

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Н. Г. Семенова, А.Т. Раимова

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ С ОСНОВАМИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Рекомендовано ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по программам высшего образования по направлению подготовки 08.03.01 Строительство

Оренбург
2016

УДК 621.311(075.8)
ББК 31.29-5я73
С 30

Рецензент – доцент, кандидат технических наук Л. В. Быковская

Семенова Н. Г.

С 30

Электроснабжение с основами электротехники: учебное пособие.
Часть 2 / Н. Г. Семенова, А. Т. Раимова; Оренбургский гос. ун-т. –
Оренбург : ОГУ, 2016. – 125 с.
ISBN 978-5-7410-1876-7

В учебном пособии изложен материал, помогающий студентам при подготовке и выполнении практических и лабораторных занятий по исследованию систем электроснабжения объектов строительного производства, усвоению основных принципов измерений и анализу полученных результатов измерения. Изучение разделов учебного пособия, сформированных на основе компетенций направления подготовки 08.03.01 Строительство, способствует приобретению навыков творческого применения знаний по курсу не только в процессе обучения, но и в дальнейшем в дипломных и исследовательских работах.

Учебное пособие является основным учебным руководством при выполнении практических заданий и лабораторных работ по курсу «Электроснабжение с основами электротехники» студентами, обучающимися по программам высшего образования по инженерно-техническим неэлектротехническим направлениям подготовки.

УДК 621.311(075.8)
ББК 31.29-5я73

© Семенова Н. Г.,
Раимова А. Т., 2016
© ОГУ, 2016

Содержание

Введение	5
Список сокращений	8
1 Основы электроснабжения. Расчет электрических нагрузок строительных объектов.....	9
1.1 Теоретическое введение	9
1.1.1 Основные понятия	9
1.1.2 Система электроснабжения строительного объекта	11
1.1.3 Электрические сети строительных площадок	18
1.1.4 Расчет нагрузок строительных объектов в сетях 0,4 кВ	27
1.1.5 Электрическое освещение	35
1.2 Практические занятия	44
1.2.1 Практическое занятие № 1. Анализ систем электроснабжения строительных объектов	44
1.2.2 Практическое занятие № 2 Расчет нагрузок строительных объектов в трехфазных электрических сетях	47
1.2.3 Расчетно-графическое задание	53
1.3 Лабораторные занятия	56
1.3.1 Лабораторная работа № 1. Измерение потребления активной и реактивной мощности низковольтными электроприемниками в трехфазной электрической сети переменного тока	57
1.4 Тесты	66
2 Качество и надежность в системах электроснабжения строительных объектов	69
2.1 Теоретическое введение	69
2.1.1 Компенсация реактивной мощности в электрических сетях строительных объектов	69

2.1.2	Качество электроэнергии	78
2.1.3	Электробезопасность	81
2.2	Практические занятия	91
2.2.1	Практическое занятие № 3. Компенсация реактивной мощности в электрических сетях	91
2.2.2	Расчетно-графическое задание	96
2.3	Лабораторные занятия	97
2.3.1	Лабораторная работа № 2. Компенсация реактивной мощности в электрических сетях	98
2.4	Тесты	102
3	Требования к оформлению индивидуальных заданий	106
3.1	Правила оформления расчетно-графического задания	106
3.1.1	Титульный лист и задание	106
3.1.2	Оформление расчетной и графической частей	106
3.2	Содержание отчетов по лабораторным работам	108
	Список использованных источников	109
	Приложение А Расчет нагрузок строительных объектов	111
	Приложение Б Средние удельные нормы расхода электроэнергии на отдельные виды производства строительных материалов и работ	115
	Приложение В Характеристики алюминиевых и медных проводников	116
	Приложение Г Электрическое освещение	119
	Приложение Д Расчет нагрузок от ЭП квартир	121
	Приложение Е Компенсация реактивной мощности	123
	Приложение Ж Расчет заземления	124

Введение

Электроснабжение объектов строительного производства предполагает надежное бесперебойное обеспечение строительных площадок и технологических процессов по производству строительных материалов электрической энергией.

Система электроснабжения объекта строительного производства является подсистемой энергосистемы и подсистемой технологической системы производства на этом объекте. Электроэнергия, передаваемая по районным электросетям в систему электроснабжения объекта строительного производства, рассматривается как одна из составляющих производственного процесса наряду с сырьем, материалами, трудозатратами. Строительство новых и реконструкция действующих объектов строительства должно осуществляться на базе применения прогрессивной технологии, современного электрифицированного оборудования, машин и механизмов.

На объектах строительства потребителями электроэнергии являются строительно-монтажные краны, экскаваторы, станки в ремонтных мастерских, электродвигатели приводов строительных машин и механизмов, сварочные агрегаты и иное строительное оборудование.

Электрические системы строительных площадок и предприятий по производству строительных материалов представляют собой совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии, состоящую из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, работающих на определенной территории. Электрические сети должны обеспечивать:

- надежность электроснабжения;
- качество передаваемой электроэнергии;
- безопасность работы электротехнического и неэлектротехнического персонала при эксплуатации сетей и электроустановок;
- экономичность, то есть снижение затрат при сооружении и эксплуатации сетей и установок;

- изменение конфигурации сетей в связи с изменением технологии строительного производства;
- снижение потерь электроэнергии в сетях;
- экологичность, т.е. отсутствие вредного влияния на окружающую среду.

Электрические сети строительных площадок могут быть сетями переменного и постоянного тока. Сети переменного тока могут быть как однофазными, так и трехфазными. В основном сети выполняются по системе трехфазного переменного тока частотой 50 Гц. Однако для обеспечения надежной работы таких технологических установок, как нагрев металла под закалку, ковку, штамповку, плавка металлов, могут включаться установки повышенной (до 10 кГц) и высокой (выше 10 кГц) частоты.

Сети постоянного тока необходимы для электроснабжения технологических установок электролизных, гальванических, а также электроприводов подъемно-транспортных механизмов, станков.

По электрическим сетям от источников к электроприемникам передается не только активная энергия (мощность), которая преобразуется в другие виды, но и реактивная мощность. Передача реактивной мощности по электрическим сетям строительного производства приводит к повышенным потерям электроэнергии в сетях и к дополнительным затратам на оплату электроэнергии.

В настоящем учебном пособии, рассматриваются общие вопросы электроснабжения и электропотребления для объектов строительства, вспомогательных предприятий строительного производства. При изучении учебного материала будущий специалист ориентируется на проектирование и эксплуатацию систем электроснабжения и электротехнических устройств, преобразующих электроэнергию в другие виды.

В первом разделе рассмотрены основы электроснабжения: основные понятия, система электроснабжения строительного объекта, электрические сети строительных площадок, расчет нагрузок строительных объектов. На основании расчета электрических нагрузок выполняется расчет и выбор электрических

сетей, коммутационных и защитных аппаратов, источников питания, преобразовательных установок и других электротехнических устройств.

Во втором разделе рассмотрены современные методы обеспечения надежности систем электроснабжения, компенсация реактивной мощности в распределительных сетях строительных площадок, защита от атмосферных перенапряжений оборудования и персонала.

В каждом разделе после теоретического введения приводятся примеры решения практических задач, варианты расчетно-графических заданий, лабораторные работы, включающие контрольные вопросы, и тесты для проверки усвоения теоретического, практического и исследовательского материала.

В третьем разделе приведены требования к оформлению расчетно-графического задания и отчета по лабораторным работам.

Учебное пособие будет полезно не только для студентов направления подготовки «Строительство», но и для студентов других неэлектротехнических направлений подготовки.

Список сокращений

ВН - высокое напряжение

ВЛ – воздушная линия

ДВС - двигатель внутреннего сгорания

ЗРУ - закрытое распределительное устройство

ИП – источник питания

КРУ – комплектное распределительное устройство внутренней установки

КРУН – комплектное распределительное устройство наружной установки

КУ – компенсирующее устройство

КЛЭП – кабельная линия электропередачи

ЛЭП – линия электропередачи

НН – низкое напряжение

ОРУ – открытое распределительное устройство

ОС – объект строительства

ПВ – продолжительность включения

ПКР – повторно-кратковременный режим

ПСП – предприятие строительного производства

ПЭЭ – потребитель электрической энергии

РП – распределительный пункт

РУ – распределительное устройство

РЭС – районная электрическая сеть

СИП – самонесущие изолированные провода

СП – строительная площадка

СЭС – система электроснабжения

ТП – трансформаторная подстанция

ЦРП - центральный распределительный пункт

ЭП – электроприемник

ЭС – электрическая сеть

ЭС СП – электрическая сеть строительной площадки

ЭУ – электроустановка

Раздел 1. Основы электроснабжения. Расчет электрических нагрузок строительных объектов

1.1 Теоретическое введение

Электроснабжение – обеспечение потребителей электроэнергией.

Задачами электроснабжения объектов строительства являются:

- обеспечение:
 - бесперебойного снабжения электрической энергией ЭП;
 - оптимальных параметров систем электроснабжения;
 - компенсации реактивной мощности при необходимости;
 - защиты электроустановок строительных объектов;
- выбор необходимого электрооборудования на основе расчета электрических нагрузок;
- рациональное распределение электроэнергии между потребителями.

Задачами электропотребления являются:

- организация безопасных и экономичных режимов работы ЭП при минимальных финансовых затратах;
- сокращение потерь электроэнергии.

1.1.1 Основные понятия

Система электроснабжения – совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей электрической энергией.

Энергосистема – это совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей, соединенных между собой и связанных общностью режима в непрерывном процессе производства, преобразования, передачи и распределения электрической и тепловой энергии при общем управлении этим режимом.

В общем случае структура энергосистемы может представлять собой схему, приведенную на рисунке 1.1.

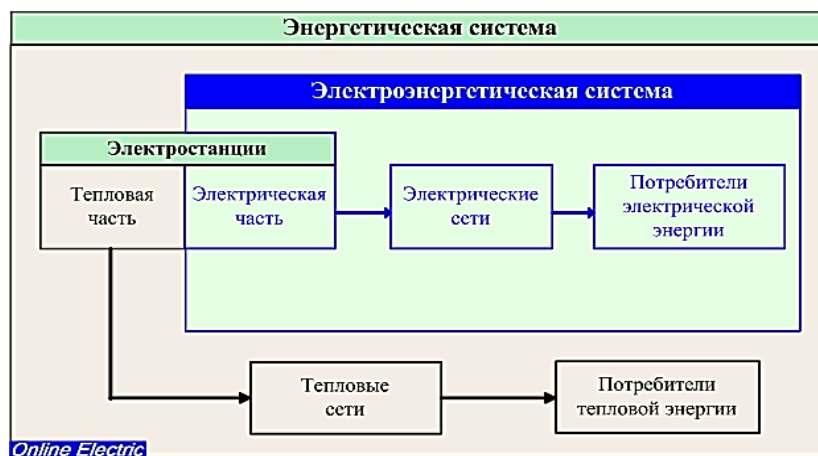


Рисунок 1.1 – Структура энергосистемы

Электроэнергетическая система – электрическая часть энергосистемы и питающиеся от нее приемники электроэнергии, объединенные общностью процесса производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии.

Схема электроэнергетической системы, включающей генераторы, распределительные устройства, повышающие и понижающие подстанции, линии электропередачи и приемники электроэнергии, приведена на рисунке 1.2.



ЭС – электростанция; ПС1 – повышающая подстанция; ЛЭП – линия электропередач; ПС2 – понижающая подстанция; ЭП – электроприемник.

Рисунок 1.2 – Структура электроэнергетической системы

Распределительное устройство – электроустановка, служащая для приема и распределения электроэнергии и содержащая коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства (компрессорные, аккумуляторные и др.), а также устройства защиты, автоматики, телемеханики, связи и измерений.

Электрической подстанцией называется электроустановка, предназначенная для приема, преобразования и распределения электроэнергии потребителям.

Трансформаторная подстанция (ТП) – это электроустановка, предназначенная для приема, распределения и преобразования электрической энергии одного напряжения в электрическую энергию другого напряжения с помощью трансформаторов.

Преобразовательная подстанция (ПП) – электрическая подстанция, предназначенная для преобразования рода тока или его частоты.

Распределительная сеть (РС) – совокупность электроустановок для передачи и распределения электроэнергии, состоящая из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, работающих на определенной территории.

Линии электропередач (ЛЭП) – электрическая линия, выходящая за пределы электростанции или подстанции и предназначенная для передачи электрической энергии.

Трансформатор – статическое электромагнитное устройство, имеющее две или более индуктивно связанных обмоток и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной или нескольких систем переменного тока в одну или несколько других систем переменного тока при неизменной частоте и малой потере мощности.

Нейтраль – это общая точка соединенных в звезду фазных обмоток (элементов) электрооборудования.

Приемник электрической энергии (электроприемник) – это аппарат, агрегат и др., предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид энергии для ее использования.

1.1.2 Система электроснабжения строительного объекта

Электроснабжение строительных объектов производится от электрических станций (ЭС), которые могут находиться, как вблизи ЭП, так и на значительных

расстояниях. Наиболее распространенной схемой является схема, по которой предприятия получают электроэнергию от подстанций районных электрических сетей (РЭС) региональной энергосистемы.

Система электроснабжения строительных объектов является сложной системой и включает:

- *систему внешнего электроснабжения*, в которую входит совокупность электроустановок и устройств между узловым распределительным пунктом энергосистемы и понизительной ТП самого предприятия, ЛЭП (применяются, в основном, напряжения 6-35 кВ);

- *систему внутреннего электроснабжения* крупного предприятия строительного производства (ПСП), которую характеризует большая разветвленность распределительной сети (распределение электроэнергии осуществляется при напряжении 6-10 кВ);

- *систему внутри объектного электроснабжения* строительной площадки, представляющую собой электрические сети напряжением 380/220 В, которое обеспечивает применение в системах электропотребления ЭП, рассчитанных на напряжение 380 В трехфазного тока и 220 В однофазного тока.

Всю систему электроснабжения объекта можно условно разделить на 3 взаимосвязанные составляющие:

- систему питания;
- систему распределения;
- систему потребления.

Система питания включает один или несколько источников питания (ИП), преобразующие подстанции, ЛЭП.

В качестве ИП могут быть:

- электрическая станция или подстанция энергосистемы;
- электрическая подстанция предприятия;
- распределительное устройство вторичного напряжения подстанции.

В основном, электроснабжение осуществляется от ТП, которые, в свою очередь, получают электроэнергию от электростанций энергосистемы. Ключевым

элементом ТП являются однофазные и трехфазные силовые трансформаторы. Мощность потерь в электрических трансформаторах определяется суммой мощностей потерь в магнитопроводе (потери в стали) P_c и в проводах обмоток (потери в меди) P_m .

При расчете ТП определяется:

- *полная расчетная мощность трансформаторной подстанции* (полная расчетная мощность нагрузки – это может быть не максимальная активная нагрузка в системе электроснабжения, а средняя нагрузка за наиболее загруженную смену) $S_{\text{расч}}$, кВ·А;

- *номинальная мощность трансформатора* выбирается равной или большей расчетной мощности из шкалы мощностей силовых трансформаторов:

$$25, 40, 63, 100, 160, 250, 400, 630, 1000, \\ 1600, 2500, 4000, 6300, 10000 \text{ кВА и т.д. до } 80000 \text{ кВА}; \quad (1.1)$$

- *минимальное количество трансформаторов* на ТП:

$$N_T = \frac{S_{\text{расч}}}{K_3 \cdot S_{\text{Т ном}}}, \quad (1.2)$$

где $S_{\text{Т ном}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

$S_{\text{расч}}$ – расчетная полная мощность нагрузки подстанции, кВт;

K_3 – коэффициент загрузки трансформаторов.

Значение коэффициента загрузки K_3 зависит от категории надёжности ЭП.

По надёжности электроснабжения все ЭП подразделяются на три категории.

ЭП I категории – электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб, вызвать расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения.

Обеспечение электроэнергией этих потребителей осуществляется от двух независимых взаимно резервирующих ИП, перерыв электроснабжения

допускается на время автоматического восстановления питания.

ЭП II категории – электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей. Обеспечение электроэнергией этих потребителей осуществляется от двух независимых взаимно резервирующих ИП, перерыв электроснабжения допускается на время, в течение которого осуществляется включение резервного питания;

ЭП III категории – все остальные электроприемники, не поддающиеся под определения первой и второй категорий. Электроснабжение может выполняться от одного источника питания, перерыв электроснабжения допускается на время выполнения ремонтных работ, но не более суток.

Есть особая группа потребителей, для электроснабжения которой должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого взаимно резервирующего источника питания. В качестве третьего независимого источника питания для особой группы электроприемников и в качестве второго независимого источника питания для остальных электроприемников первой категории могут быть использованы местные электростанции, электростанции энергосистем (в частности, шины генераторного напряжения), предназначенные для этих целей агрегаты бесперебойного питания, аккумуляторные батареи и т.п.

Значения оптимального коэффициента загрузки K_3 для различных групп потребителей определяются в следующих диапазонах:

- для потребителей *I категории* – $K_3 = 0,6-0,7$;
- для потребителей *II категории* – $K_3 = 0,7-0,8$;
- для потребителей *III категории* – $K_3 = 0,9-0,95$.

Для электроснабжения приемников *I* и *II* категории применяются двух трансформаторные подстанции. Мощность трансформаторов выбирается такой, чтобы при выходе из строя одного из трансформаторов, другой, резервирующий его, мог принять всю нагрузку на себя с учетом систематических и аварийных перегрузок.

Для ЭП III категории применяются одно трансформаторные подстанции.

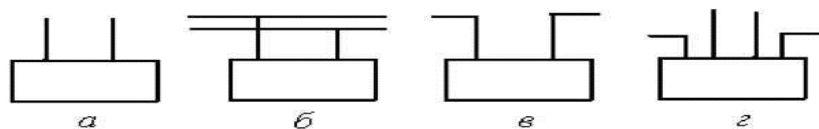
Из формулы (1.2) могут быть определены фактический коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме и номинальная мощность трансформаторов.

Фактический коэффициент загрузки K_3 в послеаварийном режиме работы трансформатора рассчитывается по формуле:

$$K_{3.\text{пав}} = \frac{S_{\text{расч}}}{(N_{\text{т}} - 1) \cdot S_{\text{т ном}}} . \quad (1.3)$$

Система распределения включает пункты приема электроэнергии, распределительные и потребительские подстанции, распределительные сети.

В качестве *пункта приема* электроэнергии может выступать главная понизительная подстанция (ГПП), которая служит для питания нескольких потребителей (объектов). ГПП стройки получает электроэнергию от энергосистемы при напряжении 35-220 кВ и распределяет ее по ТП предприятия при напряжении 6-20 кВ. На рисунке 1.3 приведены типы ТП по способу присоединения к питающим линиям.



а) тупиковые, б) ответвительные, в) проходные, г) узловые

Рисунок 1.3 – Типы трансформаторных подстанций

На рисунках 1.4 приведены схемы ГПП. При необходимости вывода трансформатора в ремонт, его можно отключить выключателем $Q1$ на районной подстанции и отсоединить от питающей линии разъединителем QS – подстанция с короткозамыкателем и отделителем согласно рисунку 1.4, а.

Питание ГПП может осуществляться по одной или двум линиям. Двух трансформаторные подстанции должны получать питание по двум линиям, рисунок 1.4, б. Как правило, шины низкого напряжения ТП выполняются

секционированными. Между секциями шин устанавливается секционный выключатель для повышения надежности. При авариях и выполнении ремонтных работ на одной из секций вторая остается в работе.

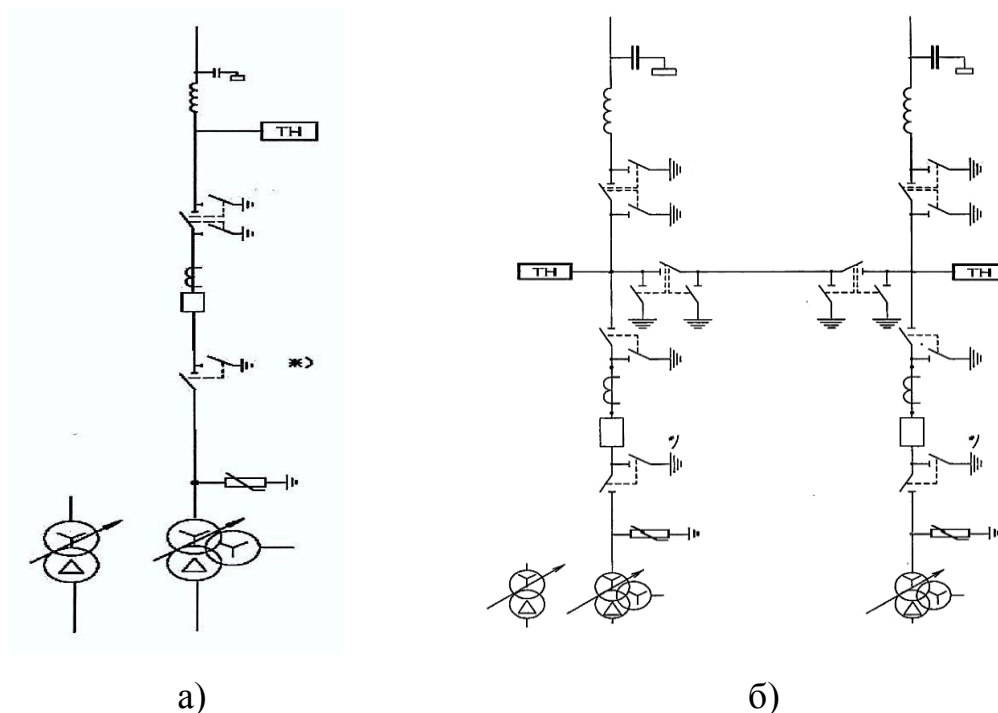


Рисунок 1.4 – Схемы ТП без сборных шин на первичном напряжении 35-220 кВ

Одно трансформаторные подстанции применяются при резервировании от соседних подстанций по линиям вторичного напряжения 0,4 кВ, как показано на рисунке 1.5.

