрузок цеха, т. е. с символической точкой потребления ими электроэнергии. Поэтому расположение главной понизительной или распределительной подстанции вблизи питаемых ими нагрузок позволяет приблизить высокое напряжение к центру потребления электроэнергии и сократить протяженность как сетей высокого напряжения предприятия, так и цеховых электрических сетей.

$$r_i = \frac{1}{m} \sqrt{\frac{P_{p(i)}}{\pi}}$$

Картограмма электрических нагрузок дает возможность проектировщику наглядно представить распределение нагрузок по территории промышленного предприятия. Она состоит из окружностей, причем площадь круга πr_i^2 , ограниченная каждой из этих окружностей, с учетом принятого масштаба равна расчетной нагрузке $P_{p(i)}$ соответствующего цеха, что определяет радиус окружности: нагрузки до и выше 1 кВ. Все это дает представление о структуре

Каждый круг может быть разделен на секторы, соответствующие силовой нагрузке, нагрузке на технологические процессы (электроплавка, сварка, нагрев и др) и осветительной нагрузке. Иногда на картограмме разделяют на нагрузки до и выше 1 кВ. Все это дает представление о структуре нагрузок. Цеха, которые должны быть построены во вторую очередь, или нагрузки цехов, связанных с расширением производства, графически изображают различно (цветом, пунктиром).

Аналогичен подход к построению картограмм реактивных нагрузок и построению их центра. Реактивные нагрузки могут питаться от конденсаторных установок, которые располагаются в местах потребления реактивной мощности, а также от синхронных компенсаторов и синхронных электродвигателей. В связи с этим для отыскания оптимальных условий и

мест установки источников реактивной мощности нужно находить отдельно центры потребления реактивной мощности предприятия.

Задание:

Задача №1

Определить местоположения подстанции - это найти координаты центра нагрузок.

По исходным данным построить оси X и Y генплана и нанести центры электрических нагрузок каждого цеха.

С учетом размеров территории выбрать масштаб нагрузок, ориентируясь на наибольшую и наименьшую.

Генплан 3x2 км с силовыми нагрузками цехов (5 мм=0,1 км)

Таблица 9.1 – Исходные данные для расчета

Параметр	Номер цеха				
	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5
P, кВт	100	160	1000	400	25
X, км	0,6	1,45	2,4	1,55	0,4
Y, км	1,45	1,25	0,9	0,55	0,4
cosφ	0,7	0,75	0,9	0,8	0,6

Контрольные вопросы:

1. Что такое «картограмма нагрузок»? Для чего она строится?
2. Каким образом определяется цент нагрузки?
2. Что такое «зона рассеяния центра нагрузок»? Каким образом её найти?
3. Как изменяются годовые затраты при смещении местоположения ГПП от зоны рассеяния центра нагрузок?

Список литературы:

Перечень основной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения объектов : учебное пособие / Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 357 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-3979-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=469117>

2. Данилов, М.И. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) : учебное пособие / М.И. Данилов, И.Г. Романенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет». - Ставрополь : СКФУ, 2015. - 223 с. : ил. - Библиогр. в кн. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457214>

Перечень дополнительной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения промышленных и гражданских зданий : учебник / Ю.Д. Сибикин. - 6-е изд., перераб. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. - 508 с. : схем., табл., ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-8608-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=459494>

Практическая работа №10

Тема: Расчет контура заземления

Цель: – закрепить теоретические знания по теме заземляющие устройства;

– приобрести практические навыки по определению количества заземлителей;

– приобрести практические навыки пользования справочной и методической литературой.

Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы:

Обучающийся должен

знать:

– назначение и виды заземлителей.

уметь:

– определять количество заземлителей.

Актуальность темы:

Заключается в необходимости определения и расчета количества заземляющих устройств.

Теоретическая часть:

При расчете заземляющего устройства определяются тип заземлителей, их количество и место размещения, а также сечение заземляющих проводников. Этот расчет производится для ожидаемого сопротивления заземляющего устройства в соответствии с существующими требованиями ПУЭ. Расчетное значение удельного сопротивления грунта в месте устройства заземления:

$$\rho = \rho_{\text{изм}} \cdot \psi,$$

где $\rho_{\text{изм}}$ - измеренное сопротивление грунта;

ψ – коэффициент повышения сопротивления.