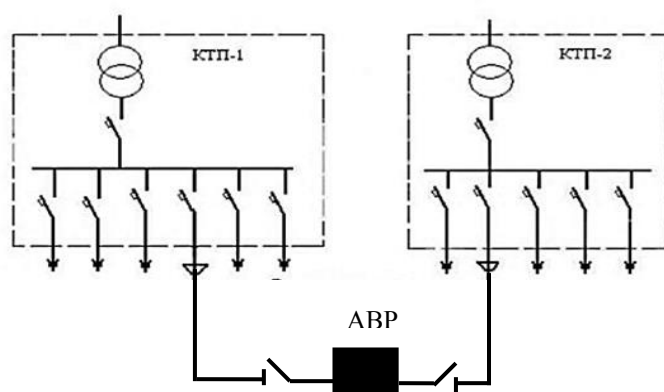


Рисунок 1.5 – Резервирование при электроснабжении

Резервирование осуществляется по резервирующим перемычкам или линиям связи, которые связывают две подстанции и при необходимости передают электроэнергию с шин одного трансформатора на шины другого трансформатора.

Система потребления включает разнотипные ЭП, называемые нагрузкой. Большинство ЭП технологических установок объектов строительства, технологических процессов, бытовых установок строительного производства предназначены для работы при напряжении до 1 кВ.

Электроустановками называют совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования, предназначенных для производства, преобразования, передачи, накопления, распределения электроэнергии и преобразования ее в другие виды энергии. Электроустановка – комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений. Примеры электроустановок: электрическая подстанция, линия электропередачи, распределительная подстанция, конденсаторная батарея и др.

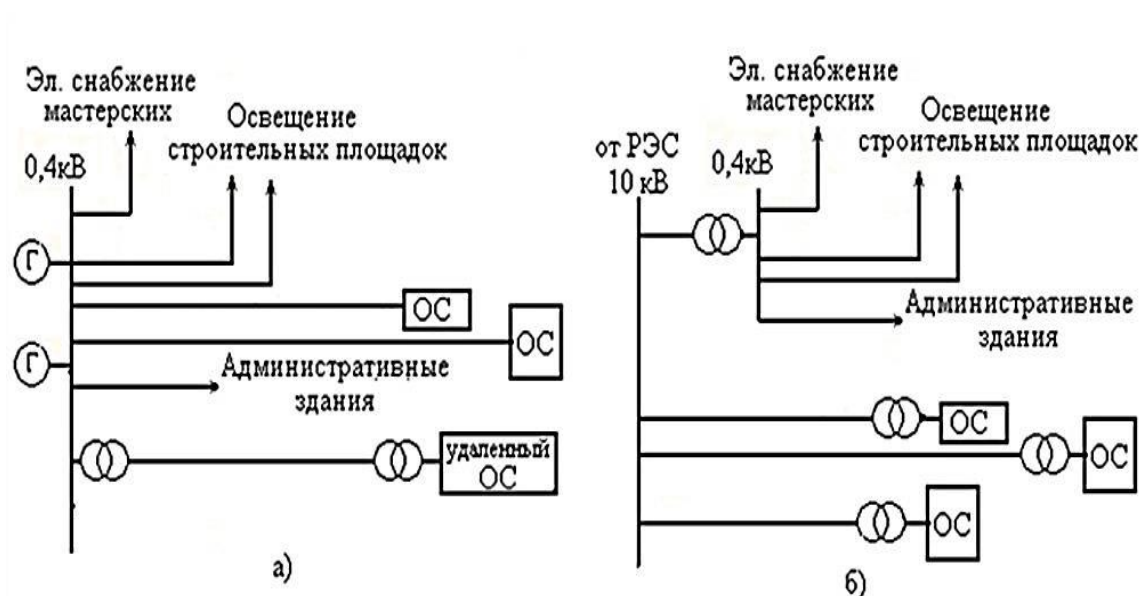
По технологическому назначению приемники электроэнергии классифицируются по виду энергии, в который данный ЭП преобразует электроэнергию, а именно:

- электродвигатели приводов машин и механизмов;
- электротермические и электрохимические установки;
- установки электросиловые и электроосвещения;
- установки электростатического и электромагнитного поля и др.

Преобразование электроэнергии одного уровня в электроэнергию другого уровня происходит на потребительских подстанциях, а распределение по сетям при напряжении 0,4 кВ. На рисунках 1.6 приведены схемы электроснабжения объектов строительства от генераторов собственной электростанции и от РЭС.

В трехфазных сетях имеет место как симметричная, трехфазные электродвигатели и печи, так и несимметричная нагрузка. Поэтому в режимах работы электрических сетей необходимо учитывать эту несимметричность нагрузки по фазам.

К несимметричным нагрузкам (одно- и двухфазным) относятся электрическое освещение, однофазные и двухфазные печи, сварочные агрегаты и иное оборудование строительных объектов.



а) от генераторов собственной электростанции; б) от районной энергосети

Рисунок 1.6 – Системы электроснабжения объектов строительства

По мощности и напряжению, в зависимости от суммарной установленной мощности ЭП строительных объектов разделяются на три группы:

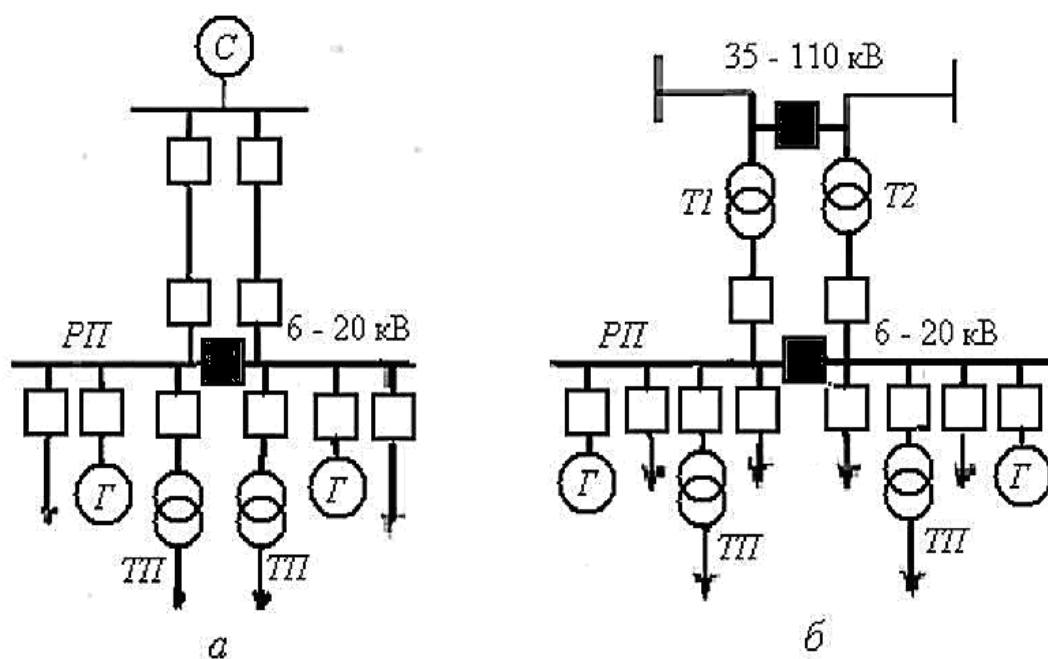
- крупные, с суммарной установленной мощностью ЭП, равной или больше 75 МВт;
- средние, с установленной мощностью 5-75 МВт;
- малые, установленная мощность которых составляет менее 5 МВт.

Для отдельных ЭП одним из главных показателей является их номинальная мощность, у электродвигателей – их номинальная мощность, выраженная в кВт. Для электропечей, сварочных установок их номинальной (установленной) мощностью является мощность питающих трансформаторов.

1.1.3 Электрические сети строительных площадок

Электроснабжение строительных объектов производится от электрических станций, которые могут находиться, как вблизи ЭП, так и на значительных расстояниях. Электроснабжение ЭП осуществляется электрическими сетями как постоянного, так и переменного тока, которые, в свою очередь, подразделяются на сети однофазного и трехфазного тока.

Возможно электроснабжение строительных площадок и производств от смежных источников питания, например, от энергосистемы и от собственной электростанции. При этом уровни напряжений на шинах *РП* от энергосистемы и собственной электростанции должны совпадать, рисунок 1.7, а. При несовпадении напряжений применяется трансформация напряжения от энергосистемы через трансформаторы *Т1* и *Т2*, рисунок 1.7, б, что обеспечивает связь между источниками питания и приемниками электроэнергии.



С – энергосистема; Г – генератор электростанции;

РП – распределительный пункт; *Т1* и *Т2* – понижающие трансформаторы;

ТП – потребительские трансформаторные подстанции

Рисунок 1.7 – Схема электроснабжения строительной площадки

Возможно электроснабжение при двухстороннем питании, рисунок 1.7, б. Схемы электроснабжения с двухсторонним питанием намного надежнее. Поскольку при повреждении одной из линий электропередачи, снабжение ЭП энергией осуществляется от второй линии через секционный выключатель на стороне низкого напряжения.

Передача и распределение электроэнергии от ИП к распределительным пунктам (РП), ТП или непосредственно отдельным ЭП осуществляется по одной из трех схем: радиальным, магистральным, смешанным.

Радиальные схемы обладают высокой надежностью. В радиальных схемах линии электропередач отходят от ИП «по радиусам» к ТП, согласно рисунка 1.8. По радиальной схеме подключаются наиболее мощные ЭП или отдельные распределительные пункты.

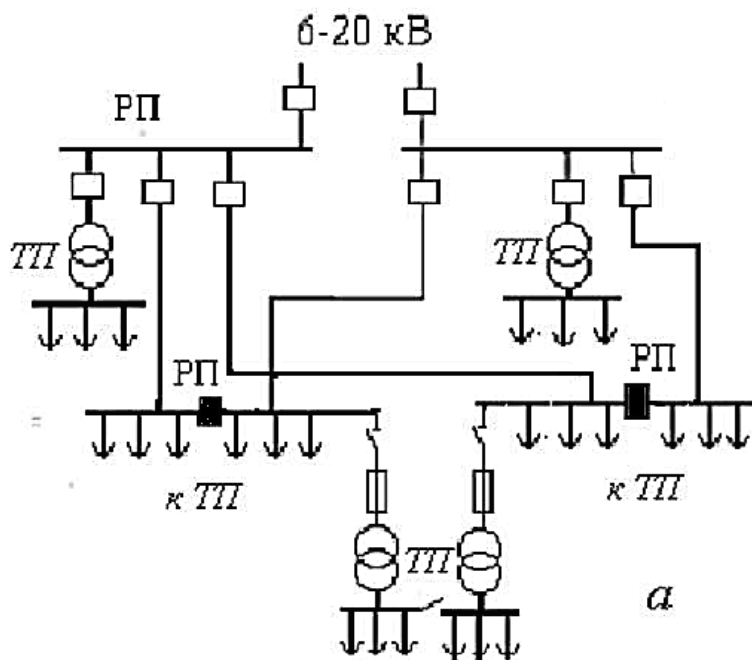


Рисунок 1.8 – Радиальная схема электроснабжения потребителей с двухсторонним питанием

Недостатком радиальной схемы является возможность обесточивания большой группы ЭП при аварийном отключении питающей линии. Однако эта проблема решается применением резервирования.

При *магистральной схеме* несколько *ТП* или *РП* обслуживаются одной питающей магистралью, как видно из рисунков 1.9.

Распределение энергии осуществляется путем выполнения ответвлений к отдельным *ТП*.

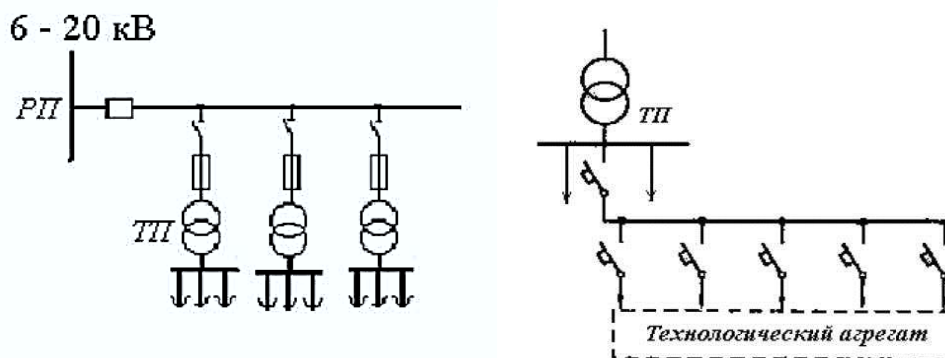


Рисунок 1.9 – Магистральная схема электроснабжения потребителей

Магистральная схема применяется для питания нескольких *ЭП* отдельного технологического агрегата, рисунок 1.9, а, или небольшого количества мелких *ЭП*, не связанных технологическим процессом, рисунок 1.9, б.

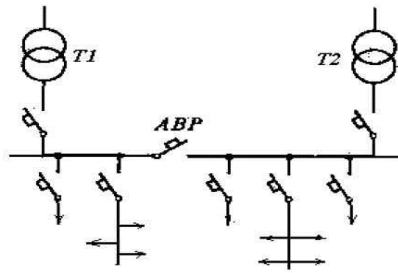
Магистраль ВЛ – это участок линии от питающей *ТП* до концевой опоры. К магистрали воздушной линии могут быть присоединены линейные ответвления или ответвления к вводам.

К достоинствам магистральных схем следует отнести:

- уменьшение протяженности сетей и количества выключателей на *РП*;
- снижение потерь мощности в сетях и затрат на сооружение сетей.

Однако при повреждении магистрали обесточенными оказываются все потребители, питающиеся от нее, что, естественно, ведет к снижению надежности электроснабжения *ЭП*.

Наибольшее распространение в настоящее время получили смешанные схемы, сочетающие и радиальные и магистральные признаки, рисунок 1.10.



$T1$ и $T2$ трансформаторы двух трансформаторной подстанции

Рисунок 1.10 – Смешанная схема электроснабжения потребителей

В отдельную группу выделяются *осветительные сети*. Схемы электроснабжения осветительной нагрузки в системе электроснабжения любого строительного предприятия соответствуют схемам силовой нагрузки.

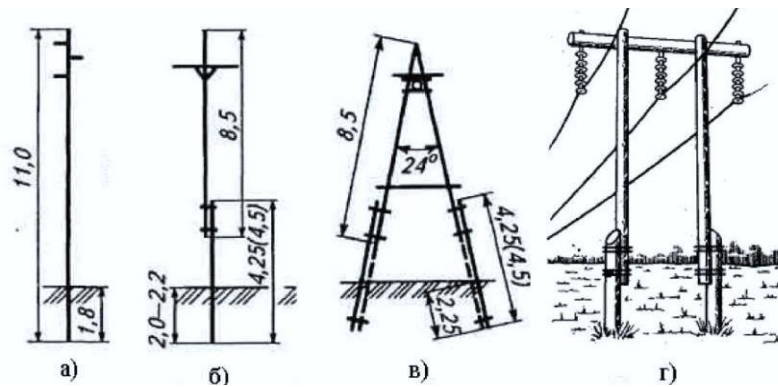
Конструктивно ЛЭП могут выполняться воздушными и кабельными.

Воздушная ЛЭП (ВЛЭП) представляет собой сооружение из металлических проводов, предназначенных для передачи электроэнергии на большие расстояния, укрепленных на опорах при помощи изоляторов и арматуры. ВЛЭП может быть выполнена *одноцепной* или *двухцепной*. В высоковольтных воздушных ЛЭП используют *неизолированные (голые) провода* из меди, алюминия и стали. По конструкции провода выпускаются, в основном, многопроволочными, выполненными из проволок одинакового сечения. Число проволок может быть 7, 12, 19 и 37, что обеспечивает более плотное прилегание к центральной проволоке.

Для воздушных ЛЭП напряжением 0,4 и 1 кВ, кроме голых проводов, применяют *изолированные провода* и *самонесущие изолированные провода (СИП)*.

Опоры ВЛ предназначены для поддержания проводов на необходимой высоте над землей и сооружениями. На опорах ВЛ для защиты проводов от прямых ударов молний и возникающих при этом перенапряжений подвешивают стальные грозозащитные заземленные тросы. Материалом для изготовления опор может быть древесина, железобетон, металлический прокат.

На рисунке 1.11 представлены конструкции опор ВЛЭП на напряжение 10-220 кВ. Высота опор представлена в метрах.



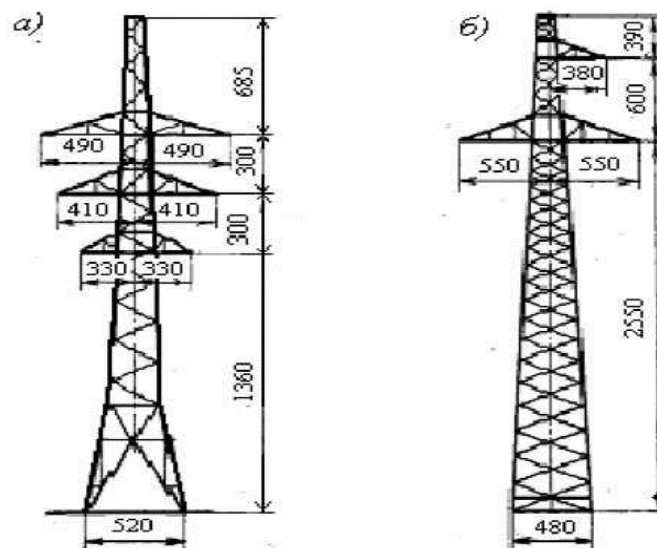
а) промежуточная цельная, б) промежуточная с приставкой,
в) анкерная, г) П – образная

Рисунок 1.11 – Конструкции деревянных опор ВЛ на напряжение 10-220 кВ

Железобетонные опоры применяются в линиях электропередачи на напряжение 6-220 кВ. Длина стоек опор до 25 м. Ж/б опоры выполняются:

- на напряжение 35 кВ для крепления грозозащитного троса и без него;
- для электросети до 1 кВ цельностоечными.

Металлические опоры применяют на напряжение 110 кВ и выше. Их устанавливают на фундаменты или подпятники. Конструкции металлических опор показаны на рисунках 1.12. Размерные величины приведены в сантиметрах.



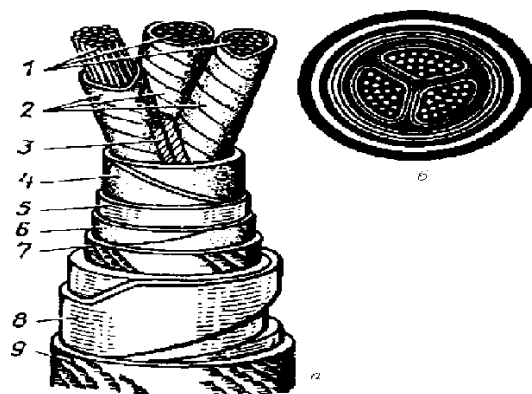
а – для двухцепной линии на 110кВ; б – для одноцепной линии на 220 кВ

Рисунок 1.12 – Металлические опоры ВЛЭП

Кабельные линии прокладываются в местах, где затруднено сооружение ВЛЭП. Кабели прокладываются в земляных траншеях с защитой от механических

повреждений кирпичом или железобетонными плитами. В одной траншее укладывают не более 6 кабелей. Прокладка выполняется змейкой для компенсации температурных деформаций

Кабель имеет герметизирующую свинцовую или алюминиевую оболочку, защищается броней из стальной ленты от механических повреждений и джутовым покровом от коррозии как показано на рисунке 1.13.



- 1 - токоведущая жила; 2 - фазовая изоляция; 3 - заполнитель из джута; 4 - поясная изоляция; 5 - оболочка; 6 - кабельная бумага; 7 - джутовая рубашка;
8 - броня из стальной ленты; 9 - джутовый покров

Рисунок 1.13 – Трехжильный бронированный кабель (а) и его сечение (б)

В последние годы широко применяются кабели из сшитого полиэтилена (СПЭ). Востребованность данного кабеля обусловлена следующим:

- пропускная способность в 1,2-1,3 раза больше благодаря более высокой допустимой температуры;
- выше термическая стойкость при токах короткого замыкания;
- удельная повреждаемость кабелей в 10-15 раз ниже, чем у кабелей с бумажной изоляцией;
- больший срок службы;
- возможность прокладки кабеля при отрицательных температурах;
- более экологичны и др.

Расчет номинального напряжения ЛЭП

При проектировании систем электроснабжения особое значение отводится развитию электрических сетей. Одновременно с разработкой вопроса о конфигурации электрической сети решается вопрос о выборе номинального напряжения $U_{ном}$ ЛЭП, которое зависит от многих факторов.

На практике используются различные подходы, одним из которых является выбор номинального напряжения по эмпирическим формулам с учетом известной активной мощности линии P и длины линии L . Шкала номинальных напряжений переменного тока, согласно ГОСТ:

- в сетях до 1 кВ: 36; 220/127; 380/220; 660/380 В;
- в сетях выше 1 кВ: 3; 6; 10; 20; 35; 110; 150; 220; 330; 500; 750 кВ. (1.4)

Принимается ближайшее большее стандартное напряжение.

Математическое выражение эмпирических формул и область их действия приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Математические выражения и область действия формул

Наименование формулы	Область действия формулы	Формула
<i>Стилла</i>	$L \leq 250$ км; $P \leq 60$ МВт	$U_{ном} \approx 4,34\sqrt{L + 0,016P}$
<i>Залесского</i>	$L \leq 1000$ км; $P > 60$ МВт	$U_{ном} = \sqrt{P(0,1 + 0,015\sqrt{L})}$
<i>Илларионова</i>	$U = (35 \div 110)$ кВ	$U_{ном} = 1000 / \sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P}}$

где L – длина линии, км;

P – активная мощность, МВт.

Расчет потерь мощности и напряжения ЛЭП

Провода ЛЭП имеют как индуктивное, так и резистивное сопротивление, в связи с чем они нагреваются током. Поскольку эта теплота рассеивается возникают потери активной мощности ΔP_n , которые стремятся снизить. Эффективным способом снижения потерь мощности является снижение действующего значения тока:

$$\Delta P = I^2 \cdot R_n, \quad (1.5)$$

где R_l – активное сопротивление линии, Ом.

В общем случае потери мощности (ΔP , кВт) определяются по формуле:

$$\Delta P = \frac{P_a^2}{U_{cp}^2} \cdot \frac{R_0 \cdot L}{T} \cdot 10^{-3}, \quad (1.6)$$

где P_a – годовое потребление активной мощности, кВт;

U_{cp} – среднее напряжение, кВ;

R_0 – удельное активное сопротивление линии (таблица В.2), Ом/км;

L – длина линии, км;

T – время работы трансформаторной подстанции в течение года, ч.

Снижение потери мощности возможно при снижении действующего значения тока. Снижение действующего значения тока при передаче неизменной мощности возможно при повышении уровня напряжения ЛЭП. Потери напряжения ЛЭП ΔU_p в общем случае выражаются в вольтах или в процентах относительно номинального напряжения:

$$\begin{aligned} \Delta U_p &= U_1 - U_2. \\ \Delta U_p, \% &= \frac{U_1 - U_2}{U_H} \cdot 100\%, \end{aligned} \quad (1.7)$$

где U_1 – напряжение в начале линии, В;

U_2 – напряжение в конце линии, В;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение сети, В.

Приближенно можно считать, что потери напряжения определяются по одной из ниже приведенных формул:

- в однопроводной линии однофазного тока:

$$\Delta U_p = I_p \cdot L \cdot (R_0 \cdot \cos \varphi + X_0 \cdot \sin \varphi); \quad (1.8)$$

- при чисто активной нагрузке (лампы накаливания, нагревательные печи),
когда $\cos \varphi = 1$:

$$\Delta U_p = I_p \cdot L \cdot R_0; \quad (1.9)$$

- в двухпроводной линии однофазного тока:

$$\Delta U_p = I_p \cdot L \cdot (R_0 \cdot \cos \varphi + X_0 \cdot \sin \varphi) \cdot 100 \% / (2 \cdot U_{\text{ном}}); \quad (1.10)$$

- в трехфазной линии электропередачи:

$$\Delta U_p = (\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot (R_0 \cdot \cos \varphi + X_0 \cdot \sin \varphi) \cdot 100 \% / (n \cdot U_{\text{ном}}), \quad (1.11)$$

где I_p – расчетный ток линии, А;

L – длина линии, км;

R_0 – удельное активное сопротивление линии (таблица В.2), Ом/км;

X_0 – удельное индуктивное сопротивление линии (таблица В.3), Ом/км;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности нагрузки (таблица А.1);

n – число параллельных проводов ЛЭП;

Потери напряжения в линии, имеющей несколько участков с разными нагрузками, определяются как сумма потерь на ее отдельных участках.

Если потери напряжения в нормальном режиме составят меньше 5 %, то выбранное сечение проводника удовлетворяет условиям выбора.

1.1.4 Расчет нагрузок строительных объектов в сетях 0,4 кВ

Изменение электрической нагрузки во времени называется графиком электрической нагрузки $P = f(t)$, который приведен на рисунке 1.14.

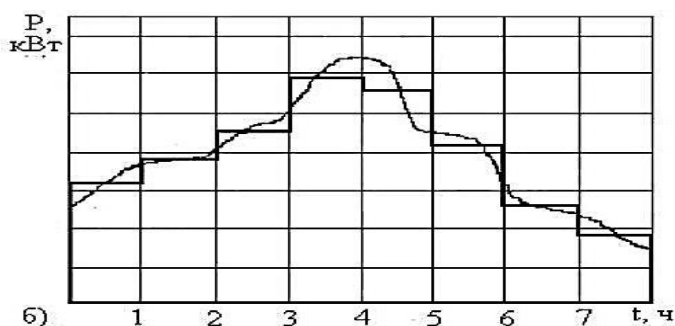


Рисунок 1.14 – Сменные графики электрических нагрузок (ступени 60 мин)

На графике площадь, ограниченная ломаной линией изменения активной нагрузки $P=f(t)$ и осями координат, представляет собой активную энергию W_a , потребляемую приемниками из сети для преобразования в другие виды.

График нагрузки или режим работы одного или группы приемников характеризуется рядом коэффициентов:

- коэффициенты использования активной мощности, реактивной мощности, тока соответственно:

$$K_{\text{иа}} = P_{\text{ср}} / P_{\text{ном}}; \quad K_{\text{ир}} = Q_{\text{ср}} / Q_{\text{ном}}; \quad K_{\text{ит}} = I_{\text{ср}} / I_{\text{ном}}. \quad (1.12)$$

- коэффициент включения характеризует степень работы ЭП по времени:

$$K_B = t_B / t_{\text{ц}}, \quad (1.13)$$

где t_B – продолжительности включения приемника в цикле;

$t_{\text{ц}}$ – продолжительность всего цикла.

- коэффициентом спроса по активной мощности:

$$K_{\text{са}} = P_{\text{р}} / P_{\text{ном}} \quad \text{или} \quad K_{\text{са}} = P_{\text{п}} / P_{\text{ном}}, \quad (1.14)$$

где $P_{\text{р}}$ – расчетная активная мощность (в условиях проектирования);

$P_{\text{п}}$ – потребляемой активной мощности (в условиях эксплуатации).

- коэффициентом загрузки по активной мощности:

$$K_{\text{за}} = P_{\text{с,в}} / P_{\text{ном}}, \quad (1.15)$$

где $P_{\text{с,в}}$ – фактически потребляемая средняя активная мощность (за время включения t_B в течение времени цикла $t_{\text{ц}}$).

1. Расчетная нагрузка от одиночных ЭП

Расчетная нагрузка, создаваемая одним ЭП, необходима для выбора сечения провода или жил кабеля, при помощи которого происходит присоединение приемника к РП.

Исходными данными для расчета являются:

- номинальное напряжение $U_{\text{ном}}$;
- номинальная активная мощность $P_{\text{ном}}$ (для конденсаторных установок – $Q_{\text{ном}}$ при $U_{\text{ном}}$);
- номинальный коэффициент мощности $\cos\varphi$;
- номинальный КПД $\eta_{\text{ном}}$;

– продолжительность включения $ПВ$.

Расчет одиночных ЭП сводится к определению электрических параметров, расчетные формулы которых приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Расчет формулы

Параметр	Вид нагрузки	Расчетная формула
Расчетная полная мощность	Электродвигатель	$S_p = \frac{P_{НОМ}}{\cos \varphi \cdot \eta_{НОМ}}$
	Силовой трансформатор	$S_p = S_{НОМ}$
	Сварочный аппарат	$S_p = S_{НОМ} \cdot \sqrt{ПВ}$
	Конденсаторная установка	$S_p = Q_{НОМ}$
Расчетная активная мощность	Электродвигатель	$P_p = \frac{P_{НОМ}}{\eta_{НОМ}}$
	Любой ЭП	$P_p = S_p \cdot \cos \varphi$
Расчетная реактивная мощность	Любой ЭП	$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi$,
		$Q_p = S_p \cdot \sin \varphi$
Расчетный ток	Трехфазный ЭП	$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}$
	Одно- или двухфазный ЭП	$I_p = \frac{S_p}{U_{НОМ}}$

2. Расчет электрических нагрузок от однофазных ЭП в трехфазной сети

В трехфазных сетях переменного тока наряду с трехфазными ЭП могут присутствовать и однофазные, которые следует равномерно распределять по фазам трехфазной сети, рисунок 1.15.

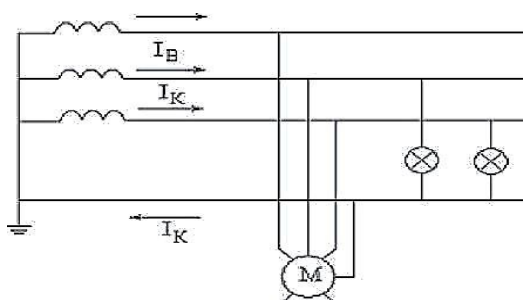


Рисунок 1.15 – Схема подключения трехфазного и однофазных ЭП
к трехфазной электрической сети

Если неравномерность фаз нагрузки меньше 15 %, то нагрузку можно считать симметричной. Для выравнивания нагрузки в один узел с однофазными приемниками нужно включить трехфазную нагрузку.

При расчете несимметричных нагрузок используют понятие эквивалентной мощности. Расчетные формулы для определения эквивалентной мощности при несимметричной нагрузке в трехфазной сети приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Расчетные формулы

Тип ЭП	Схема подключения ЭП	Эквивалентная трехфазная мощность, кВт		
		Активная, кВт	Реактивная, ВАр	Полная, В·А
Однофазный ЭП	- на фазное напряжение	$P_{\text{эк}} = 3 \cdot P_0$	$Q_{\text{эк}} = 3 \cdot Q_0$	$S_{\text{эк}} = 3 \cdot S_0$
	- на линейное напряжение	$P_{\text{эк.л}} = (P_{\text{ав}} + P_{\text{са}})/2$	$Q_{\text{эк}} = (Q_1 + Q_2)/2$	$S_{\text{эк}} = (S_1 + S_2)/2$
Однофазные и трехфазный ЭП		$P_{\text{эк}} = 3 \cdot P_0 + P_{\text{Т}}$	$Q_{\text{эк}} = 3 \cdot Q_0 + Q_{\text{Т}}$	$S_{\text{эк}} = 3 \cdot S_0 + S_{\text{Т}}$

где P_0 , Q_0 , S_0 – соответственно активная, реактивная и полная мощности наиболее загруженной фазы в трехфазной сети однофазных приемников;

$P_{\text{Т}}$, $Q_{\text{Т}}$, $S_{\text{Т}}$ – соответственно активная, реактивная и полная мощности трехфазных ЭП;

P_1 , P_2 , Q_1 , Q_2 , S_1 и S_2 – соответственно активная, реактивная и полная нагрузки двух плеч, прилегающих к одной фазе.

3. Расчетная нагрузка от ЭП квартир

Расчетные формулы для определения расчетной нагрузки питающих линий, вводов и на шинах РУ-0,4 кВ ТП приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Расчет нагрузки ЭП квартир

Расчетная нагрузка	Расчетные формулы
ЭП квартир эконом класса	$P_{\text{кв}} = P_{\text{кв.уд}} \cdot n$
ЭП квартир повышенной комфортности	$P_{\text{р.кв}} = (P_{\text{кв}} \cdot K_{\text{с}}) \cdot n \cdot K_{\text{о}}$
ЭП коттеджей	

где $P_{\text{кв}}$ – нагрузка ЭП квартир, кВт;

$P_{\text{кв.уд}}$ – удельная нагрузка ЭП квартир эконом класса, принимаемая по таблице Д.1 в зависимости от числа квартир на одной линии (ТП), типа плит, кВт/квартиру;

$P_{\text{р.кв}}$ – нагрузка ЭП квартир повышенной комфортности (коттеджей), кВт;

n – количество квартир, присоединенных к линии (ТП);

$K_{\text{с}}$ – коэффициент спроса принимается по таблице Д.4;

$K_{\text{о}}$ – коэффициент одновременности подключения квартир повышенной комфортности принимается по таблице Д.3.

При расчете нагрузки от ЭП квартир учитывают категорию квартиры. Расчетные нагрузки ЭП коттеджей допустимо определять как для квартир с повышенной комфортностью.

4. Расчет электрических нагрузок строительных площадок

Потребителями электроэнергии строительных площадок являются не только строительные машины, механизмы, установки, сварочные трансформаторы, но и технологические процессы, устройства наружного и внутреннего освещения

В городских условиях выбор источников электроэнергии для временного электроснабжения строительной площадки осуществляется обычно за счет подключения к городской энергосистеме. При невозможности такого подсоединения применяют электростанции, которые располагают в местах сосредоточения потребителей электроэнергии.

Последовательность расчета включает следующие этапы:

- определение групп потребителей электроэнергии;
- расчет мощности ЭП и технологических процессов;

- расчет мощности осветительных приборов;
- выбор источников получения электроэнергии;
- расчет мощности источников;
- составление рабочей схемы электроснабжения строительной площадки.

Расчетные формулы приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Расчетные формулы

Вид потребителей	Обозначение	Расчетные формулы
- строительные машины - строительные механизмы; - установки строительной площадки или инвентарных зданий	S_1	$S_1 = \sum_{i=1}^n \frac{K_{1,i} \cdot P_{1,i}}{\cos \varphi_{1,i}}$
- технологические процессы: - оттаивание грунта, - прогрев бетона и др.	S_2	$S_2 = \sum_{i=1}^n \frac{K_{2,i} \cdot P_{2,i}}{\cos \varphi_{2,i}}$
- осветительные приборы; - устройства для внутреннего освещения	S_3	$S_3 = \sum_{i=1}^n K_{3,i} \cdot P_{3,i}$
- осветительные приборы; - устройства для наружного освещения	S_4	$S_4 = \sum_{i=1}^n K_{4,i} \cdot P_{4,i}$
- сварочные трансформаторы	S_5	$S_5 = \sum_{i=1}^n \frac{K_{5,i} \cdot P_{5,i}}{\cos \varphi_{5,i}}$
ОБЩИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ требуемой мощности:	S	$S = \alpha \cdot (S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5)$

где $P_{k,i}$ – мощность i -го ЭП соответствующей k -ой подгруппы потребителей, кВт.

α – коэффициент потери мощности в сетях (1,05 – 1,1);

$\cos \varphi_{k,i}$ – коэффициент мощности i -го ЭП соответствующей k -ой подгруппы потребителей определяется по таблице А.1;

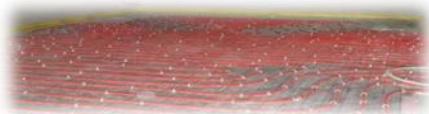
$K_{k,i}$ – коэффициенты одновременности работы i -ых ЭП соответствующей k -ой подгруппы строительной площадки определяются по таблице А.4.

5. Расчет электрической мощности теплого пола

Система электрических теплых полов (ЭТП) – это вид современного отопления, в котором для генерации тепла используется электроэнергия, что не требует монтажа труб для циркуляции по ним теплоносителя, поэтому не боится низких температур и может быть успешно применён в домах, которые отапливаются периодически.

Типы отопления помещения подразделяются на основное и дополнительное. Для основного обогрева требуется больше мощности и покрытие отапливаемой площади должно быть не менее 70 %. Для основного отопления применяют повышенную удельную мощность $P_0=180$ Вт на квадратный метр площади обогрева. Требования к исполнению ЭТП приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Конструкции системы ЭТП

Конструкция ЭТП	Исполнение системы ЭТП	Требования к исполнению
КАБЕЛЬНЫЕ 	в виде: - нагревательных секций, - кабеля на катушке, - нагревательных матов	- необходима стяжка, - укладка под покрытие
ПЛЁНОЧНЫЕ СВЕРХТОНКИЕ 	в виде: - углеродной пленки, - биметаллической пленки	- не нужна стяжка, - «сухой» монтаж

По результатам расчета мощности и известной отапливаемой площади выбирается нагревательный кабель, нагревательный мат или инфракрасный пленочный пол.

Мощность электрического теплого пола $P_{ТП}$ определяется по формуле:

$$P_{ТП} = S \cdot P_0, \quad (1.16)$$

где S – обогреваемая площадь пола, m^2 ;

P_0 – удельная мощность, принимаемая для дополнительного отопления, выбирается по таблице А.7, Вт/ m^2 .

Нагревательный кабель может быть одножильным или двухжильным и применяется только в том случае, если есть возможность заливки стяжки (3-5) см над кабелем. Благодаря двухжильной конструкции, две токопроводящие жилы кабеля компенсируют электромагнитные поля друг друга, что является одним из преимуществ двухжильного кабеля.

Вторым преимуществом двухжильного кабеля является то, что одножильный кабель необходимо уложить таким образом, чтобы вернуть кабель обратно к терморегулятору (замкнуть). В случае с двухжильным кабелем возврат делать не нужно, то есть монтаж заканчивается там, где закончился кабель.

1.1.5 Электрическое освещение

Электрическое освещение создает освещенность поверхности предметов с помощью источников света, включенных в цепь электрического тока, и обеспечивает возможность их зрительного восприятия или регистрации светочувствительными устройствами.

По своему функциональному назначению освещение подразделяется на четыре вида – рабочее, аварийное, эвакуационное и охранное.

Рабочее освещение создает требуемую по нормам освещенность, обеспечивая необходимые условия работы.

Аварийное освещение устраивается в помещениях, где внезапное отключение рабочего освещения приводит к тяжелым последствиям для людей или оборудования, либо может вызвать нарушение технологического процесса. В связи с этим аварийное освещение требует создания самостоятельной системы электроснабжения, независимой от сети рабочего освещения. Светильники аварийного освещения располагаются и работают совместно со светильниками рабочего освещения, но подключаются к независимому источнику питания.

Эвакуационное освещение необходимо для создания условий безопасного выхода из рабочей зоны и из помещения при отключении рабочего освещения.

Охранное освещение – искусственное освещение, необходимое в темное время суток во многих помещениях и вдоль границ территории для несения

дежурства пожарной и военизированной охраны.

Схемы электроснабжения осветительной нагрузки в системе электроснабжения любого предприятия соответствуют схемам электроснабжения силовой нагрузки. Питание электрического освещения осуществляется совместно с силовыми ЭП от общих трехфазных силовых трансформаторов с глухозаземленной нейтралью. Номинальное напряжение 380/220 В.

На рисунке 1.16 приведена схема совместного питания силовой и осветительной нагрузки от двух одно трансформаторных подстанций.

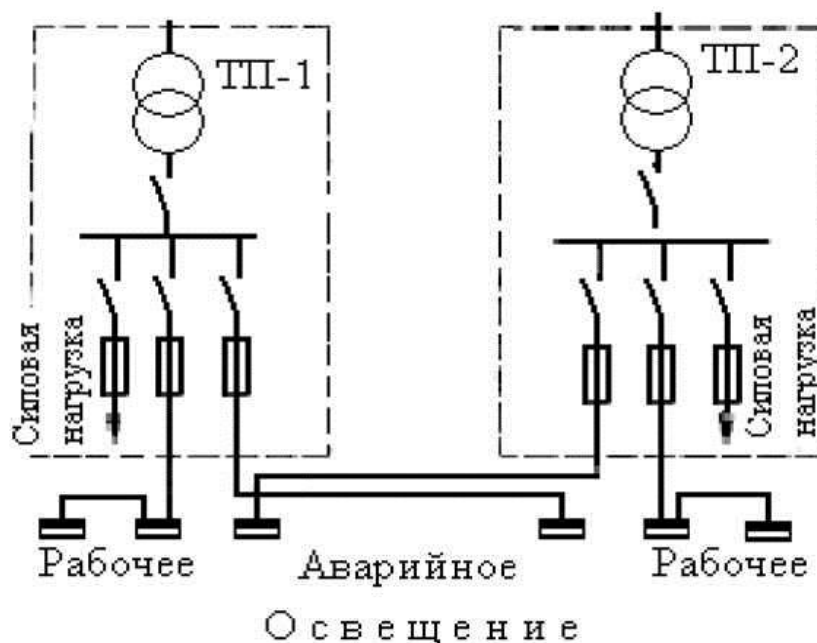


Рисунок 1.16 – Схема совместного питания силовой и осветительной нагрузок от двух подстанций (ТП-1, ТП-2)

Питание осветительной установки может производиться как от отдельных осветительных трансформаторов, так и от общих, совмещенных трансформаторов, питающих одновременно и силовую нагрузку.