При отсутствии данных измерения удельного сопротивления грунта для расчетов пользуются примерными значениями (табл.10.1)

Таблица 10.1 – Удельные сопротивления грунтов

Грунт	Удельное сопротивление ρ , Ом·м
Песок	700
Супесь	300
Глина	40
Суглинок	100
Чернозем	60
Гравий, щебень	200
Каменистые почвы	400

Расчетные значения коэффициентов повышения сопротивления для различных грунтов приведены в табл.10.2

Таблица 10.2 – Коэффициенты повышения сопротивления

Характер грунта	Глубина заложения, м	Расчетные коэффициенты		
		ψ_1	ψ_2	ψ_3
Суглинок	0,8-3,8	2	1,5	1,4
Гравий, щебень	0-2	1,8	1,2	1,1
Песок	0-2	2,4	1,56	1,2
Глина	0-2	2,4	1,36	1,2
Супесь	0,7-1	2,2	1,5	1,1
Чернозем	0-3	2,4	1,4	1,3
Каменистые почвы	0-2	2,5	1,51	1,2

ψ_1 – удельное сопротивление грунта соответствует минимальному значению, грунт влажный.

ψ_2 – удельное сопротивление грунта соответствует среднему значению, грунт средней влажности.

ψ_3 – удельное сопротивление грунта соответствует наибольшему значению, грунт сухой.

Сопротивление одиночного заземлителя:

- пруткового электрода диаметром 12 мм, длиной 5 м

$$R_o = 0,00227 \cdot \rho$$

- угловой стали размером 50x50x5 мм, длиной 2,5 м

$$R_o = 0,0034 \cdot \rho$$

- трубы диаметром 60 мм, длиной 2,5 м

$$R_o = 0,00325 \cdot \rho$$

- число вертикальных заземлителей:

$$n = R_o / (\eta \cdot R_z),$$

где η – коэффициент использования.

Заземлители соединяют между собой посредством горизонтальных полос. По форме расположения заземлителей различают выносное и контурное заземление.

Способ размещения заземлителей (в ряд или по контуру) определяется по плану установки. Полосовая сталь, применяемая для электрической связи между электродами, является дополнительным заземлением. Ввиду сравнительно большого сопротивления соединительных полос оно мало влияет на общее сопротивление заземляющего устройства.

Поэтому в практических расчетах проводимость соединительных полос можно не учитывать.

Задание:

Задача №1

Рассчитать количество заземлителей заземления подстанции напряжением 6/0,4 кВ. На стороне напряжения 6 кВ нейтраль изолирована, на стороне 0,4 кВ – глухо заземлена.

Таблица 10.3 – Исходные данные для расчета

Вариант	$\ell_{\text{в}}$	$\ell_{\text{к}}$	заземлитель	Влажность грунта
1	10	20	труба	песок влажный
2	15	5	прутковый электрод	супесь средней влажности
3	20	10	труба	глина сухая
4	12	2	угловая сталь	суглинок влажный
5	14	4	угловая сталь	чернозем сухой
6	18	6	прутковый электрод	гравий средней влажности
7	10	8	труба	каменистые почвы влажный
8	20	15	угловая сталь	суглинок сухой
9	15	20	прутковый электрод	супесь влажный
10	12	5	труба	каменистые почвы сухой
11	18	15	угловая сталь	чернозем средней влажности
12	14	10	прутковый	гравий

			электрод	влажный
13	10	4	прутковый электрод	глина средней влажности
14	15	6	труба	песок средней влажности
15	20	8	прутковый электрод	чернозем сухой

Контрольные вопросы:

1. Что применяют в качестве заземлителей.
2. Виды заземления по расположению заземлителей.
3. Требования ПУЭ к занулению.
4. Требования ПУЭ к заземлению.

Список литературы:

Перечень основной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения объектов : учебное пособие / Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 357 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-3979-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=469117>

2. Данилов, М.И. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) : учебное пособие / М.И. Данилов, И.Г. Романенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет». - Ставрополь : СКФУ, 2015. - 223 с. : ил. - Библиогр. в кн. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457214>

Перечень дополнительной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения промышленных и гражданских зданий : учебник / Ю.Д. Сибикин. - 6-е изд., перераб. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. - 508 с. : схем., табл., ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-8608-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=459494>

Практическая работа №11

Тема: Расчет и выбор элементов релейной защиты цехового трансформатора

Цель: – закрепить теоретические знания по теме релейная защита в системах электроснабжения;

– приобрести практические навыки по выбору элементов релейной защиты;

– приобрести практические навыки использования справочной и методической литературой.