Схема совмещенного питания снижает количество трансформаторов по сравнению со схемой раздельного питания. Вместе с тем, предпочтительно иметь совершенно самостоятельные, отдельные силовые и осветительные линии, как показано на рисунке 1.17.

Однако когда питающий трансформатор расположен на большом расстоянии от здания с небольшой осветительной нагрузкой, прокладывать отдельные силовые и осветительные питающие линии нерационально.

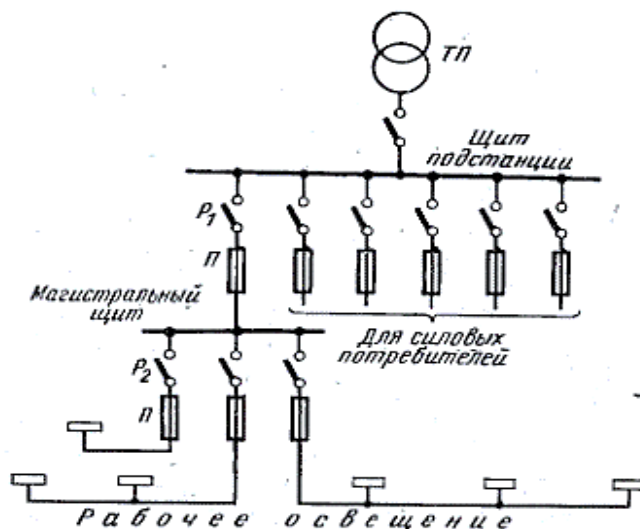


Рисунок 1.17 – Схема питания групповых щитков через магистральный шкаф

Строительными нормами и правилами СНиП устанавливается минимальная освещенность на строительных объектах и при выполнении строительных работ, которая для отдельных помещений приведена в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Нормы освещенности в помещениях разного типа

Типы помещений	Освещенность E по нормам СНиП, лк
Архивы	75
Кладовые	50
Конференц-залы	200
Лестницы	100
Офисы общего назначения с использованием	200 - 300
Офисы с чертежными работами	500

Источники света

В системе электрического освещения источники света – это устройства, в которых электрическая энергия преобразуется в световую энергию. В настоящее

время применяются различные виды светильников.

Характеристики некоторых из них приведены в таблице 1.8.

Таблица 1.8 – Основные характеристики источников света

Тип источника света	Срок службы τ , тыс. ч	Индекс цветопередачи R_a	Световая отдача H , лм/Вт	Световая энергия, вырабатываемая за срок службы (1 усл. Вт)	
				Млм·ч	Отн. ед.
1	2	3	4	5	6
Лампы накаливания общего назначения	1,0	100	8-17	0,013	1
Люминесцентные лампы	10,0-12,0	92-57	48-80	0,900	69
Компактные люминесцентные лампы	5,5-8,0	85	65-80	4,600	35
Дуговые ртутные лампы	12,0-20,0	40	50-54	0,632	48
Натриевые лампы высокого давления	10,0-12,0	25	85-100	0,960	94
Металлогалогеновые лампы	3,0-10,0	65	66-90	0,780	60

Лампы накаливания для рабочего освещения рассчитаны на напряжения 220 В и 36 В (для опасных помещений).

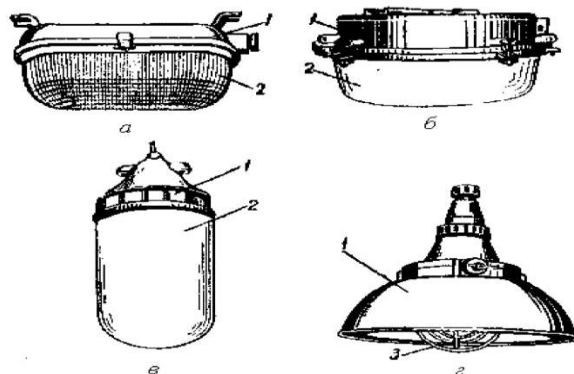
Люминесцентные лампы. В люминесцентных лампах в качестве излучателя применяется люминофор, представляющий собой порошок белого цвета, способный светиться под действием ультрафиолетового излучения.

Натриевые лампы в основном используются для наружного освещения.

Для освещения производственных помещений с повышенным содержанием пыли и относительной влажностью воздуха более 75 % применяют специальные светильники. Их исполнение – полугерметическое, влагозащищенное. Между

корпусом и защитным стеклом имеется термостойкая уплотнительная резиновая прокладка. Ввод проводов выполняется через сальниковое уплотнение.

На рисунке 1.18 приведены некоторые виды светильников.



а – ПСХ (потолочный для сельскохозяйственных нужд);

б – ПНП (потолочный опорный для промышленных зданий);

в – СНП03 (рефлекторный опорный для промышленных зданий серии 03);

г – ППД (потолочный пыленепроницаемый для освещения дорог).

Рисунок 1.18 – Светильники для освещения помещений

В настоящее время наиболее перспективными являются светодиодные источники света, имеющие срок службы до 30 000 ч. Это в 30 раз больше по сравнению с лампами накаливания. Они безопасны в использовании. Однако необходима специальная система охлаждения и они достаточно дороги.

В таблице 1.9 приведены значения напряжений осветительной сети для определенного класса светильников.

Таблица 1.9 – Напряжение осветительной сети

Назначение светильников	Условия применения светильников	Напряжение, В
Светильники общего освещения зданий	- при заземленной нейтрали	380/220
	- при изолированной нейтрали	220
Светильники местного освещения с лампами накаливания	- помещения без повышенной опасности	не более 220
	- помещения с повышенной опасностью	не более 42

Переносные ручные светильники	- помещения с повышенной опасностью	42
	- при стесненных условиях работы через специальные трансформаторы.	12

Электроснабжение светильников наружного и уличного освещения осуществляется по магистральной схеме с равномерной загрузкой фаз, как показано на рисунке 1.19.

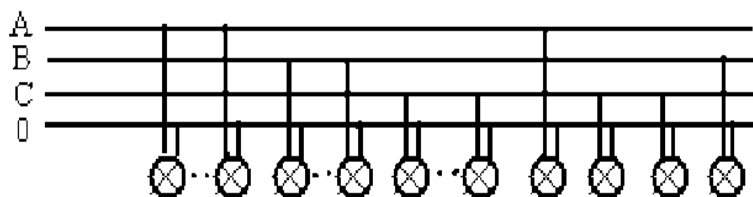


Рисунок 1.19 – Схема подключения наружного и уличного освещения

Выбор светильников для освещения производственных помещений

Осветительные приборы могут быть ближнего действия (до 20-30 м) – светильники и дальнего действия – прожекторы. Каждый прибор состоит из источника света, устройства, перераспределяющего световой поток источника света в пространстве, устройств коммутирующих и стабилизирующих электрический ток, и других конструктивных узлов.

Выбранные светильники должны быть расположены и установлены таким образом, чтобы обеспечивалось:

- безопасность и удобный доступ к светильникам для обслуживания;
- создание нормированной освещенности наиболее экономичным путем;
- соблюдение требований к качеству освещения (равномерность освещения, направление света, ограничение вредных факторов: теней, пульсаций освещенности, прямой и отраженной блескости;
- надежность крепления светильников.

Основными факторами, определяющими выбор светильников являются:

- условия, в которых предполагается использование светильника (наличие пыли, влаги, химической агрессивности, пожароопасных и взрывоопасных зон);

- строительная характеристика освещаемого помещения (перепланировка жилых помещений, в том числе высота, наличие ферм, отражающие свойства стен, потолка, пола и рабочих поверхностей);

- требования к качеству освещения.

Выбор конкретного типа светильника осуществляется:

- по конструктивному исполнению;
- по их светотехническим параметрам;
- по экономическим соображениям.

Конструктивное исполнение светильника в значительной степени определяется уровнем защиты его от воздействия окружающей среды. В нормальных сухих и влажных помещениях допускается применения всех типов незащищенных светильников. В сырых помещениях также допускается применение незащищенных светильников, но при условии выполнения корпуса патрона из изоляционных и влагостойких материалов. В особо сырых помещениях и в помещениях с химически активной средой рекомендуется применение светильников со особой степенью защиты.

В производственных помещениях с низкими коэффициентами отражения стен, потолков целесообразно применение светильников прямого света с концентрированным светораспределением. В низких помещениях рекомендуется использовать светильники с более широким светораспределением. При высоких отражающих свойствах стен и потолков производственных помещений (светлые потолки и стены) целесообразно применение светильников преимущественно прямого света.

Расчет электрического освещения

Целью светотехнического расчета является разработка рекомендаций по расположению оптимального количества светильников нужного типа в помещении для создания комфортных, удовлетворяющих всем нормам условий пребывания человека. В большинстве случаев расчет сводится к определению числа и мощности источников света, обеспечивающих заданную нормированную

освещенность или к определению освещенности рабочих поверхностей. Все методы расчета освещения сводятся к двум принципиально различным методам.

Метод коэффициента использования позволяет обеспечить среднюю освещенность горизонтальной поверхности с учетом всех падающих на нее потоков, как прямых, так и отраженных. Области применения данного метода:

- расчет общего равномерного освещения в административно-конторских и производственных помещениях;
- расчет наружного освещения при нормировании средней освещенности.

Необходимое количество светильников N в осветительной установке определяется с помощью формулы:

$$N_{св} = \frac{E_H \cdot S \cdot K_3}{K_{и} \cdot n \cdot \Phi_{л}}, \quad (1.17)$$

где E_H – нормативный уровень освещенности, лк (таблица Г.2);

S – площадь помещения, м²;

K_3 – коэффициент запаса (таблица Г.3);

$K_{и}$ – коэффициент использования;

n – количество ламп в светильнике;

$\Phi_{л}$ – световой поток одной лампы в светильнике.

Для известного количества ламп в светильнике n выбранного типа и светового потока $\Phi_{л}$ по формуле (1.22) определяется требуемое количество светильников. С учетом допуска на освещенность в диапазоне от минус 10 % до плюс 20 % количество светильников может варьироваться.

Точечный метод в основном предназначен для определения освещенности в определенных точках поверхности, создаваемой всеми излучателями, освещающими данную точку. Применение метода целесообразно для расчета общего равномерного освещения, установок с повышенной неравномерностью освещения, наружного освещения при любом расположении поверхностей.

Существуют упрощенные методы расчета, к которым относится метод удельной мощности.

Метод удельной мощности при равномерном распределении источников света более прост по сравнению с остальными методами.

Удельной мощностью P_0 (Вт/м²) называется величина, равная отношению общей (установленной) мощности источников света ($P_{\text{уст}}$), установленных в помещении, к площади данного помещения (S).

Порядок расчета:

1. Наметить общее число светильников и их рядов из оптимального их расположения. Определить общее число источников света:

$$N = N_{\text{св}} \cdot n, \quad (1.18)$$

где N – количество источников света;

$N_{\text{св}}$ – количество светильников,

n – количество ламп в светильнике.

2. Определить значение удельной мощности

Удельная мощность устанавливается в зависимости от высоты помещения, коэффициентов отражения, типов ламп и светильников. Следует учесть, что таблицы удельных мощностей обычно приводятся для нормативного уровня освещенности $E_n = 100$ лк и значений коэффициентов отражения, приведенных в таблице 1.10.

Таблица 1.10 – Значения коэффициентов отражения

Нормативный уровень освещенности $E_n = 100$ лк			
Отражаемые поверхности	потолок	стены	Рабочая поверхность
Коэффициент отражения	$\rho_n = 0,5$	$\rho_c = 0,3$	$\rho_p = 0,1$

Эффективность использования светового прибора в помещении характеризует коэффициент использования $K_{\text{и}}$.

При расчете установок, имеющих другие значения коэффициентов отражения следует пользоваться коэффициентами пересчета K_p , приведенными для комбинаций коэффициентов отражения в таблице 1.11:

Таблица 1.11 – Значения коэффициентов перерасчета

Коэффициент отражения			Коэффициент перерасчета, K_p
потолок	стены	рабочая поверхность	
$\rho_{\text{п}}=0.5$	$\rho_{\text{с}}=0.5$	$\rho_{\text{р}}=0.1$	1.08
$\rho_{\text{п}}=0.7$	$\rho_{\text{с}}=0.5$	$\rho_{\text{р}}=0.1$	0.92
$\rho_{\text{п}}=0.7$	$\rho_{\text{с}}=0.5$	$\rho_{\text{р}}=0.3$	0.84
Во всех других случаях			1.00

Основным критерием, по которому определяется необходимое количество осветительных приборов, является нормируемый уровень освещенности E_H . Этот показатель для помещения по СНиП 23-05-95 составляет 300 лк (люкс) для расчетной плоскости на высоте 0,8 м от пола.

Расчетное значение удельной мощности P_0 для реально применяемых светильников определяется:

$$P_0 = P_{100} \cdot \frac{E_H \cdot K_3}{100 \cdot \eta_{\text{св}} \cdot K_{31}} \cdot K_p. \quad (1.19)$$

где P_{100} - табличное значение удельной мощности (таблица Г.1);

$\eta_{\text{св}}$ – КПД светильников;

K_3 – номинальный коэффициент запаса (выбирается по типу помещения по таблице Г.3);

K_{31} – реальный коэффициента запаса.

3. Рассчитать общую (установленную) мощность источников света:

$$P_{ycm} = P_0 \cdot S. \quad (1.20)$$

4. Определить мощность источника света – лампы ($P_{л}$):

$$P_{л} = P_{ycm} / N. \quad (1.21)$$

Расчетные мощности освещения определяются по формулам:

$$P_{P.осв} = \sum_{i=1}^n P_{P.осв,i} ; \quad (1.22)$$

$$Q_{P.осв} = \sum_{i=1}^n Q_{P.осв,i} ; \quad (1.23)$$

$$S_{P.осв,i} = \sqrt{P_{P.осв,i}^2 + Q_{P.осв,i}^2} . \quad (1.24)$$

Одним из наиболее важных качественных показателей освещения, регламентируемых нормативными документами, является коэффициент пульсации.

Для офисных помещений нормируемый коэффициент пульсации в соответствии с СНиП составляет не более 10 %, а если в помещениях планируется работа за компьютером, это значение составляет не более 5 %. Наиболее простым и эффективным способом устранения пульсаций светового потока является использование светильников с электронной пускорегулирующей аппаратурой.

1.2 Практические занятия

1.2.1 *Практическое занятие № 1.* Анализ систем электроснабжения строительных объектов

Пример 1. Выбрать номинальное напряжение трехфазной ЛЭП переменного тока длиной 100 км для передачи мощности 500 МВт.

Решение:

Подставляя исходные данные в формулу из таблицы 1.1 с учетом условий использования этих формул:

$$U_{НОМ} \approx 4,34\sqrt{L + 0,016P},$$

получаем

$$U_{НОМ} = 4,34\sqrt{100 + 0,016 \cdot 500} = 45,1(\text{кВ}).$$

Из шкалы стандартных напряжений (1.4), согласно ГОСТ 23366-78 «Шкала номинальных напряжений постоянного и переменного тока», окончательно принимаем значение номинального напряжения трехфазной ЛЭП $U_{НОМ} = 110 \text{ кВ}$.

Пример 2. Выбрать номинальное напряжение трехфазной ЛЭП переменного тока длиной 50 км для передачи мощности 75 МВт.

Решение:

Подставляя исходные данные в формулу из таблицы 1.1 с учетом условий использования этих формул получаем:

$$U_{НОМ} = \sqrt{P(0,1 + 0,015\sqrt{L})},$$

$$U_{НОМ} = \sqrt{75 \cdot (0,1 + 0,015 \cdot \sqrt{50})} = 3,9(\text{кВ}).$$

Из шкалы стандартных напряжений (1.4), согласно ГОСТ 23366-78, окончательно принимаем значение номинального напряжения трехфазной ЛЭП $U_{НОМ} = 6 \text{ кВ}$.

Пример 3. Расчетный ток трехфазной ЛЭП переменного тока длиной 20 км составляет 10А. Удельное активное сопротивление алюминиевого провода А-25 равно 1,27 Ом/км. Определить потери напряжения трехфазной ЛЭП переменного тока при чисто активной нагрузке, если номинальное напряжение ЛЭП 10 кВ.

Решение:

Потери напряжения в трехфазной цепи определяются по формуле (1.11):

$$\Delta U_p = (\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot (R_0 \cdot \cos\varphi + X_0 \cdot \sin\varphi)) / n \cdot U_{НОМ}.$$

Т.к. нагрузка чисто активная ($\cos\varphi = 1$), потери напряжения определяются из выражения:

$$\Delta U_p = (\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot R_0) \cdot 100\% / (n \cdot U_{\text{ном}}).$$

$$\Delta U_p = (\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 20 \cdot 1,27) \cdot 100\% / (3 \cdot 10 \cdot 10^3) = 1,46 (\%).$$

Пример 4. Расчетный ток линии длиной 10 км составляет 0,5 А. Удельное активное сопротивление алюминиевого провода А-25 равно 1,27 Ом/км, а индуктивное – 0,345 Ом/км. Определить потери напряжения в однопроводной линии однофазного тока, если $\cos\varphi = 0,85$.

Решение:

Потери напряжения в однопроводной линии определим по формуле (1.8):

$$\Delta U_p = I_p \cdot L \cdot (R_0 \cdot \cos\varphi + X_0 \cdot \sin\varphi).$$

$$\Delta U_p = 0,5 \cdot 10 \cdot (1,27 \cdot 0,85 + 0,345 \cdot 0,53) = 6,31 (\text{В}).$$

Пример 5. ЛЭП с $U_{\text{ном}} = 380$ В выполнена СИП-2 (3х95+1х95) – 1,75 км и СИП-2 (3х70+1х70) 0,68 км. Удельные активные сопротивления алюминиевых проводов приведены в таблице В.2.

Каковы потери мощности ЛЭП, если годовое потребление электроэнергии составляет 456 250 кВт·ч. Коэффициент дневной загрузки трансформатора принять равным 0,5.

Решение:

Потери мощности определяем по формуле (1.6):

$$\Delta P = \frac{P_a^2}{U_{\text{ср}}^2} \cdot \frac{R_0 \cdot L}{T} \cdot 10^{-3}.$$

Номинальному напряжению $U_{\text{ном}} = 380$ В соответствует $U_{\text{ср}} = 0,4$ кВ из таблицы А.8.

Время загрузки трансформатора ТП:

$$T = T_0 \cdot K_{\text{ч}} \cdot K_{\text{д}},$$

где T_0 – коэффициент дневной загрузки трансформатора;

$K_{\text{ч}}$ – количество часов в сутках, ч;

$K_{\text{д}}$ – количество дней в году, дн.

$$T = 0,5 \cdot 24 \cdot 365 = 4380 \text{ (ч)}.$$

$$\Delta P = \frac{456250^2}{400^2} \cdot \frac{1,75 \cdot 0,33 \cdot 3 + 0,68 \cdot 0,45 \cdot 3}{4380} \cdot 10^{-3} = 0,79 \text{ (кВт)}.$$

1.2.2 *Практическое занятие № 2. Расчет нагрузок строительных объектов в трехфазных электрических сетях*

Пример 6. Какую мощность P_1 берет из сети трехфазный асинхронный двигатель при соединении в звезду и треугольник, если линейное напряжение $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$, а линейный ток $I_{\text{л}} = 20 \text{ А}$ при $\cos\varphi = 0,7$?

Решение:

1. Если подсчитать мощность через фазные значения тока и напряжения, то при соединении в звезду фазный ток равен линейному:

$$I_{\text{ф}} = I_{\text{л}} = 20 \text{ А},$$

а фазное напряжение связано с линейным напряжением зависимостью:

$$U_{\text{ф}} = U_{\text{л}}/\sqrt{3} = 380/\sqrt{3}.$$

Таким образом, мощность будет равна:

$$P_1 = 3 \cdot U_{\text{ф}} \cdot I_{\text{ф}} \cdot \cos\varphi = 3 \cdot (U_{\text{л}}/\sqrt{3}) \cdot I_{\text{л}} \cdot \cos\varphi = 3 \cdot (380/1,73) \cdot 20 \cdot 0,7 \approx 9,2 \text{ (кВт)}.$$

2. При соединении в треугольник фазное напряжение равно линейному, а фазный ток связан с линейным зависимостью:

$$I_{\text{ф}} = I_{\text{л}}/\sqrt{3} = 20/\sqrt{3}.$$

Таким образом, мощность будет равна:

$$P_1 = 3 \cdot U_{\text{ф}} \cdot I_{\text{ф}} \cdot \cos\varphi = 3 \cdot U_{\text{л}} \cdot (I_{\text{л}}/\sqrt{3}) \cdot \cos\varphi = 3 \cdot 380 \cdot (20/1,73) \cdot 0,7 = 9225 \text{ Вт} \approx 9,2 \text{ (кВт)}.$$

Пример 7. Определить мощность, которую покажет трехфазный ваттметр, включенный в трехфазную сеть с линейным напряжением $U_{\text{л}}=380 \text{ В}$ при линейном токе $I_{\text{л}}=8 \text{ А}$ и $\cos\varphi=0,7$? Чему равна мощность двигателя на валу при КПД двигателя $\eta=0,85$? Исходная схема подключения двигателя приведена на рисунке 1.20.

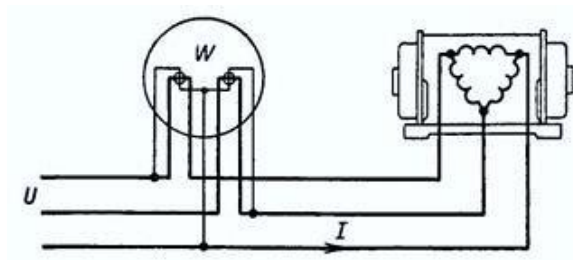


Рисунок 1.20 – Схема подключения двигателя к трехфазной сети

Решение:

Ваттметр покажет подводимую к двигателю мощность P_1 согласно формуле:

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}} \cdot \cos \varphi = 1,73 \cdot 380 \cdot 8 \cdot 0,7 = 3,68 \text{ (кВт)}.$$

Мощность, показанная ваттметром, включает мощность полезную P_2 плюс потери мощности в двигателе.

Полезная мощность – мощность двигателя на валу, за вычетом потерь в обмотках и стали, а также механических в подшипниках, составит:

$$P_2 = P_1 \cdot \eta = 3,68 \cdot 0,85 = 3,13 \text{ (кВт)}.$$

Пример 8. В четырехпроводную сеть трехфазного тока включены осветительные лампы и двигатель Д, согласно рисунка 1.21. В реальности количество ламп, подключенных на каждую фазу сети, составляет 90 по 40 Вт каждая, а количество подключенных к сети двигателей – 7, каждый мощностью 4 кВт. Определить активную P_{Γ} и полную S_{Γ} мощности отдаваемые генератором Γ при $\sin \varphi = 0,85$. Каковы токи фазный, линейный, в нулевом проводе генератора при линейном напряжении $U_{\text{л}} = 380 \text{ В}$?

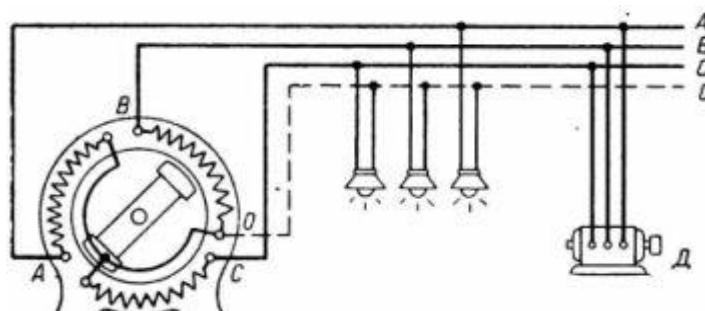


Рисунок 1.21 – Подключение нагрузки к трехфазной сети

Решение:

Определяем общую мощность ламп:

$$P_{\text{л}} = 3 \cdot P_{\text{ф}} = 3 \cdot n_{\text{л}} \cdot P_{\text{л}} = 3 \cdot 90 \cdot 40 \text{ Вт} = 10800 \text{ Вт} = 10,8 \text{ кВт.}$$

Лампы находятся под фазным напряжением:

$$U_{\text{ф}} = U_{\text{л}} / \sqrt{3} = 380 / 1,73 = 220 \text{ В.}$$

Общая мощность трехфазных двигателей:

$$P_{\text{од}} = n_{\text{д}} \cdot P_{\text{д}} = 7 \cdot 4 = 28 \text{ кВт.}$$

Активная мощность, отдаваемая генератором, $P_{\text{Г}}$ и получаемая потребителем P_1 равны, если пренебречь потерей мощности в проводах ЛЭП:

$$P_1 = P_{\text{Г}} = P_{\text{л}} + P_{\text{од}} = 10,8 + 28 = 38,8 \text{ кВт.}$$

Полная мощность генератора будет равна:

$$S_{\text{Г}} = P_{\text{Г}} / \cos \varphi = 38,8 / 0,85 = 45,65 \text{ кВА.}$$

В этом примере все фазы одинаково нагружены, а потому в нулевом проводе в каждое мгновение ток равен нулю.

Фазный ток обмотки статора генератора равен току линии ($I_{\text{ф}} = I_{\text{л}}$), а его значение можно получить, воспользовавшись формулой:

$$P_{\text{Г}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}} \cdot \cos \varphi.$$

$$I_{\text{ф}} = P_{\text{Г}} / (\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \cos \varphi) = 38800 / (\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85) = 69,44 \text{ А.}$$

Пример 9. В трехфазной ЭЦ, приведенной на рисунке 1.22, к фазе В и нулевому проводу подключена плитка мощностью 400 Вт, а к фазе С и нулевому проводу – лампа мощностью 50 Вт. К трем фазам подключена электрическая плита мощностью 3 кВт. Чему равны общая активная и полная мощности потребителей? Какие токи проходят в отдельных фазах при линейном напряжении сети $U=380 \text{ В}$?

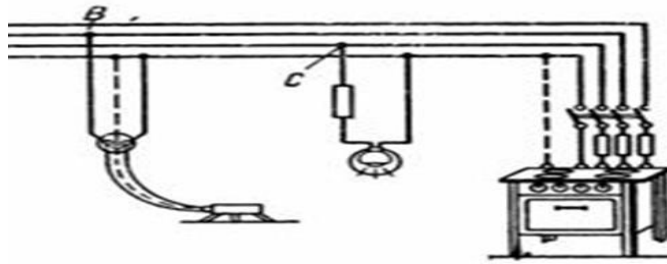


Рисунок 1.22 – Подключение нагрузки к трехфазной сети

Решение:

Активная мощность потребителей определится из выражения:

$$P_O = P_{\text{пл}} + P_{\text{л}} + P_{\text{зпл}} .$$

$$P_O = 400 + 50 + 3000 = 3450 \text{ (Вт)} = 3,45 \text{ (кВт)}.$$

Общая полная мощность потребителей будет:

$$S_{\text{общ}} = P_O = 5,45 \text{ (кВА)}.$$

Ток электрической плитки:

$$I_{\text{пл}} = P_{\text{пл}} / U_{\text{ф}} = P_{\text{пл}} / (U_{\text{л}}/\sqrt{3}) = 400/220 = 1,82 \text{ (А)}.$$

Ток лампы:

$$I_{\text{л}} = P_{\text{л}} / U_{\text{л}} = 50/220 = 0,23 \text{ (А)}.$$

Ток электрической плиты определим по формуле мощности для трехфазного тока при чисто активной нагрузке ($\cos\varphi = 1$):

$$P_{\text{зпл}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}} \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot I_{\text{л}}.$$

$$I_{\text{зпл}} = P_{\text{зпл}} / (\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}) = 3000 / (\sqrt{3} \cdot 380) = 4,56 \text{ (А)}.$$

В проводе фазы А течет ток электрической плиты:

$$I_A = I_{\text{зпл}} = 4,56 \text{ (А)}.$$

В фазе В течет ток плитки и электрической плиты:

$$I_B = I_{\text{пл}} + I_{\text{зпл}} = 1,82 + 4,56 = 6,38 \text{ (А)}.$$

В фазе С течет ток лампы и электрической плиты:

$$I_C = I_{\text{л}} + I_{\text{зпл}} = 0,23 + 4,56 = 4,79 \text{ (А)}.$$

Везде даны действующие значения токов.

Пример 10. В жилом доме 120 квартир с электроплитами, подключенных к трем распределительным устройствам (РУ) (РУ-1, РУ-2, РУ-3).
Определить нагрузку по дому и нагрузку каждого РУ.

Решение:

Согласно формулы из таблицы 1.4, нагрузка каждого РУ составит:

$$P_{\text{кв}} = P_{\text{кв.уд}} \cdot n.$$

Значения удельных нагрузок квартир приняты по таблице Д.1:

$$P_{\text{кв}} = 1,95 \cdot 40 = 78 \text{ (кВт)}.$$

Нагрузка квартир по дому в целом составит:

$$P_{\text{кв}} = 1,472 \cdot 120 = 176,64 \text{ (кВт)}.$$

Пример 11. Определить расчетную нагрузку на вводе 12 этажного жилого дома с общим количеством квартир с электроплитами 120, из которых 70 квартир с повышенной комфортностью при заявленной мощности 30 кВт на квартиру.

Решение:

Расчетная нагрузка одной квартиры повышенной комфортности определим по формуле:

$$P_{\text{р.кв.}} = K_{\text{с}} \cdot P_{\text{кв.}}$$

Значение коэффициента спроса при заявленной мощности 30 кВт по таблице Д.4 принято равным 0,6.

Расчетная нагрузка квартиры повышенной комфортности составит:

$$P_{\text{р.кв.}} = 30 \cdot 0,6 = 18 \text{ (кВт)}.$$

Удельная нагрузка квартир эконом класса с электроплитами, согласно таблицы Д.1, составит:

$$P_{\text{уд}} = 1,825 \text{ кВт/квартиру}.$$

Расчетная нагрузка всех квартир на вводе жилого дома составит:

$$P_{\text{р ввод}} = (P_{\text{р.кв.}} \cdot n_1 + P_{\text{уд}} \cdot n_2) \cdot K_{\text{О}} = (18 \cdot 70 + 1,825 \cdot 50) \cdot 0,16 = 216,2 \text{ (кВт)},$$

Коэффициент одновременности для всех 120 квартир жилого дома принят по таблице Д.3.

Пример 12. Рассчитать нагрузку строительной площадки с электроустановками, перечень которых приведен в таблице 1.12.

Таблица 1.12 – Перечень ЭП строительной площадки

Наименование ЭП	$P_{уст}$, кВт	Количество
1	2	3
Кран башенный КБ-405	120	2
Наружное освещение	0,4	13
Трансформатор сварочный	32	3
Трансформатор понижающий	20	1

Продолжение таблицы 1.12

1	2	3
Вагоны бытовки	2,7	20
Помещения для охраны	1,16	3
Металлообрабатывающие станки	4	3
Трансформатор нагрева бетона	60	3
Компрессор	22	1
Переносной электроинструмент	3	16

Решение:

Расчет электрических нагрузок строительной площадки произведен согласно таблицы 1.5 данного учебного пособия.

Для этого разделим потребители на группы.

1. Суммарная номинальная мощность электродвигателей машин, механизмов и устройств (кран башенный, металлообрабатывающие станки, переносной электроинструмент, компрессор) определяется по формуле:

$$P_1 = 2 \cdot 120 + 3 \cdot 4 + 1 \cdot 22 + 16 \cdot 3 = 322 \text{ (кВт)}.$$

2. Потребляемая мощность для технологических процессов, например, электропрогрев бетона (трансформаторы понижающий и нагрева бетона):

$$P_2 = 1 \cdot 20 + 3 \cdot 60 = 200 \text{ (кВт)}.$$

3. Суммарная мощность осветительных приборов и устройств внутреннего освещения (вагоны бытовки, помещения для охраны):

$$P_3 = 20 \cdot 2,7 + 3 \cdot 1,16 = 57,48 \text{ (кВт)}.$$

4. Суммарная мощность осветительных приборов и устройств наружного освещения объектов и территории (наружное освещение):

$$P_4 = 13 \cdot 0,4 = 5,2 \text{ (кВт)}.$$

5. Мощность сварочных трансформаторов:

$$P_5 = 3 \cdot 32 = 96 \text{ (кВт)}.$$

Общий показатель требуемой мощности для электроснабжения строительной площадки согласно формул, приведенных в таблице 1.5, составит:

$$S = \alpha \cdot (S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5)$$

$$S = \alpha \cdot \left(\frac{K_1 \cdot P_1}{\cos \varphi_1} + \frac{K_2 \cdot P_2}{\cos \varphi_2} + K_3 \cdot P_3 + K_4 \cdot P_4 + K_5 \cdot P_5 \right);$$

$$S = 1,1 \cdot \left(\frac{0,4 \cdot 322}{0,7} + \frac{0,4 \cdot 200}{0,8} + 0,8 \cdot 57,48 + 0,9 \cdot 5,2 + 0,8 \cdot 96 \right) = 452,61 \text{ (кВА)}.$$

Пример 13. Рассчитать необходимую мощность теплого пола для кухни общей площадью 8 м², а обогреваемой площадью 6 м². Тип отопления – дополнительное.

Решение:

Мощность электрического теплого пола $P_{\text{ТП}}$ определяется по формуле:

$$P_{\text{ТП}} = S \cdot P_0,$$

где S – обогреваемая площадь пола, м²;

P_0 – удельная мощность, Вт/м².

Удельная мощность для кухни равна 140 Вт/м² по таблице А.7.

Подставляя известные данные в исходную формулу, получим минимальную необходимую мощность теплого пола:

$$P_{\text{ТП}} = 6 \cdot 140 \cdot 10^{-3} = 0,8 \text{ (кВт)}.$$

Таким образом, минимальная необходимая мощность теплого пола составляет 0,8 кВт.

1.2.3 Расчетно-графическое задание

Задание № 1. Для заданной ЭЦ переменного тока выполнить следующее:

- определить номинальное напряжение ЛЭП ($U_{\text{ном}}$);
- определить потери напряжения ЛЭП (ΔU);
- определить количество и мощность трансформаторов ТП;
- нарисовать схему замещения электрической сети.

Исходные данные для расчета задания № 1 приведены в таблице 1.13.

Таблица 1.13 – Исходные данные для расчета задания № 1

№ варианта	Длина линии L , км	Мощность нагрузки P , МВт	Расчетный ток I , А	Провода ЛЭП	Количество параллельных проводов	Категория потребителей		Коэффициент мощности $\cos \varphi$
						1, 2, %	3, %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	10	10	10	A-6	2	30	70	1,00
2	12	20	20	A-10	3	40	60	0,95
3	15	30	30	A-16	4	50	50	0,93
4	20	40	40	A-25	2	60	40	0,86
5	25	50	40	A-35	3	10	90	0,74
6	30	15	70	A-50	4	20	80	1,00
7	40	25	90	A-70	2	30	70	0,95
8	5	35	90	A-95	3	40	60	0,93
9	10	45	20	A-6	4	50	50	0,86
10	12	10	30	A-10	2	30	70	0,74

11	15	20	40	A-16	3	40	60	1,00
12	20	30	40	A-25	4	50	50	0,95
13	25	40	70	A-35	2	60	40	0,93
14	30	50	90	A-50	3	20	80	0,86
15	40	15	20	A-70	4	40	60	0,74

Примечание. Расстояние между проводами воздушной ЛЭП принять 800 мм.

Задание № 2. Для заданной строительной площадки с электроустановками:

- рассчитать полную мощность, потребляемую нагрузкой;
- определить количество и мощность трансформаторов ТП, к которой подключена нагрузка этой строительной площадки.

Параметры ЭП строительной площадки по вариантам приведены в таблице 1.14. Исходные данные для расчета задания № 2 приведены в таблице 1.15.

Таблица 1.14 – Перечень ЭП строительной площадки

Наименование ЭП	Условное обозначение ЭП	$P_{\text{ном, кВт}}$	K_c	$\cos \varphi$	$K_{\text{и}}$	Категория ЭП
1	2	3	4	5	6	7
Кран башенный КБ-405	КБ	120,0	0,2	0,5	0,1	2
Экскаваторы с электроприводом	ЭЭ	200,0	0,4-0,6	0,5-0,6	-	3
Трансформатор сварочный	ТС	32,0	0,35	0,35	0,4	2
Транспортеры, шнеки	Т	3,0	0,6-0,65	0,6-0,75	0,4	3
Двигатель-генератор	Д	8,0	0,35	0,7	0,7	1
Насосы, вентиляторы	Н, В	1,5	0,7	0,8	0,7	3
Группа электромоторов	-	-	-	0,7	-	-
Металлообрабатывающие станки	МС	4,0	-	0,4	0,12	3
Электрические печи	ЭП	6,0	-	0,95	0,7	2
Бетономешалки	Б		0,4	0,7	0,4	2

Трансформатор для прогрева бетона/грунта	ТПБ/ТПГ	100/60	-	0,8	-	3
Компрессор	К	22,0	0,7	0,8	0,7	3
Цех холодной обработки металлов	ЦХМ	0,3 – 0,4	0,2	0,65	-	3
Цех горячей обработки металлов	ЦГМ	0,3 – 0,6	0,3	0,65	-	2
Пилорамы	П	0,1 – 0,2	0,65	0,75	0,4	3
Группа технологических потребителей (техпроцессы)	–	-	-	0,8	-	-
Переносной электроинструмент	ПЭ	3,0	0,1	0,45	-	3
Наружное освещение	НО	0,4	0,9	1,0	0,8	3
Освещение лабораторных/складских зданий	ОЛ	0,3	0,9	1,0	0,8/0,6	3
Освещение вагона бытовки	ОБ	2,7	0,9	1,0	0,8	3
Освещение помещения охраны	ОО	1,16	0,9	1,0	0,9	2

Таблица 1.15 – Исходные данные для задания № 2

№ варианта	$U_{л, В}$	Перечень ЭП строительной площадки	Количество ЭП
1	2	3	4
1	220	КБ, ТС, Т, В, МС, ТПГ, ПЭ, НО, ОО, ОЛ	2, 3, 4, 2, 4, 2, 10, 12, 2, 3
2	220	ЭЭ, ТС, Н, ЭП, Б, ЦХМ, НО, ОО, ОБ	1, 2, 4, 3, 5, 2, 12, 2, 15
3	220	КБ, ТС, В, МС, ТПГ, ПЭ, НО, ОО, ОЛ	2, 3, 5, 3, 2, 15, 12, 4, 18
4	220	ЭЭ, ТС, Н, ЭП, Б, ЦХМ, ПЭ, НО, ОО, ОБ	1, 3, 4, 2, 4, 2, 10, 12, 2, 13
5	110	К, Д, Т, МС, ТПГ, ПЭ, НО, ОО, ОЛ	1, 3, 5, 3, 2, 15, 12, 4, 18
6	110	КБ, ТС, В, Д, ЭП, ЦГМ, НО, ОО, ОЛ	3, 2, 6, 7, 2, 3, 11, 5, 20
7	110	ЭЭ, ТС, Н, МС, П, ПЭ, НО, ОО, ОБ	2, 3, 5, 6, 2, 14, 10, 3, 17
8	110	К, Д, В, ЭП, Б, ТПГ, ПЭ, НО, ОО, ОБ	1, 6, 4, 2, 4, 2, 10, 12, 2, 14
9	220	КБ, Т, Н, МС, ТПГ, ЦХМ, НО, ОО, ОБ	2, 3, 5, 6, 2, 14, 10, 3, 17
10	220	К, Д, Н, ЭП, ЦХМ, ПЭ, НО, ОО, ОЛ	1, 3, 5, 3, 2, 15, 12, 4, 18

11	220	ЭЭ, ТС, Т, П, МС, ЦХМ, НО, ОО, ОБ	2, 3, 5, 6, 2, 14, 10, 3, 17
12	220	КБ, В, Н, ЭП, Б, ПЭ, НО, ОО, ОЛ	1, 3, 5, 3, 2, 15, 12, 4, 18
13	110	К, Д, МС, Б, ТПГ, ПЭ, НО, ОО, ОБ	1, 5, 3, 4, 6, 12, 14, 3, 16
14	110	КБ, ТС, В, Д, ЭП, ЦГМ, НО, ОО, ОЛ	2, 3, 3, 5, 2, 15, 12, 4, 18
15	110	К, Д, Т, МС, Б, ТПГ, ПЭ, НО, ОО, ОБ	1, 3, 4, 2, 4, 2, 10, 12, 3, 10

Требования к оформлению РГЗ приведены в разделе 3 данного учебного пособия.

1.3 Лабораторные занятия

В разделе представлена одна лабораторная работа по определению активной и реактивной мощностей в трехфазных электрических сетях переменного тока.

Результаты работы оформляются в виде отчета, который должен содержать:

- цель работы;
- электрические схемы опытов;
- таблицы опытных и расчетных данных;
- расчетные формулы;
- выводы по работе.

1.3.1 *Лабораторная работа № 1.* Измерение потребления активной и реактивной мощности низковольтными электроприемниками в трехфазной электрической сети переменного тока

Цель работы: Изучить прямые и косвенные методы измерения потребления активной и реактивной мощности низковольтными ЭП в трехфазной сети.

Для измерения потребляемой мощности обычно используются *прямые методы* измерения, т.е. мощность измеряется с помощью ваттметра. Но часто имеют место и *косвенные методы* измерения. В этом случае для измерения потребляемой мощности применяются амперметр, вольтметр и фазометр.

Элементы ЭЦ и измерительные приборы, используемые в лабораторной работе, размещены на лицевой панели универсального стенда.

В качестве источника электрической энергии используется трехфазная сеть переменного тока, к которой подключены первичные обмотки трехфазного понижающего трансформатора. На лицевую панель стенда выведены клеммы фаз «А», «В», «С» вторичных обмоток этого трансформатора.

В качестве приемников электроэнергии используются набор катушек индуктивностей $L_1 - L_4$, магазин емкостей $C_1 - C_2$, проволочные резисторы $R_1 - R_3$.

Для измерения токов служат миллиамперметры М 42300.

Для измерения напряжения используется цифровой мультиметр ВР-11А.

Для измерения активной и реактивной мощности используются ваттметры электродинамической системы Д539 и Д5004.

Рабочее задание

- ознакомиться с приборами, записать данные приборов в отчет;
- выполнить опыты;
- обработать результаты измерений;
- составить отчет.