Знания и умения, приобретаемые обучающимся в результате освоения темы:

Обучающийся должен:

знать:

– виды защит, принципы действия, параметры релейной защиты.

уметь:

– выбирать элементы релейной защиты.

Актуальность темы:

Заключается в необходимости приобретения навыков по выбору элементов РЗА и использования справочной и методической литературой.

Теоретическая часть:

Защита, устанавливаемая на силовом трансформаторе, должна или обеспечивать его отключение при коротких замыканиях, или подавать сигнал о ненормальном режиме работы трансформатора. Установленная на трансформаторе защита выполнена на оперативном переменном токе с применением реле прямого действия типов РТМ и РТВ, реле косвенного действия типа РТ-80 и газового реле. Защита от внутренних повреждений в трансформаторе осуществляется газовым реле ПГ-22.

Задание:

Задача №1

Выбрать типы защит и определить уставки срабатывания реле для защиты силового трансформатора в соответствии со следующими данными.

Таблица 11.1 – Исходные данные для расчета релейной защиты

№ п/п	Электроприемник	Схема РЗ	I _к , кА	
			1	2
1	ТМ – 100/10/0,4	НЗ	0,2	0,04
2	ТМ – 250/10/0,4	НЗ	6	1,2
3	ТМ – 250/6/0,4	Разн.	12,5	2,4
4	ТМ – 250/10/0,4	Разн.	12,5	2,4
5	ТМ – 160/6/0,4	НЗ	0,3	0,06
6	ТМ – 250/6/0,4	НЗ	0,4	0,08
7	ТМ – 1000/10/0,4	НЗ	2,5	0,5
8	ТМ – 160/10/0,4	НЗ	3	0,6
9	ТМ – 160/10/0,4	Разн.	4	0,8
10	ТМ – 630/10/0,4	НЗ	1	0,2
11	ТМ – 400/10/0,4	НЗ	0,7	0,14
12	ТМ – 160/6/0,4	НЗ	0,8	0,16
13	ТМ – 160/6/0,4	Разн.	2,5	0,5
14	ТМ – 400/10/0,4	Разн.	2	0,4
15	ТМ – 630/10/0,4	Разн.	3,2	0,64

Контрольные вопросы:

1. Назначение релейной защиты.
2. Виды релейной защиты и основные требования к устройствам автоматики в системах электроснабжения.
3. Принцип действия дифференциальная токовая защита.
4. Принцип действия максимальная токовая защита.

5. Принцип действия токовой отсечки.
6. Какие показатели учитываются при расчёте оперативного тока релейной защиты?

Список литературы:

Перечень основной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения объектов : учебное пособие / Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 357 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-3979-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=469117>

2. Данилов, М.И. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) : учебное пособие / М.И. Данилов, И.Г. Романенко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет». - Ставрополь : СКФУ, 2015. - 223 с. : ил. - Библиогр. в кн. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457214>

Перечень дополнительной литературы:

1. Сибикин, Ю.Д. Основы проектирования электроснабжения промышленных и гражданских зданий : учебник / Ю.Д. Сибикин. - 6-е изд., перераб. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2016. - 508 с. : схем., табл., ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-8608-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=459494>

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П1 – Коэффициенты расчетной нагрузки K_p для питающих сетей напряжением до 1 кВ

n_3	Коэффициент использования K_H								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14	1,0
2	6,22	4,33	3,39	2,45	1,98	1,60	1,33	1,14	1,0
3	4,05	2,89	2,31	1,74	1,45	1,34	1,22	1,14	1,0
4	3,24	2,35	1,91	1,47	1,25	1,21	1,12	1,06	1,0
5	2,84	2,09	1,72	1,35	1,16	1,16	1,08	1,03	1,0
6	2,64	1,96	1,62	1,28	1,14	1,13	1,06	1,01	1,0
7	2,49	1,86	1,54	1,23	1,12	1,1	1,04	1,0	1,0
8	2,37	1,78	1,48	1,19	1,1	1,08	1,02	1,0	1,0
9	2,27	1,71	1,43	1,16	1,09	1,07	1,01	1,0	1,0
10	2,18	1,65	1,39	1,13	1,07	1,05	1,0	1,0	1,0
11	2,11	1,61	1,35	1,1	1,06	1,04	1,0	1,0	1,0
12	2,04	1,56	1,32	1,08	1,05	1,03	1,0	1,0	1,0
13	1,99	1,52	1,29	1,06	1,04	1,01	1,0	1,0	1,0
14	1,94	1,49	1,27	1,05	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,89	1,46	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
16	1,85	1,43	1,23	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