Измерение потребления активной мощности в трехфазной 4-х проводной ЭЦ при чисто активной нагрузке прямым и косвенным методами

Опыт 1. *Симметричный режим работы ЭЦ.*

Рабочее задание опыта 1

1.1 Собрать ЭЦ в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 1.23, обратив внимание на правильность включения генераторных зажимов ваттметра.

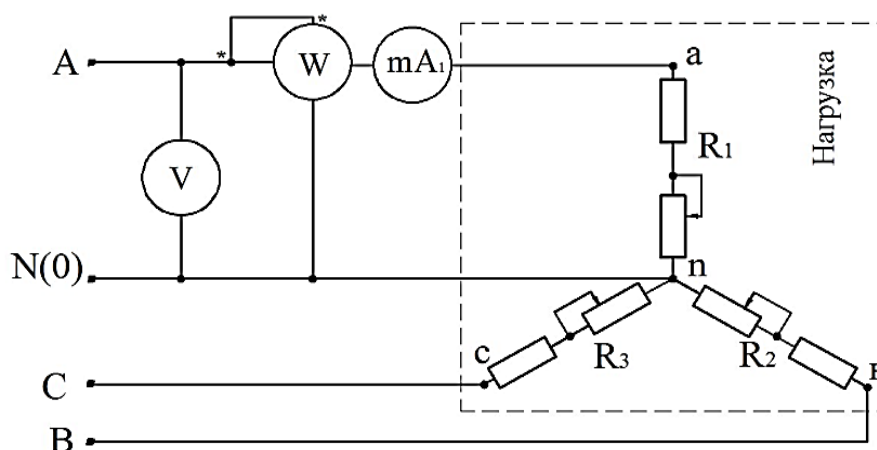


Рисунок 1.23 – Симметричная трехфазная четырехпроводная ЭЦ

1.2 Установить симметричную нагрузку трехфазного низковольтного ЭП.

1.3 После проверки преподавателем подключить схему к источнику трехфазного напряжения.

Обработка результатов Опыта 1

1.1 Определить потребляемую нагрузкой активную мощность:

- прямым методом, т.е. путем измерения ваттметром, включенным в соответствующую фазу трехфазной четырехпроводной ЭЦ:

$$P_{\Sigma} = 3 \cdot P_w;$$

- косвенным методом, т.е. измерением напряжения и тока, используя мультиметр и миллиамперметр, включая их в соответствующую фазу ЭЦ, как показано на рисунке 1.23, и дальнейшим расчетом активной мощности.

1.2 Потребляемая активная мощность в фазе определится по формуле:

$$P_{\phi} = U_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \cos \varphi,$$

где U_{ϕ} – напряжение, приложенное к фазе приемника, В;

I_{ϕ} – ток, протекающий в фазе приемника, А;

φ – угол сдвига фаз между током и напряжением соответствующей фазы.

Поскольку нагрузка чисто активная ($\varphi = 0^\circ$):

$$P_{\phi} = U_{\phi} \cdot I_{\phi}.$$

Потребляемая активная мощность всей трехфазной ЭЦ определится как:

$$P_{\Sigma} = 3 \cdot P_{\phi}.$$

1.3 Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.16.

Таблица 1.16 – Результаты измерений и вычислений (Опыт 1 и Опыт 2)

Режим работы ЭЦ	Показания измерительных приборов									Вычислено P_{Σ}		β , %
	Ваттметр, Вт			Вольтметр, В			Миллиамперметр, mA			Метод		
	P_a	P_b	P_c	U_a	U_b	U_c	I_a	I_b	I_c	Прямой	Косвенный	
Симметричный режим												
Несимметричный режим												

Опыт 2. Несимметричный режим работы ЭЦ.

Рабочее задание опыта 2

2.1 Установить несимметричную нагрузку трехфазного низковольтного ЭП.

2.2 Измерить потребляемую нагрузкой активную мощность:

- прямым методом (три ваттметра, включенным в каждую фазу трехфазной ЭЦ или одним ваттметром, последовательно включаемым в каждую фазу трехфазной ЭЦ);

- косвенным методом (используя амперметры $mA_1 - mA_4$, включенные в каждую фазу трехфазной ЭЦ, и вольтметр, включенный между фазными проводами и нулевым проводом).

2.3 Схема включения измерительных приборов в трехфазную четырехпроводную ЭЦ показана на рисунке 1.24.

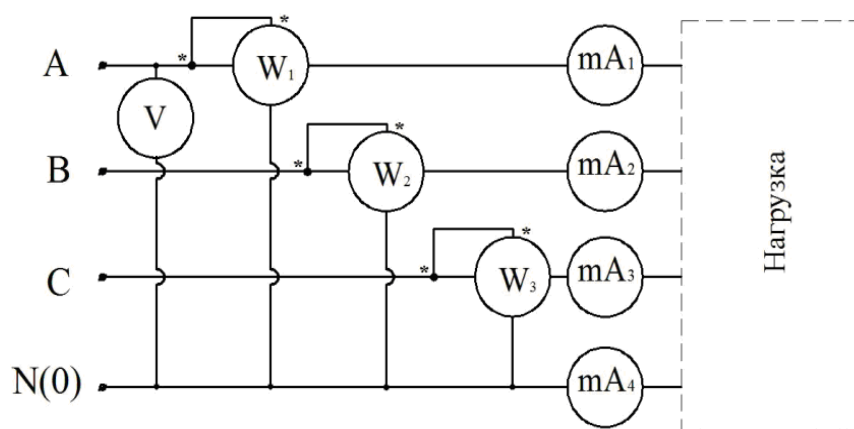


Рисунок 1.24 – Схема включения измерительных приборов в трехфазную ЭЦ

Обработка результатов измерений

2.1 Потребляемая активная мощность в каждой фазе при чисто активной нагрузке определяется как и в Опыте 1.

2.2 Потребляемая активная мощность всей трехфазной ЭЦ определится как сумма активных мощностей всех трех фаз:

- прямой метод:

$$P_{\Sigma} = P_{w1} + P_{w2} + P_{w3} ,$$

где P_{w1} , P_{w2} , P_{w3} – показания ваттметров;

- косвенный метод:

$$P_{\Sigma} = U_a \cdot I_a + U_b \cdot I_b + U_c \cdot I_c .$$

2.3 Результаты измерений и вычислений прямым и косвенным методами занести в таблицу 1.16.

Измерение потребления активной мощности в трехфазной 3-х проводной ЭЦ при чисто активной нагрузке прямым и косвенным методами

Опыт 3. Симметричный режим работы ЭЦ.

Рабочее задание опыта 3

3.1 Собрать трехфазную трехпроводную ЭЦ в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 1.25.

3.2 Установить симметричную нагрузку трехфазного низковольтного ЭП, соединенного треугольником. В симметричной трехфазной трехпроводной ЭЦ используется искусственная нулевая точка, как показано на рисунке 1.25.

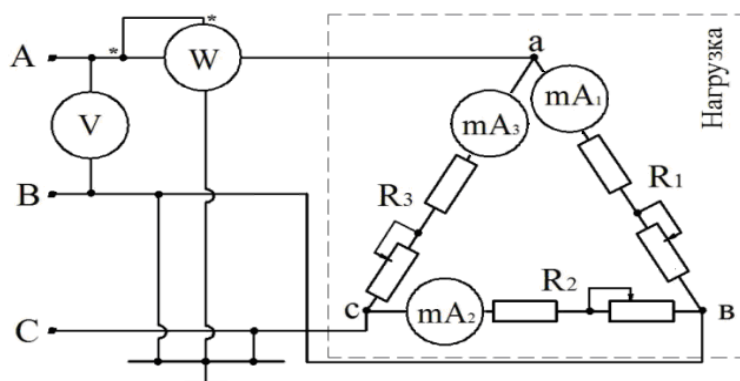


Рисунок 1.25 – Симметричная трехфазная 3-х проводная ЭЦ

3.3 После проверки преподавателем подключить ее к источнику трехфазного напряжения.

3.4 Измерить потребляемую нагрузкой активную мощность:

- прямым методом (ваттметром, включенным, как показано на рисунке 1.25, в одну из фаз трехфазной трехпроводной ЭЦ);
- косвенным методом (мультиметром и миллиамперметром, как показано на рисунке 1.25).

Обработка результатов измерений

3.1 При симметричной чисто активной нагрузке, как и в предыдущих опытах, достаточно произвести измерения только для одной фазы и определить потребляемую этой фазой активную мощность как и в Опыте 1.

3.2 Потребляемая активная мощность всей трехфазной трехпроводной ЭЦ определится утроением мощности одной фазы.

3.3 Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.17.

Таблица 1.17 – Результаты измерений и вычислений (Опыт 3)

	Показания измерительных приборов	Вычислено P_{Σ} , Вт	
--	----------------------------------	-----------------------------	--

Режим работы ЭЦ	Ваттметр	Вольтметр	Миллиамперметр	Метод		β , %
	P_{ab} , Вт	U_{ab} , В	I_{ab} , мА	Прямой	Косвенный	
Симметричный						

Опыт 4. Несимметричный режим работы ЭЦ.

Рабочее задание Опыта 4

4.1 Установить несимметричную нагрузку трехфазной ЭЦ.

4.2 Измерить потребляемую нагрузкой активную мощность.

Прямой метод измерения. Обычно мощность в трехфазной ЭЦ при несимметричной нагрузке измеряется тремя ваттметрами с последующим суммированием их показаний. Возможно измерение мощности одним ваттметром, последовательно включаемым в каждую фазу трехфазной ЭЦ, также с последующим суммированием показаний.

В данном опыте применяется метод двух ваттметров, включаемых в трехфазную ЭЦ по одной из схем, приведенных на рисунке 1.26. При этом мощность, потребляемая несимметричным трехфазным ЭП, будет равна сумме показаний этих ваттметров.

Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.18.

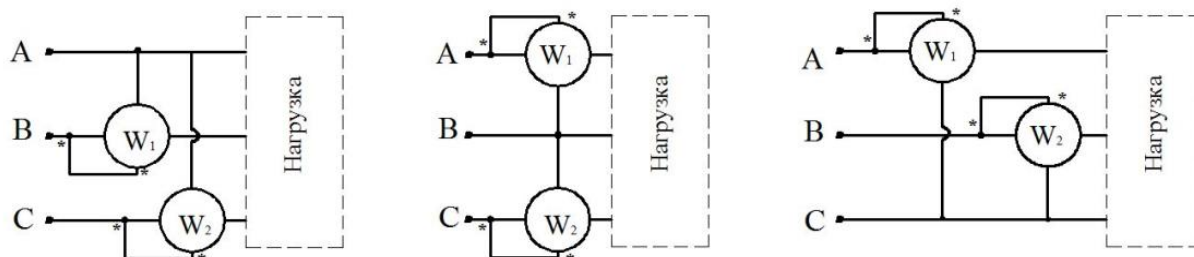


Рисунок 1.26 – Измерение активной мощности методом двух ваттметров

Таблица 1.18 – Результаты измерений и вычислений (Опыт 4)

Измерительная схема	Показания измерительных приборов								Вычислено P_{Σ}		β , %
	Ваттметр, Вт		Вольтметр, В			Миллиамперметр, мА			Метод		
	P_1	P_2	U_{ab}	U_{bc}	U_{ca}	I_{ab}	I_{bc}	I_{ca}	Прямой	Косвен- ный	
Общий узел – фаза А											

Общий узел – фаза В											
Общий узел – фаза С											

4.3 Провести измерения всеми тремя способами и сравнить результаты.

Косвенный метод измерения. Как и в предыдущих опытах при косвенном измерении использовать амперметры $mA_1 - mA_4$, включенные в каждую фазу трехфазной ЭЦ, и мультиметр, параллельно включаемый к каждой фазе низковольтного ЭП.

Потребляемая активная мощность в каждой фазе при чисто активной нагрузке при измерении косвенным методом определяется как в Опыте 1.

Потребляемая мощность всей трехфазной трехпроводной ЭЦ определяется как сумма мощностей всех трех фаз ЭП.

4.4 Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.18.

Измерение потребления реактивной мощности в трехфазной 3-х проводной ЭЦ при активно-реактивной нагрузке прямым методом

Опыт 5. Измерение реактивной мощности двумя ваттметрами

В трехпроводной сети без нулевого провода реактивную мощность как при симметричной, так и при несимметричной нагрузке фаз можно измерить двумя ваттметрами, собрав схему Арона.

Схема Арона обладает таким свойством, что, если показания ваттметров при нормальном отклонении их стрелок не складывать, а вычесть одно из другого, а полученную разность умножить на 3, то получится значение реактивной мощности трехфазной ЭЦ.

При отклонении стрелки одного из приборов в противоположную сторону показания приборов нужно сложить.

Рабочее задание Опыта 5

5.1 Собрать трехфазную трехпроводную ЭЦ с искусственной нулевой точкой в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 1.27.

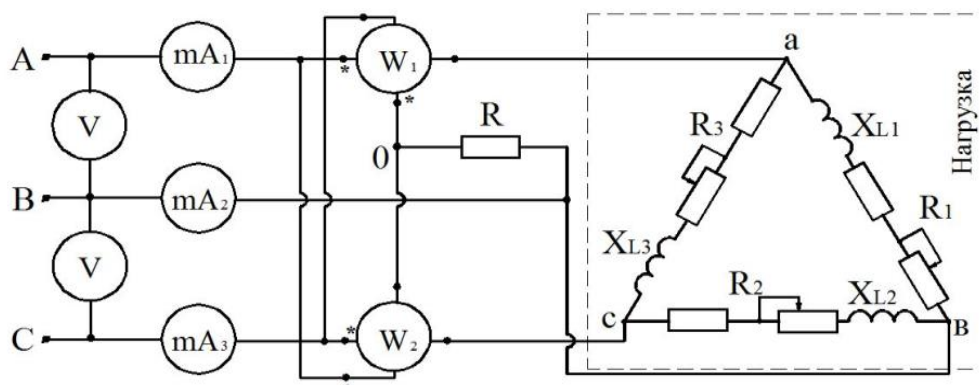


Рисунок 1.27 – Схема Арона для измерения реактивной мощности

5.2 После проверки схему подключить к источнику трехфазного напряжения.

5.3 Установить симметричную нагрузку трехфазной ЭЦ.

5.4 Рассчитать потребляемую нагрузкой реактивную мощность. Результаты измерений и вычислений занесены в таблицу 1.19. Сравнить результаты опытов.

Фазу для измерений указывает преподаватель

Таблица 1.19 – Результаты измерений и вычислений (Опыт 5)

Измерительная схема	Показания ваттметра		Вычислено $P_{\Sigma} = 3 \cdot (P_1 \pm P_2)$, Вт	β , %
	P_1 , Вт	P_2 , Вт		
Фаза А (В, С)				

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Перечислить задачи электропотребления.
2. Какие схемы электрических сетей различают по режиму нейтрали?
3. Охарактеризовать системы питания и распределения в системе электроснабжения строительных объектов.
4. Какое количество обмоток содержат автотрансформатор и многообмоточный трансформатор?
5. Как определяется КПД трансформатора?
6. Влияет ли категория нагрузки на коэффициент загрузки трансформатора?

7. В чем особенность резервирования при электроснабжении СО?
8. Перечислить и охарактеризовать схемы передачи и распределения электроэнергии от источника питания к распределительным пунктам.
9. Охарактеризовать конструкцию воздушных ЛЭП.
10. Охарактеризовать кабельную ЛЭП.
11. Перечислить преимущества и недостатки ЛЭП постоянного тока.
12. Охарактеризовать конструкции и назначение опор воздушных ЛЭП
13. Чем вызваны потери мощности ЛЭП? Какие методы используются для их определения?
14. На какие категории по надежности подразделяются ЭП? Дать краткую характеристику.
15. Описать построение графика электрических нагрузок.
16. Перечислить электрические параметры, определяемые при расчете нагрузок от ЭП в трехфазных электрических сетях?
17. Перечислить и охарактеризовать способы подключения однофазных и трехфазных ЭП к трехфазным электрическим сетям.
18. Нарисовать схему включения ваттметра для измерения активной мощности участка ЭЦ.
19. В чем особенность расчета электрических нагрузок строительных площадок.
20. Как рассчитывается мощность электрического теплого пола?
21. Перечислить и охарактеризовать типы освещения по функциональному назначению.
22. По каким параметрам определяется тип и мощность светильников?

1.4 Тесты

1. Систему электроснабжения условно можно разделить на ...
 - а) система питания, система распределения, система потребления;
 - б) источник питания, ЛЭП, трансформаторная подстанция;
 - в) трансформаторная подстанция, распределительная сеть, ЭП;

г) нет верных ответов.

2. Трансформатор – это электромагнитное устройство, которое предназначено для

- а) преобразования значений напряжения и тока при неизменной частоте;
- б) усиления передаваемой мощности;
- в) нет верных ответов.

3. Распределительная сеть включает:

- а) провода, опоры, изоляторы, арматуру;
- б) подстанции, РУ, воздушные и кабельные ЛЭП;
- в) электроприемники строительной площадки;
- г) все ответы верны.

4. Система внутреннего электроснабжения строительных площадок – это электрические сети напряжением:

- а) 35/10 кВ;
- б) 380/220 кВ;
- в) 10/0,4 кВ;
- г) варианты б и в.

5. В качестве источника питания может быть ...

- а) подстанция энергосистемы;
- б) устройство вторичного напряжения подстанции;
- в) все ответы верны.

6. Измерительные трансформаторы тока и напряжения на ТП включаются:

- а) со стороны высокого напряжения;
- б) со стороны низкого напряжения;
- в) с любой стороны.

7. Коэффициент трансформации трансформатора – это ...

- а) КПД трансформатора;

б) отношение количества витков первичной обмотки трансформатора к числу витков вторичной обмотки;

в) нет верного ответа.

8. Двух трансформаторные ТП применяются для электроснабжения ЭП ...

а) первой категории;

б) первой и второй категорий;

в) третьей категории.

9. Для снижения потерь мощности нужно ...

а) снизить силу тока;

б) повысить КПД трансформатора;

в) снизить напряжение в начале линии;

г) варианты а и в.

10. При сухом монтаже теплого пола применяют ...

а) кабельные электрические теплые полы;

б) нагревательный мат;

в) пленочные сверхтонкие теплые полы;

г) нет верного ответа.

11. Охранное освещение необходимо для ...

а) безопасного выхода из рабочей зоны;

б) несения дежурства пожарной бригаде;

в) несения дежурства военизированной охраны;

г) варианты в и г.

12. Коэффициент загрузки трансформатора для потребителей 2 категории принимается равным следующему значению:

а) 0,62;

б) 0,72;

в) 0,92.

13. В качестве пункта приема электроэнергии может выступать:

- энергосистема;
- главная понизительная подстанция (ГПП);
- источник вторичного электропитания;
- электростанция.

14. В радиальных схемах ЛЭП отходят от источника питания к трансформаторным подстанциям:

- по «радиусам»;
- по «магистрали»;
- по «цепочке».

Раздел 2. Качество и надежность в системах электроснабжения строительных объектов

2.1 Теоретическое введение

2.1.1 Компенсация реактивной мощности в электрических сетях строительных объектов

По электрическим сетям от источников к ЭП передается не только активная энергия (мощность), которая преобразуется в другие виды, но и реактивная мощность, поскольку работа большинства ЭП сопровождается потреблением из сети именно реактивной мощности. Активная мощность преобразуется в тепло, механическую мощность на валу рабочей машины и т.п. Реактивная мощность необходима для создания магнитного и электрического полей. При этом индуктивность рассматривается как потребитель, а емкость – как ее генератор.

Передача реактивной мощности по электрическим сетям сопровождается:

- повышением потерь электроэнергии;
- дополнительными затратами на ввод средств регулирования напряжения;
- увеличением площади сечений проводов воздушных и кабельных линий;
- увеличением числа трансформаторов подстанций и оборудования распределительных устройств.

Из сказанного следует, что технически и экономически целесообразно предусматривать компенсацию реактивной мощности.

Компенсация реактивной мощности (КРМ) – это снижение реактивного тока в сети и реактивной мощности, циркулирующей между источником и приемником электрической энергии.

Поскольку реактивная мощность трансформаторов и электрических машин переменного тока носит индуктивный характер, то для ее компенсации используют устройства с емкостным характером реактивной мощности.

На рисунке 2.1 приведена схема компенсации реактивной мощности в трехфазной четырехпроводной электрической сети.

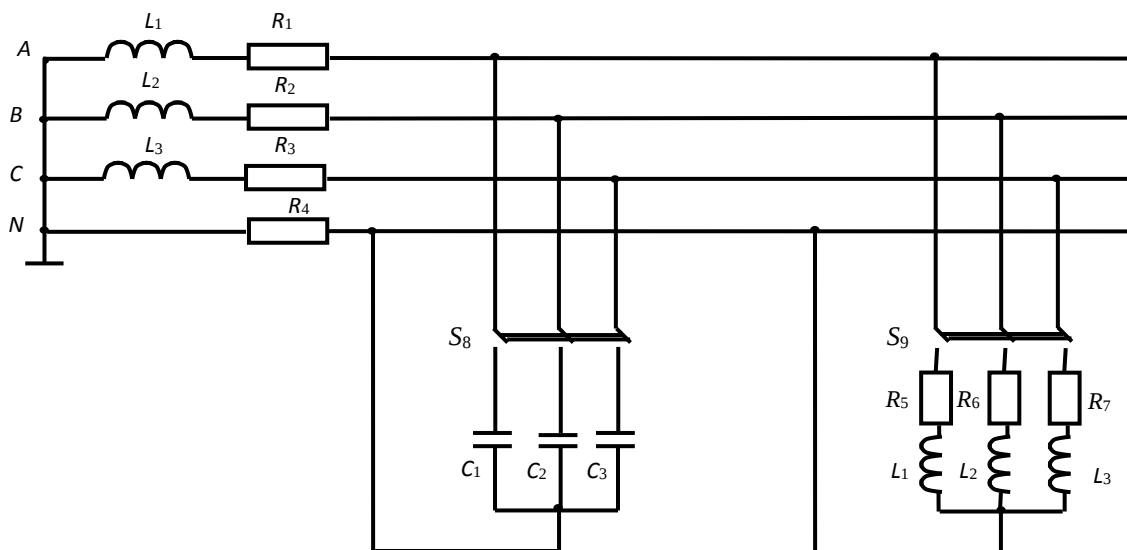


Рисунок 2.1 – Схема компенсации реактивной мощности в трехфазной электрической сети

К сети, приведенной на рисунке 2.1, подключен симметричный потребитель трехфазного тока, соединенный звездой. Каждая фаза, состоит из последовательного соединения резистора R и катушки индуктивности L .

С целью компенсации реактивной мощности через переключатель трехфазного тока S_8 подключены три компенсационных конденсатора.

Когда переключатель срабатывает (переключатель S_8 разомкнут) на 100 мс., достигается полная компенсация реактивной мощности.

Способы снижения реактивной мощности

Способы компенсации реактивной мощности возможны:

- с применением специальных компенсирующих устройств;
- без применения специальных компенсирующих устройств.

Мероприятия, снижающие потребление реактивной мощности, без применения специальных компенсирующих устройств

Применение специальных средств по компенсации реактивной мощности требует определенных затрат. Однако в настоящее время разработан ряд

мероприятий, способствующих снижению потребления реактивной мощности без значительных капитальных вложений. Рассмотрим некоторые из таких мероприятий.

1. Упорядочение технологического процесса, ведущее к улучшению энергетического режима оборудования.
2. Замена асинхронных электродвигателей, работающих в недогруженном режиме (до 45 %), двигателями меньшей мощности. Однако, если загрузка не ниже 70 %, замена не эффективна.
3. Понижение напряжения у электродвигателей, систематически работающих с малой нагрузкой;
4. Установка на агрегатах с электродвигателями и трансформаторами (в том числе и сварочными) ограничителей холостого хода.
5. Перевод нагрузки на один трансформатор, если трансформаторы нагружены ниже 30 %.
6. Отключение в резерв части трансформаторов в периоды снижения их нагрузки (например, в ночное время).

Мероприятия, снижающие потребление реактивной мощности, с применением специальных компенсирующих устройств

Наиболее распространенными техническими средствами компенсации реактивной мощности являются статические конденсаторы, которые представляют собой электрические емкости и вызывают в электрических сетях опережающий по отношению к напряжению ток.

В настоящее время наиболее широко применяются:

- конденсаторы типов:
 - КМПС (косинусный, с пропиткой конденсаторным маслом, с пленочным диэлектриком, самовосстанавливающийся);
 - КСШК (косинусный, с синтетической жидкостью, для шунтирующих батарей с комбинированным диэлектриком);
- комплектные конденсаторные установки (ККУ), состоящие из вводного

шкафа и шкафов с конденсаторами, образующих секции.

В вводном шкафу устанавливаются устройства автоматического контроля, регулирования, управления и сигнализации. Конденсаторные установки имеют исполнения для наружного и внутреннего применения.

Конденсаторы и конденсаторные установки могут включаться в сеть последовательно или параллельно ЭП. В зависимости от этого в электрических сетях различают компенсацию:

- продольную;
- поперечную:
 - индивидуальную – конденсаторы подключаются к выводам ЭП;
 - групповую – КУ присоединяются к шинам РУ, предназначенным для электроснабжения группы ЭП;
 - централизованную – КУ присоединяются к шинам распределительной подстанции.

Продольная компенсация. В этом случае конденсаторы включаются в сеть последовательно с ЭП. На рисунке 2.2 показана схема замещения линии. Условный потребитель на схеме выделен контуром, обведенным штрихом.

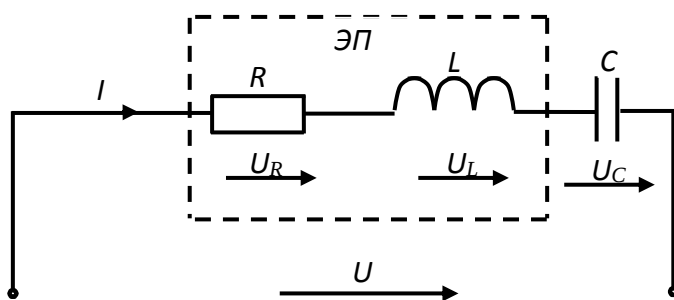


Рисунок 2.2 – Схема замещения линии при продольной компенсации

Продольная компенсация реактивной мощности обусловлена тем, что общее реактивное сопротивление определяется разностью индуктивного и емкостного сопротивлений:

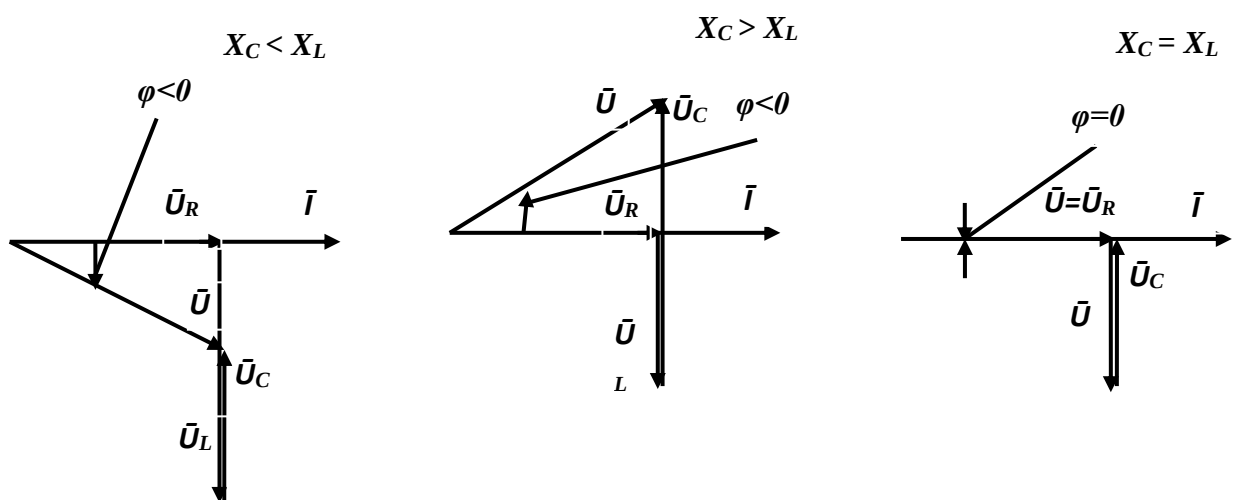
$$X_{\Sigma} = (X_L - X_C). \quad (2.1)$$

В этом случае:

$$\Delta Q = Q_L - Q_C = I^2 \cdot (X_L - X_C), \quad (2.2)$$

$$\text{где } Q_L = I^2 \cdot X_L; \quad Q_C = I^2 \cdot X_C. \quad (2.3)$$

В зависимости от соотношения между индуктивным и емкостным сопротивлениями линии возможны три ее режима: индуктивный, емкостной и резонансный. Векторные диаграммы тока и напряжений для различных соотношений реактивных сопротивлений приведены на рисунке 2.3.



а) индуктивный режим; б) емкостной режим; в) резонансный режим

Рисунок 2.3 – Векторные диаграммы тока и напряжений

Из векторных диаграмм, рисунок 2.3 а, б, очевидно, что включение емкостного сопротивления X_C приводит к уменьшению напряжения U_x за счет уменьшения общего сопротивления X_Σ , ($X_\Sigma = (X_L - X_C)$), следовательно, снижается значение реактивной мощности. В случае, когда хотят добиться полной компенсации реактивной мощности участок ЛЭП настраивают на резонансный режим ($X_L = X_C$). Векторная диаграмма этого режима приведена на рисунке 2.3 в.

При условии $X_C \gg X_L$ происходит не уменьшение реактивной мощности, а увеличение. В этом случае имеет место отрицательный эффект включения конденсаторов.

Продольная компенсация применяется на линиях высоких напряжений, прежде всего, для устойчивости энергосистемы и для увеличения пропускной способности линий. На промышленных предприятиях в настоящее время применяют батареи силовых конденсаторов последовательного включения. Поскольку при продольной компенсации ток конденсатора I_k равен проходящему через него полному току нагрузки I , то мощность конденсаторных батарей Q_{k1} , является переменной величиной, зависящей от нагрузки:

$$Q_{k1} = \frac{I^2}{\omega \cdot C \cdot 10^{-3}}, \quad (2.4)$$

где Q_{k1} – мощность конденсаторной батареи, кВАр;

I – ток нагрузки, кА;

ω – угловая частота ($\omega=2\pi f$), рад/с;

f – частота сети, Гц;

C – емкость конденсаторной батареи, мкФ.

Так как мощность конденсаторов при продольной компенсации изменяется, то уровень напряжения повышается не на постоянную величину, а на величину, изменяющуюся пропорционально изменению реактивной нагрузки линии.

Данный метод компенсации обеспечивает автоматическое регулирование напряжения в зависимости от тока нагрузки. Если в схеме питания возникает резкое повышение напряжения, то конденсаторы должны быть немедленно зашунтированы высоковольтным выключателем. Поскольку при продольной компенсации через конденсаторы проходит полный ток линии, в том числе и ток короткого замыкания. В связи с этим в ЭЦ возникают аварийные режимы. Причинами их могут оказаться феррорезонансные колебания, перенапряжения при расшунтировании конденсаторов, внутренние повреждения конденсаторов.

Поперечная компенсация. В этом случае компенсирующие устройства включаются параллельно нагрузке. На рисунке 2.4 приведена схема замещения линии при поперечной компенсации. Условный ЭП выделен штриховым контуром.

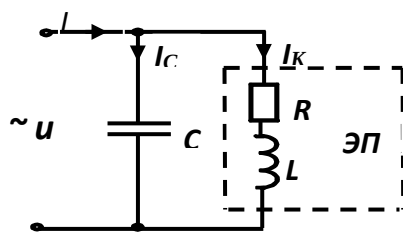
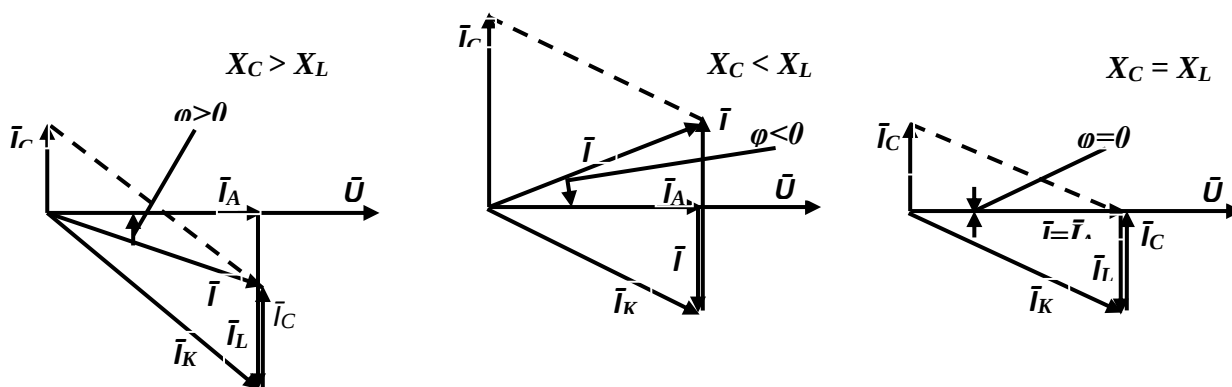


Рисунок 2.4 – Схема замещения линии при поперечной компенсации

Векторные диаграммы напряжения и токов для различных соотношений реактивных сопротивлений при поперечной компенсации реактивной мощности приведены на рисунке 2.5.



а) емкостный режим; б) индуктивный режим; в) резонансный режим

Рисунок 2.5 – Векторные диаграммы напряжения и токов

При поперечной компенсации реактивной мощности имеет место:

- снижение тока нагрузки и потерь активной мощности;
- повышение уровня напряжения в сети за счет снижения потерь напряжения в отдельных элементах системы электроснабжения.

Недостатком этого способа является использование реактивной мощности конденсатора только во время работы ЭП, к выводам которого он подключен.

Подключение конденсаторных батарей достаточно близко к ЭП сопровождается уменьшением потерь в питающей их сети.

Наиболее широко применяется групповая компенсация, при которой компенсирующие устройства присоединяются к шинам РУ, предназначенным для электроснабжения группы ЭП. В этом случае от реактивного тока

разгружается участок сети от конденсаторной установки до ЭП. Конденсаторы находятся в работе постоянно. Групповая компенсация, как правило, применяется в цехах с неагрессивной средой и не опасной по пожару и взрыву.

При централизованной компенсации реактивной мощности батареи конденсаторов присоединяют на шины 0,4 кВ цеховой подстанции или на шины 6-10 кВ ГПП. В этом случае от реактивной мощности разгружаются только трансформаторы ГПП и выше лежащая часть сети.

Компенсация реактивной мощности, в настоящее время, является немаловажным фактором позволяющим решить вопрос энергосбережения практически на любом предприятии.

Технические эффекты компенсации реактивной мощности

Мероприятия по компенсации реактивной мощности на объектах строительного производства позволяют:

- снизить ток в передающих элементах сети, что приводит:
 - к уменьшению сечения проводов сетей:

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + (Q_i - Q_{KV})^2}}{\sqrt{3} \cdot U}, \quad (2.5)$$

где Q_i – реактивная мощность до компенсации;

Q_{KV} – мощность компенсирующих устройств;

- уменьшить нагрузку на коммутационную аппаратуру;
- уменьшить нагрузку на трансформаторы, следовательно, снизить количество и мощность трансформаторов за счет уменьшения полной мощности:

$$S = \sqrt{P^2 + (Q_i - Q_{KV})^2}, \quad (2.6)$$

и увеличить срок их службы;

- улучшить качество электроэнергии у ЭП (за счет уменьшения искажения формы напряжения);
- избежать штрафов за снижение качества электроэнергии пониженным коэффициентом мощности;
- снизить расходы на электроэнергию.

Выбор мощности компенсирующих устройств

Выбор способа компенсации реактивной мощности и мощности компенсирующих устройств при проектировании систем электроснабжения производится одновременно с выбором других элементов этой системы с учетом вопросов регулирования напряжения. Чтобы выбрать мощность компенсирующих устройств необходимо определить активные и реактивные нагрузки в узлах системы электроснабжения. По расчетной реактивной нагрузке при напряжении до 1 кВ и выше 1 кВ определяют мощность конденсаторных установок, а также принимают решение о месте их установки. Конденсаторные установки могут подключаться к шинам распределительных подстанций или к шинам ТП предприятия.

При решении задачи по компенсации реактивной мощности должно выполняться условие соответствия рекомендованного нормативного коэффициента реактивной мощности $\tan \varphi$ значениям, приведенным в таблице Е.1.

Характеристики конденсаторных установок приведены в таблице Е.2.

Расчет и выбор компенсирующего устройства на шинах низкого напряжения распределительной ТП

Для выбора компенсирующего устройства (КУ) необходимо знать расчетную реактивную мощность, тип и напряжение КУ.

Расчетная реактивная мощность КУ определяется из соотношения:

$$Q_{P.KY} = \alpha \cdot P_a \cdot (\tan \varphi - \tan \varphi_k), \quad (2.7)$$

где $Q_{P.KY}$ – расчетная мощность КУ, кВАр;

P_a – расчетная активная мощность, кВт;

α – коэффициент, учитывающий повышение коэффициента мощности $\cos \varphi$ естественным способом (принимается $\alpha = 0,9$);

$\tan \varphi$ – коэффициент реактивной мощности до компенсации;

$\tan \varphi_k$ – коэффициенты реактивной мощности после компенсации.

Компенсацию реактивной мощности по опыту эксплуатации производят до получения коэффициента мощности $\cos\varphi_k = 0,92 \dots 0,95$ ($\tan\varphi_k = 0,33 \dots 0,43$).

Задавшись типом КУ, зная $Q_{P.KY}$ и напряжение сети выбираем стандартную компенсирующую установку соответствующей мощности $Q_{\Phi.KY}$ и марки на каждую секцию шин. Фактическое значение коэффициента мощности после компенсации реактивной мощности определяется по формуле:

$$\cos \varphi_k = \cos \left(\arctg \left(\tan \varphi - \frac{Q_{\Phi.KY}}{\alpha \cdot P_a} \right) \right). \quad (2.8)$$

2.1.2 Качество электроэнергии

Качество электроэнергии, производимой на электростанциях и получаемой на месте потребления, может отличаться после включения в сеть ЭП, поскольку электрическая сеть и нагрузка оказывают влияние друг на друга. Ряд показателей качества электроэнергии (ПКЭ) обусловлены потерями (падением) напряжения на участке сети, от которой питаются соседние потребители. Значение этих потерь для k -го участка сети можно определить по выражению:

$$\Delta U_k = (P_k \cdot R_k + Q_k \cdot X_k) / U_{ном}, \quad (2.9)$$

где P_k , Q_k – активная и реактивная мощности k -го участка сети;

R_k , X_k – активное и реактивное сопротивление k -го участка сети;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение.

Характер изменений величин, стоящих в числителе выражения (2.9), влияет на формирование электромагнитных помех.

Напряжение в системе электроснабжения является показателем баланса реактивной мощности. Если в системе существует нехватка реактивной мощности, то напряжение у ЭП становится ниже номинального и наоборот.

Контроль качества электроэнергии чаще всего проводится энергоснабжающей организацией и энергоемкими промышленными предприятиями.

Целями контроля качества электроэнергии в сетях являются:

- проверка соответствия фактических значений параметров электроэнергии;
- выявление виновника ухудшения качества;
- выбор мероприятий по нормализации качества электроэнергии.

Для комплексного контроля и анализа качества электроэнергии в настоящее время имеет место широкий диапазон приборов, среди которых можно назвать:

- прибор контроля качества электроэнергии ППКЭ;
- анализатор качества электроэнергии – ЭРИС-КЭ;
- приборы измерения и анализа показателей качества электроэнергии РЕСУРС-UF, РЕСУРС-UF2;
- информационно-вычислительный комплекс «Омск».

В системах контроля качества электроэнергии самым распространенным счетчиком электроэнергии является «Альфа». Данный счетчик электроэнергии используется в высоковольтных подстанциях, в распределительных сетях и у потребителей строительных площадок.

Схема включения двухэлементного счетчика «Альфа» в трехпроводную трехфазную электрическую сеть показана на рисунке 2.6.

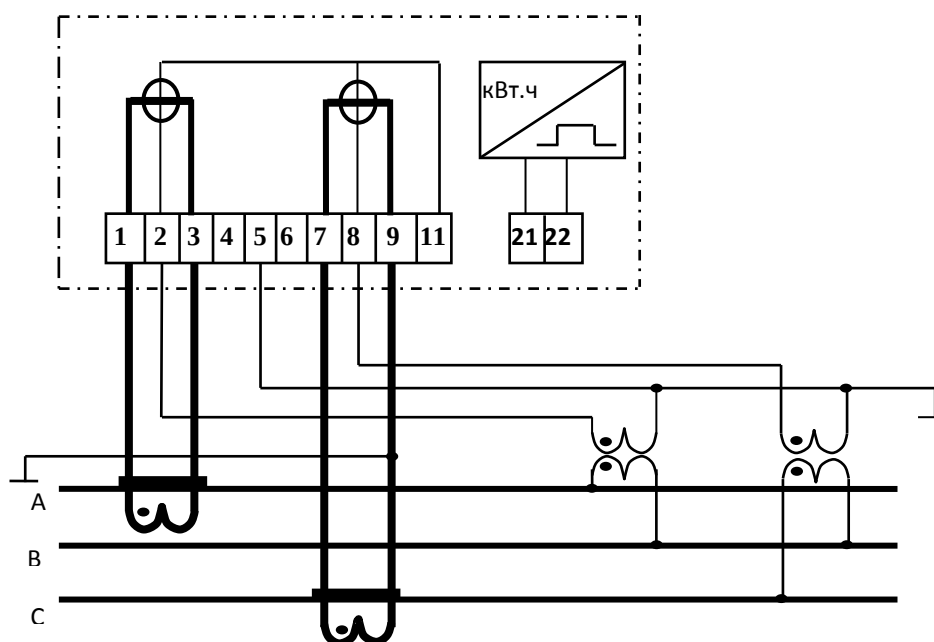


Рисунок 2.6 – Схема включения двухэлементного счетчика «Альфа»

Счетчики «Альфа» предназначены для работы в составе автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) и автономно.

В данной схеме трехфазные счетчики используются для учета активной и реактивной электроэнергии соответственно. Трансформаторы тока и напряжения со стороны низкого напряжения, предназначены для контроля тока и напряжения.