17	1,81	1,41	1,21	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
18	1,78	1,39	1,19	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
19	1,75	1,36	1,17	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	1,72	1,35	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
21	1,69	1,33	1,15	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
22	1,67	1,31	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
23	1,64	1,3	1,12	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
24	1,62	1,28	1,11	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	1,6	1,27	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
30	1,51	1,21	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
35	1,44	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
40	1,4	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
45	1,35	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
50	1,3	1,07	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
60	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
70	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
80	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
90	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица П2 – Коэффициенты расчетной нагрузки K_p для шин цеховых трансформаторов и магистральных шинопроводов напряжением до 1 кВ

n_{Σ}	Коэффициент использования K_H
--------------	---------------------------------

	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7 и более
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14
2	5,01	3,44	2,69	1,9	1,52	1,24	1,11	1,0
3	2,94	2,17	1,8	1,42	1,23	1,14	1,08	1,0
4	2,28	1,73	1,46	1,19	1,06	1,04	1,0	0,97
5	1,31	1,12	1,02	1,0	0,98	0,96	0,94	0,93
6 - 8	1,2	1,0	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
9 - 10	1,1	0,97	0,91	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
10 - 25	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,9	0,9
25 - 50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,8	0,85	0,85
Более 50	0,65	0,65	0,65	0,7	0,7	0,75	0,8	0,8

Таблица ПЗ – Коэффициенты одновременности K_o для определения расчетной нагрузки на шинах 6 – 10 кВ РП или ГПП

Средневзвешенный коэффициент использования	Число присоединений 6 – 10 кВ на сборных шинах РП и ГПП			
	2 – 4	5 – 8	9 – 25	более 25
$K_H < 0,3$	0,9	0,8	0,75	0,7
$0,3 \leq K_H < 0,5$	0,95	0,9	0,85	0,8
$0,5 \leq K_H \leq 0,8$	1,0	0,95	0,9	0,85
$K_H > 0,8$	1,0	1,0	0,95	0,9

Таблица П4 – Технические характеристики плавких предохранителей до 1 кВ

Тип предохранителя	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А		Предельный отключаемый ток, кА
		предохранителя	Плавкой вставки	
НПН2-63	500	63	6; 10; 16; 20; 25; 31; 40; 63	10
ПН2-100	380	100	31,5; 40; 50; 63; 80; 100	100
ПН2-250	380	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	100
ПН2-400	380	400	200; 250; 315; 355; 400	40
ПН2-600	380	630	315; 400; 500; 630	25

Таблица П5 – Технические характеристики автоматических выключателей серий ВА51 и ВА52 с комбинированным расцепителем

Тип выключателя	Номинальный ток, А		Кратность тока отсечки по отношению к $I_{нр}$
	выключателя	расцепителя, $I_{нр}$	
Однополюсные			
ВА51-29	63	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 63	-
ВА51-31-1	100	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	3; 7; 10
Трёхполюсные			
ВА51Г-25	25	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	14
ВА51-25	25	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	7; 10
ВА51-31	100	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	3; 7; 10
ВА52-31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	14
ВА51Г-31	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100	3; 7; 10
ВА51-33	160	80; 100; 125; 160	10
ВА52-33			
ВА51Г-33	160	80; 100; 125; 160	14
ВА52Г-33			
ВА51-35	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	12
ВА52-35			
ВА51-37	400	250; 320; 400	10
ВА52-37			
ВА51-39	630	400; 500; 630	10
ВА52-39			

Таблица П6 – Технические характеристики магнитных пускателей трехфазного тока серии ПМЛ напряжением до 1 кВ

Тип магнитного пускателя в зависимости от степени защиты		Номинальный ток, А, в режиме АС3 при степени защиты	
IP00	IP54	IP00	IP54
ПМЛ 110004	ПМЛ 121002	10	10
ПМЛ 210004	ПМЛ 221002	25	22
ПМЛ 310004	ПМЛ 321002	40	36
ПМЛ 410004	ПМЛ 421002	63	60
ПМЛ 510004	ПМЛ 521002	80	80
ПМЛ 610004	ПМЛ 621002	125	100
ПМЛ 710004	ПМЛ 721002	2001	60

Таблица П7 – Панели распределительные серии П (ЩО 70)

Тип панели	Номинальный ток, А, кол-во присоединений	Коммутационные и защитные аппараты
1	2	3
Линейные панели		
П01-94	10x2+250x2	Рубильники с предохранителями ПН2-100, ПН2-250
П02-94	250x4	Рубильники с предохранителем ПН2-250
П03-94	250x2+400x2	Рубильники с предохранителями ПН2-250, ПН2-400

П04-94	600x1	Рубильники с предохранителями ПН2-600
П06-94	100x2+250x4	Разъединители (один на 3 присоединения), автоматические выключатели ВА51-35
П08-94	250x4	Разъединители (один на 2 присоединения), автоматические выключатели ВА51-35
П09-94	630x2	Разъединители с автоматическими выключателями ВА52-39
П24-94	1000x1	Разъединитель с автоматическим выключателем ВА53-41
Вводные панели		
П30-94	600	Разъединитель с предохраните- лями ПН2-600
П31-94	1000	Разъединитель
П34-94	1000	Разъединитель, автоматический выключатель ВА53-41
П37-94	1600	Разъединитель, автоматический выключатель ВА53-43
П40-94	2000	Разъединитель, автоматический выключатель ВА53-44
Секционные панели		
П71-94	1000	Разъединитель
П72-94	1000	Разъединители, автоматический выключатель ВА53-41

П73-94	1600	Разъединители, автоматический выключатель ВА53-43
--------	------	---

Таблица П8 – Допустимые длительные токи для проводов с алюминиевыми жилами и поливинилхлоридной изоляцией

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		двухжильных	трехжильных	четырёхжильных	одножильного	одножильного
1	2	3	4	5	6	7
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	17	39	42	38
16	75	60	60	55	60	55
25	105	85	80	70	75	65
35	130	100	95	85	95	75
50	165	140	130	120	125	105
70	210	175	165	140	150	135

95	255	215	200	175	190	165
120	295	245	220	200	230	190
150	340	275	255	-	-	-

Таблица П9 – Допустимые длительные токи для кабелей напряжением до 1 кВ с алюминиевыми жилами с резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной и резиновой оболочках, бронированных и небронированных

Сечение токопроводящей жила, мм ²	Ток кабелей, А				
	одножильных		двухжильных		трехжильных
	при прокладке				
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
2,5	23	21	34	19	29
4	31	29	42	27	38
6	38	38	55	32	46
10	60	55	80	42	70
16	75	70	105	60	90
25	105	90	135	75	115
35	130	105	160	90	140
50	165	135	205	110	175
70	210	165	245	140	210
95	250	200	295	170	255

120	295	230	340	200	295
150	340	270	390	235	335
185	390	310	440	270	385

Таблица П10 – Кратности длительно допустимых токов проводников к номинальному току или току срабатывания защитного аппарата (для сетей, не требующих защиты от перегрузки)

Тип защитного аппарата	I_3	k_3
Плавкий предохранитель	Номинальный ток плавкой вставки	0,33
Автоматический выключатель, имеющий только максимальный мгновеннодействующий расцепитель (отсечку)	Ток уставки	0,22
Автоматический выключатель с нерегулируемой обратно зависимой от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки)	Номинальный ток расцепителя	1,0
Автоматический выключатель с регулируемой обратно зависимой от тока характеристикой	Ток трогания расцепителя	0,66

Таблица П11 – Основные технические характеристики распределительных шинопроводов ШРА4

№п/п	Показатели	ШМА4-1250	ШМА4-1600	ШМА4-2500	ШМА4-3200
1	Номинальный ток, А	1250	1600	2500	3200
2	Номинальное напряжение, В	660	660	660	660
3	Электродинамическая стойкость, кА	70	70	70	70
4	Сопrotивление на фазу, Ом/км: активное индуктивное	0,0338 0,0161	0,0297 0,0143	0,0169 0,0082	0,0150 0,0072
5	Полное сопротивление петли фаза-нуль, Ом/км	0,0862	0,0872	0,0822	0,053
6	Линейная потеря напряжения В, на 100 м при $I_{ном}$, $\cos\phi=0,8$ и нагрузке, сосредоточенной в конце линии	8,93	9,13	9,7	9,0
7	Степень защиты по ГОСТ 14254-80	IP44	IP44	IP44	IP44

Таблица П13 – Основные технические характеристики троллейного шинопровода ШМТ-АУ2

№п/п	Показатель	Номинальный ток ШМТ-АУ2	
		250А	400А
1	Электродинамическая стойкость, кА	10	15
2	Номинальный ток токосъемной каретки, А	40	-
3	Номинальный ток спаренных токосъемных кареток, А	-	63
4	Степень защиты	1Р21	1Р21

Таблица П14 – Значение коэффициента С для расчета сети по потере напряжения

Номинальное напряжение сети, В	Система сети и род тока	Значение коэффициента для алюминиевых
380/220	Трехфазная с нулём	44
220	Трехфазная без нуля	14,7
36	Трехфазная без нуля	0,396
380/220	Двухфазная с нулем	19,5
220	Двухпроводная переменногоили постоянного тока	7,4

Таблица П15 – Значения коэффициента приведения моментов α

Линия	Ответвление	Коэффициент приведения моментов α
Трехфазная с нулем	Ответвление	1,85
Трехфазная с нулем	Двухфазное с нулем	1,39
Двухфазная с нулем	Однофазное	1,33
Трехфазная без нуля	Двухпроводное	1,15

Таблица П16 – Шкафы распределительные серии ШР-11

Тип шкафа	Номинальный ток вводного рубильника Р18, А	Число трехполюсных групп предохранителей на отходящих линиях и их номинальные токи, А
ШР11-73701	250	5 x 63
ШР11-73702	250	5 x 100
ШР11-73703	250	2 x 63 + 3 x 100
ШР11-73704	400	8 x 63
ШР11-73705	400	8 x 100
ШР11-73706	400	8 x 250
ШР11-73707	400	3 x 100 + 2 x 250
ШР11-73708	400	5 x 250
ШР11-73709	400	4 x 63 + 4 x 100
ШР11-73710	400	2 x 63 + 4 x 100 + 2 x 250
ШР11-73711	400	6 x 100 + 2 x 250

Таблица П17 – Пункты распределительные серии ПР8501

№ схемы		Номинальное напряжение, В	Число автоматов	
С зажимами на вводе	С автоматом ВА51-33 на вводе		Однополюсных ВА51-29	Трёхполюсных ВА51-31
001	045	380	3	-
002	046	380	6	-
003	047	380	3	1
004	048	660	-	2
005	049	380	12	-
006	050	380	6	2
007	051	660	-	4
008	052	660	18	-
009	053	380	12	2
010	054	380	6	4
011	055	660	-	6

Примечание. Номинальный ток ввода 160 А, рабочий ток для IP21 – 128 А, для IP54 – 120 А.

Таблица П18 – Ящики силовые

№ п/п	Тип силового ящика	Номинальный ток аппарата, А	Номинальный ток предохранителей
1	ЯБПВУ-1м	100	100
2	ЯБПВУ-2	200	250
3	ЯБПВУ-4	250	315
		315	400
4	ЯБ1-2	160	200
		200	250
5	ЯРП-20	20	20
6	ЯРПШ-311	100	250
7	ЯРПШ-351	250	250
8	ЯПП-15	16	16
9	ЯВЗ-33	300	300
10	ЯВЗБ-32	200	200
11	ЯВЗ-32-1	250	-
12	ЯВЗ-34-1	400	-
13	ЯВЗБ-31-1	100	-

Таблица П19 – Значения экономической плотности тока для
алюминиевых проводников

Проводники	Экономическая плотность тока, А/мм ² , причисле часов максимума нагрузки в год		
	более 1000 до 3000	более 3000 до 5000	более 5000
Неизолированные проводаи шины	1,3	1,1	1,0
Кабели с бумажной и	1,6	1,4	1,2

провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляция			
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляция	1,9	1,7	1,6

Таблица П20 – Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с бумажной изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке

Сечен ие жилы, мм ²	Ток кабелей, А					
	одножил ных до 1кВ	двухжил ных до 1 кВ	трехжильных напряжением, кВ			четырёх жильных до 1 кВ
			До 3	6	10	
6	-	60/42	55/35	-	-	-
10	110/75	80/55	75/46	60/42	-	65/45
16	135/90	110/75	90/60	80/50	75/46	90/65
25	180/125	140/100	125/80	105/70	90/65	115/75
35	220/155	175/115	145/95	125/85	115/80	135/95
50	275/190	210/140	180/120	155/110	140/105	165/110
70	340/235	250/175	230/155	190/135	165/130	200/140
95	400/375	290/210	260/190	225/165	205/155	240/165
120	460/320	335/245	300/220	260/120	240/185	270/200
150	520/360	385/290	330/255	300/225	275/210	385/230
185	580/405	-	380/290	340/250	310/235	345/260
240	675/470	-	440/330	390/290	355/270	-

Примечание. Перед чертой указаны токи кабелей, прокладываемых в земле; за чертой – прокладываемых в воздухе.

Таблица П21 – Технические характеристики трансформаторов для комплектных трансформаторных подстанций

Тип трансформатора	Номинальная мощность, кВА	Потери, кВт		Напряжение КЗ, %	Ток ХХ, %
		ХХ	КЗ		
ТМЗ-630/10	630	1,31	7,6	5,5	1,8
ТМЗ-1000/10	1000	1,9	10,8	5,5	1,2
ТМЗ-1600/10	1600	2,65	16,5	6,0	1,0
ТМЗ-2500/10	2500	3,75	24,0	6,0	0,8
ТМВМЗ-630/10	630	1,2	8,5	5,5	0,4
ТМВМЗ-1000/10	1000	1,65	11,0	5,5	0,4
ТСЗЛ-630/10	630	1,65	7,1	5,5	1,4
ТСЗЛ-1000/10	1000	2,0	10,2	5,5	1,0
ТСЗЛ-1600/10	1600	2,8	15,0	5,5	0,7
ТСЗЛ-2500/10	2500	4,6	20,5	6,0	0,65

Таблица П22 – Комплектные конденсаторные установки

0,38 кВ		10,5 кВ	
Тип конденсаторной установки	Мощность, квар	Тип конденсаторной установки	Мощность, квар
для осветительных сетей			
УК2-0,38-50	50	УКЛ-10,5-450	450
УК3-0,38-75	75	УКЛ-10,5-900	900
УК4-0,38-100	100	УКЛ-10,5-1350	1350
для силовых сетей			
УКБН-0,38-100-50	100	УКЛ-10,5-1800	1800
УКБТ-0,38-150	150	УКЛ-10,5-2700	2700
УКТ-0,38-150	150		

УКБ-0,38-150	150		
УКБН-0,38-200-50	200		
УКЛН-0,38-300-150	300		
УКЛН-0,38-450-150	450		
УКЛН-0,38-600-150	600		

Обозначения: Б – бесшкафного исполнения; Н, Т – регулирование по напряжению, току; Л – левое расположение вводной ячейки.

Таблица П23 – Значения коэффициентов α для синхронных электродвигателей 10 кВ

Частота вращения, 1/мин	α	Минимальное значение R при номинальной мощности СД, кВт			
		1250	1600	2000	2500
250	0,2	0,016	-	-	-
	0,6	0,025	-	-	-
	1,0	0,03	0,02	-	-
	1,2	0,035	0,025	0,02	-
300	0,2	0,015	0,015	-	-
	0,6	0,025	0,025	0,02	-
	1,0	0,3	0,3	0,025	0,02
	1,2	0,035	0,035	0,03	0,023
375	0,2	0,015	-	-	-
	0,6	0,025	0,02	0,02	0,2
	1,0	0,3	0,27	0,025	0,022
	1,2	0,035	0,03	0,028	0,025

500	0,2	0,015	-	-	-
	0,6	0,025	0,02	-	-
	1,0	0,3	0,027	0,02	-
	1,2	00,035	0,03	0,022	0,02
600	0,2	-	-	-	-
	0,6	-	-	-	-
	1,0	0,02	0,02	0,02	-
	1,2	0,025	0,025	0,022	0,02
750	0,2	-	-	-	-
	0,6	-	-	-	-
	1,0	0,02	0,02	0,02	-
	1,2	0,025	0,025	0,022	0,02
1000	0,2	-	-	-	-
	0,6	0,017	-	-	-
	1,0	0,022	0,02	-	-
	1,2	0,025	0,022	0,018	-