Приборы предназначены для контроля и анализа качества электроэнергии в электрических сетях трехфазного и однофазного тока напряжением от 220 В до 750 кВ. Они применяются для измерения показателей качества электроэнергии.

К основным показателям качества следует отнести следующие показатели.

1. *Установившееся отклонение напряжения* δU_y – разность между номинальным значением напряжения и значением напряжения в данной точке системы в рассматриваемый момент времени.

Допустимое значение δU_y : ± 5 и ± 10 % от $U_{ном}$ сети.

Виновник – энергоснабжающая организация.

2. *Провал напряжения* – внезапное понижение напряжения в точке электрической сети ниже $0,9 \cdot U_{ном}$, которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня через промежуток времени от десяти миллисекунд до нескольких десятков секунд.

Виновник – потребитель с переменной нагрузкой.

3. *Длительность провала напряжения* – интервал времени между начальным моментом провала напряжения и моментом восстановления напряжения до первоначального или близкого к нему уровня.

Виновник – потребитель с переменной нагрузкой.

4. *Несинусоидальность напряжения* характеризуется коэффициентами искажения синусоидальности и гармонических составляющих. Появление высших гармоник в кривых напряжения и тока крайне нежелательны, т.к. они вызывают увеличение потерь мощности и энергии в системе электроснабжения, а также создают помехи для работы средств связи, автоматики, защиты и др.

Виновники – потребители с нелинейной нагрузкой.

5. *Отклонение частоты δf* – разность между действительным и номинальным (50 Гц) значениями частоты. Допустимое отклонение частоты составляет $\pm 0,4$ Гц.

Виновник – энергоснабжающая организация.

6. *Провал напряжения* – внезапное снижение напряжения с последующим его восстановлением, опасен для потребителей с непрерывным техпроцессом. Предельно допустимая длительность – 30 с.

Виновник – энергоснабжающая организация.

Для расчета за потребленную (отпущенную) электроэнергию на подстанциях осуществляется учет активной и реактивной электроэнергии с помощью счетчиков активной и реактивной энергии. Счетчики включаются через трансформаторы тока и напряжения, как показано на рисунке 2.6.

Контрольно-измерительные приборы устанавливаются на лицевой панели распределительных щитов или шкафов комплектных распределительных устройств (КРУ).

2.1.3 Электробезопасность

В ЭС строительных объектов возможны повреждения отдельных элементов. Часто наблюдаются обрывы проводов воздушных линий. Они могут привести к коротким замыканиям между фазами оборудования и однофазным замыканиям на землю. В результате может быть причинен вред здоровью обслуживающего персонала или повреждено оборудование. Для предотвращения нежелательных последствий аварийных ситуаций в системах электроснабжения предусматривается монтаж релейной защиты.

Основной функцией устройств релейной защиты (РЗА) является: надежное срабатывание при повреждении защищаемого элемента систем электроснабжения объектов строительства. Устройства РЗА включают в себя устройства автоматического управления и автоматического регулирования, функции которых заключаются в обеспечении нормального режима электроснабжения или его

восстановлении при повреждении какого-либо элемента систем электроснабжения.

Основными требованиями к релейной защите являются:

- быстродействие – срабатывание в течение (0,04-1) с.;
- селективность или избирательность – способность выделять повреждение и отключать его ближайшими элементами;
- чувствительность – срабатывание в начале развития повреждения;
- надежность – способность правильно и безотказно защищать.

В устройствах РЗА применяют различные типы реле. По принципу действия изначально использовали следующие реле:

- *электрические* реле реагируют на электрические параметры: ток, напряжение, мощность, частоту, угол сдвига фаз между токами и напряжениями;
- *механические* реле реагируют на неэлектрические величины: давление, скорость истечения воздушных и жидкостных потоков, уровень жидкости, широко применяются в системах охлаждения электрооборудования;
- *тепловые* реле реагируют на количество выделенного тепла или изменение температуры.

В настоящее время в устройствах релейной защиты используют:

- *электронные* (полупроводниковые) реле, которые по своим функциям могут заменить все ранее указанные виды реле;
- микропроцессорные реле типа SPA_100, SPA_300.

Основным видом релейной защиты в электроустановках предприятий является *максимальная токовая защита* (МТЗ), срабатывающая при резком увеличении тока на защищаемом участке при коротком замыкании или при перегрузке.

Основой автоматических выключателей является реле максимального тока. В системах электроснабжения строительных объектов применяется релейная защита, как на переменном, так и на постоянном оперативном токе, где в качестве измерительного органа используются трансформаторы тока.

Для защиты трансформаторов от их повреждений и сигнализации о нарушениях их работы могут применяться следующие виды защит:

- дифференциальная токовая защита;
- максимальная токовая защита;
- газовая защита;
- защита предохранителями.

При работе электродвигателей напряжением до 1 кВ на объектах строительства предусматривается их защита от следующих режимов:

- многофазных коротких замыканий;
- однофазных замыканий на землю;
- перегрузки;
- потери питания и снижения напряжения.

При соприкосновении с отдельными частями электроустановок, находящихся под напряжением, электрический ток проходит через человеческое тело, оказывая поражающее действие на организм. Степень серьезности поражения током зависит от длительности и частоты тока. Электрический ток промышленной частоты 50 Гц, сила которого 0,05 А и более, является смертельной. Наиболее опасное поражение возникает при прохождении тока через мозг и сердце. В наиболее тяжелых условиях безопасным напряжением можно считать напряжение ниже 12 В, а в сухих – ниже 36 В.

Сопротивление человека меняется от нескольких тысяч до нескольких сотен Ом в зависимости от многих факторов. Наименьшее сопротивление человек имеет в сырой запыленной среде при высокой температуре окружающей среды. Так в этом случае опасным является напряжение в 30 В, поскольку сопротивление человека будет около 600 Ом. ($I=30/600=0,05$ А).

Многие части электроустановок, не находящихся под напряжением (корпуса электрических машин, кожухи трансформаторов, осветительная арматура, вторичные обмотки измерительных трансформаторов, металлические конструкции подстанций, кабельные муфты, стальные трубы электропроводок и т.п.), могут во время аварии оказаться под напряжением.

Обеспечить безопасность прикосновения людей к таким частям должно защитное заземление.

Защитным заземлением называют преднамеренное электрическое соединение металлических частей электроустановки, находящихся под напряжением, с заземляющим устройством.

Заземляющее устройство – устройство для электрического соединения с землей заземляемого оборудования, предназначенное для использования земли в качестве проводника тока, а также для защиты от его опасного действия.

Для заземляющих устройств используют по возможности естественные заземлители, к которым относятся водопроводные и другие металлические трубы, проложенные без изоляции в земле (кроме трубопроводов с горючими веществами).

Искусственные заземлители выполняют из вертикально забитых в грунт стальных стержней, соединенных между собой стальными полосами.

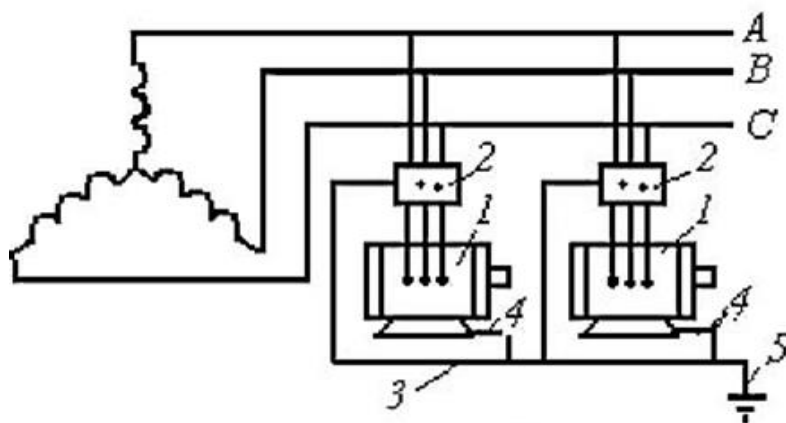
Схемы выполнения сетей защитного заземления можно разделить на три группы:

- местные (индивидуальные) заземляющие устройства, не имеющие связи с общей сетью заземления (заземлители располагают вблизи объектов, подлежащих заземлению);
- магистральные заземляющие сети с ответвлениями, присоединённые к одному из центральных заземляющих устройств (магистральный заземляющий проводник прокладывается по опорам ВЛ ниже фазных проводов и крепится на крюках без изоляторов);
- кольцевые заземляющие сети, соединённые с центральным заземляющим устройством и с местными заземлителями или без них (выполняются аналогично магистральным схемам при помощи троса, прокладываемого ниже фазных проводов).

В последнем случае схема общей сети заземления включает центральное заземляющее устройство, расположенное у главной подстанции, и две отходящие

от него магистральные линии заземления, соединяемые между собой на территории предприятия.

Схема защитного заземления элементов электроустановки напряжением до 1 кВ с изолированной нейтралью приведена на рисунке 2.7.



1 - электрооборудование; 2 - пусковое устройство; 3 - магистраль заземления; 4 - заземляющий проводник; 5 - заземлитель; 6 - заземление нейтрали; 7 - нулевой защитный проводник

Рисунок 2.7 – Схема защитного заземления электроустановки до 1 кВ

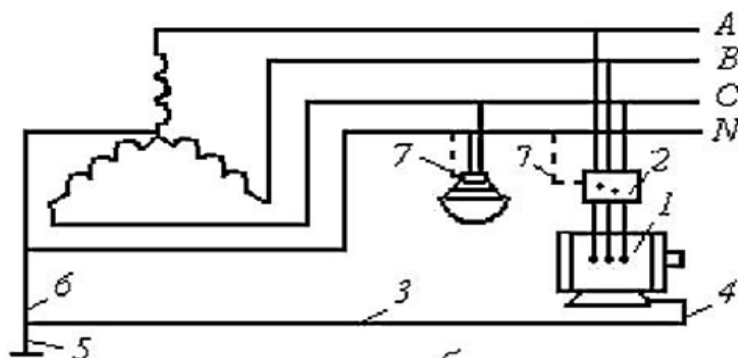
Посредством защитного заземления ток замыкания перераспределяется между заземляющим устройством и человеком обратно пропорционально их сопротивлениям.

Другим способом является *зануление*, которое выполняется в 4-х проводной системе 3-х фазного тока и имеет ту же цель, что и заземление.

Зануление – металлическое соединение заземляемого объекта с заземленной нейтралью генератора или трансформатора. Зануление применяется в электроустановках 380/220 В для оборудования, расположенного на открытых площадках и в помещениях с повышенной опасностью, а также в установках 220/127 В в особо опасных условиях.

Зануление шунтирует человека, создает малое сопротивление цепи тока однофазного короткого замыкания, чем обеспечивается быстрое отключение поврежденной фазы.

В электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединяют нейтраль трансформаторов и генераторов, должно быть не более 4 Ом. Для трансформаторов и генераторов мощностью 100 кВА и менее заземляющие устройства могут иметь сопротивление до 10 Ом. На рисунке 2.8 приведена схема защитного зануления в электроустановке с глухозаземленной нейтралью.



- 1 - электрооборудование; 2 - пусковое устройство; 3 - магистраль заземления;
4 - заземляющий проводник; 5 - заземлитель; 6 - заземление нейтрали;
7 - нулевой защитный проводник

Рисунок 2.8 – Схема зануления электроустановки до 1 кВ:

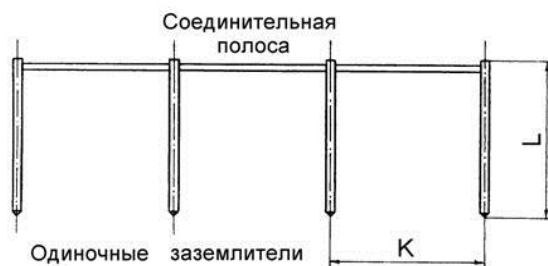
В электроустановках напряжением до 1 кВ заземлению и занулению подлежат части электрооборудования:

- корпуса электрических машин и трансформаторов, коммутационных и защитных аппаратов;
- вторичные обмотки измерительных трансформаторов;
- металлические конструкции распределительных устройств и щитов;
- опорные металлические конструкции электрооборудования и другие металлические конструкции, связанные с установкой электрооборудования.

Заземлитель может быть простым и сложным. Простой заземлитель выполняется в виде замкнутого контура, состоящего из вертикальных заземлителей (стальных стержней, уголков, некондиционных труб и др), вертикально забиваемых в траншею глубиной до 0,7 м, и стальных полос,

соединяющих эти вертикальные заземлители и прокладываемых в земле на глубине 0,5 м. Соединительные полосы присоединяются к верхним концам вертикальных заземлителей сваркой.

Стержни можно располагать в ряд, как показано на рисунке 2.9, или в виде какой-либо геометрической фигуры (квадрата, прямоугольника) в зависимости от удобства монтажа и используемой площади.



L - длина заземлителя; K - расстояние между соседними заземлителями

Рисунок 2.9 – Конструкция заземляющего устройства

При этом необходимо соблюдать следующие условия:

- сечение соединительной полосы, ее толщина, минимальный диаметр прутка, минимальная толщина стенки уголка - определяются в соответствии с техническим циркуляром.

- длина стержня должна быть не менее 1,5...2 м, чтобы достичь незамерзающего слоя почвы.

- расстояние между соседними стержнями выбирают равным длине стержня.

Расчет заземляющего устройства в электроустановках (ЭУ)

Расчет заземляющих устройств сложен из-за неоднородности грунта и разных климатических зон, т.е. среднегодового количества осадков, промерзания грунта. Далее приведен расчет простых заземлителей методом коэффициента использования.

Расчет заземляющего устройства сводится к определению числа вертикальных заземлителей и длины соединительной полосы. Для упрощения расчета принимают, что одиночный вертикальный заземлитель представляет

собой стержень, либо трубу малого диаметра.

1. В зависимости от напряжения электроустановки и режима нейтрали устанавливают допустимое сопротивление заземляющего устройства R :

а) электроустановки с изолированной нейтралью:

- при $U \geq 1$ кВ $R \leq 10$ Ом ($R = 250/I$),

- при $U \leq 1$ кВ $R \leq 5$ Ом ($R = 125/I$),

где I – расчетный ток заземления, А;

б) электроустановки с эффективно заземленной нейтралью:

- при $U \geq 1$ кВ $R \leq 0,5$ Ом;

в) электроустановки с глухо заземленной нейтралью:

- при $U \leq 1$ кВ (380/220 В) $R \leq 4$ Ом.

2. Определяют сопротивления естественных заземлителей R_e путем замера их в реальной установке. Если $R_e \leq R$, то искусственные заземлители не требуются, в противном случае искусственные заземлители требуются.

3. Определяется сопротивление растеканию одиночного вертикального заземлителя (стержня):

$$R_0 = \frac{K_c \cdot \rho}{2\pi L} \cdot \left(\ln \frac{2L}{D} + 0,5 \cdot \ln \frac{4T + L}{4T - L} \right), \quad (2.10)$$

где L – длина заземлителя соответственно, м;

D – диаметр заземлителя соответственно, м;

ρ – эквивалентное удельное сопротивление грунта определяется по таблице Ж.1, Ом·м;

K_c – климатический коэффициент сезонности сопротивления грунта для вертикального заземлителя определяется по таблице Ж.2;

T – заглубление электрода, м.

Одиночный заземлитель должен полностью пронизывать верхний слой грунта и частично нижний. Величина удельного сопротивления грунта непостоянна и зависит от его влажности.

Заглубление электрода можно определить по формуле:

$$T = (L/2) + t. \quad (2.11)$$

4. Определяется ориентировочное количество вертикальных заземлителей без учета сопротивления соединительной полосы:

$$N_0 = R_0 \cdot K_c / R_{нр}, \quad (2.12)$$

где $R_{нр}$ – нормируемое сопротивление растеканию тока заземляющего устройства согласно ПУЭ определяется по таблице Ж.3, Ом.

Величины, приведенные в таблице Ж.3, справедливы при эквивалентном удельном сопротивлении грунта $\rho = 100$ Ом·м и менее, а при ρ более 100 Ом·м, необходимо эти величины умножить на коэффициент поправки k_3 :

$$k_3 = \rho / 100. \quad (2.13)$$

Коэффициент k_3 изменяется в пределах $1 < k_3 < 10$ (даже при больших удельных сопротивлениях грунта).

5. Определяется сопротивление растеканию тока соединительной полосы:

$$R_{п} = 2 \cdot \frac{\rho \cdot K_{п}}{L_{п} \cdot \eta_{п}}, \quad (2.14)$$

где $L_{п}$ – длина соединительной полосы, м;

$K_{п}$ – коэффициент сезонности для полосы (таблица Ж.2 для полосовых заземлителей);

$\eta_{п}$ – коэффициент использования полосы (таблица Ж.4).

Длину полосы можно определить по предварительному количеству вертикальных заземлителей. Если принять что они размещены в ряд, то длина полосы составит:

$$L_{п} = B \cdot (N_0 - 1), \quad (2.15)$$

где B – расстояние между соседними вертикальными заземлителями, м.

6. Определяется сопротивление одиночного заземлителя (стержня) с учетом коэффициента использования:

$$R_{\text{сп}} = R_0 / \eta_c, \quad (2.16)$$

где η_c – коэффициент использования вертикальных заземлителей определяется по таблице Ж.4.

Так как токи, растекающиеся с параллельно соединенных одиночных заземлителей, оказывают взаимное влияние, возрастает общее сопротивление заземляющего контура, которое тем больше, чем ближе расположены заземлители друг к другу. Это явление учитывается коэффициентом использования вертикальных заземлителей, величина которого зависит от типа и количества одиночных заземлителей, их геометрических размеров и расположения в грунте.

7. Определяется общее сопротивление вертикальных заземлителей с учетом сопротивления соединительной полосы:

$$R_c = R_{\text{п}} \cdot R_{\text{нр}} / (R_{\text{п}} + R_{\text{нр}}), \quad (2.17)$$

8. Определяется уточненное количество заземлителей:

$$N = R_{\text{сп}} / R_c. \quad (2.18)$$

Вычисленное количество заземлителей округляем до ближайшего большего целого числа.

9. По данным расчета составляем эскиз контура заземления (план размещения заземлителей в грунте – вид сверху, с нанесением размеров) и эскиз одиночного вертикального заземлителя.

10. Уточняется расчетное сопротивление соединительных полос с учетом коэффициента использования полосы (таблица Ж.4) для окончательно выбранного количества вертикальных заземлителей.

11. Определяют расчетное сопротивление вертикальных заземлителей, исходя из их окончательно принятого числа:

$$R_c = R_{\text{сп}} / N. \quad (2.19)$$

12. Определяют сопротивление заземляющего устройства:

$$R_3 = (R_c \cdot R_{\text{п}}) / (R_c + R_{\text{п}}). \quad (2.20)$$

2.2 Практические занятия

2.2.1 Практическое занятие 3. Компенсация реактивной мощности в электрических сетях

Пример 1. Выбрать компенсирующую установку (КУ) линии номинальным напряжением $U_{\text{ном}}$ 380 В, если расчетная активная мощность ЭП составляет 450 кВт при коэффициенте мощности равном 0,75. Коэффициент реактивной мощности после компенсации $\tan \varphi_k$ принять равным 0,39.

Решение:

Расчетную мощность КУ определяем по формуле:

$$Q_{P.KY} = \alpha \cdot P_a \cdot (\tan \varphi - \tan \varphi_k).$$

Значение коэффициента α , учитывающего повышение $\cos \varphi$ естественным способом принимается равным 0,9.

Значение коэффициента реактивной мощности до компенсации $\tan \varphi$, соответствующее по условию задачи $\cos \varphi = 0,75$, равно 0,88.

Таким образом, расчетная мощность КУ будет равна:

$$Q_{P.KY} = 0,9 \cdot 450 \cdot (0,88 - 0,39) = 199,4 \text{ (кВАр)}.$$

Задавшись типом компенсирующего устройства, зная $Q_{P.KY}$ и напряжение сети выбираем из таблицы Е.2 стандартную компенсирующую установку мощностью $Q_{KY.\Phi} = 200$ кВАр марки УКБН-0,38-100-50 на каждую секцию шин.

Пример 2. Напряжение на шинах ТП составляет 0,38 кВ. Выбрать КУ для компенсации реактивной мощности до нормативного значения коэффициента реактивной мощности соответствующего данному напряжению узла, если к ТП подключен двигатель мощностью 300 кВА, коэффициент мощности которого равен 0,8.

Решение:

Расчетную мощность КУ определяем по формуле:

$$Q_{P.KY} = \alpha \cdot P_a \cdot (tg \varphi - tg \varphi_k).$$

Расчетная активная мощность двигателя составит:

$$P_a = S \cdot \cos \varphi = 300 \cdot 0,8 = 240 \text{ (кВт)}.$$

Значение коэффициента α принимаем равным 0,9.

Значение коэффициента реактивной мощности до компенсации $tg \varphi$, соответствующее по условию задачи $\cos \varphi = 0,8$, равно 0,75.

Коэффициент реактивной мощности после компенсации $tg \varphi_k$ выбираем из таблицы Е.1 для напряжения 0,38 кВ равным 0,15.

Таким образом, расчетная мощность КУ будет равна:

$$Q_{P.KY} = 0,9 \cdot 240 \cdot (0,75 - 0,15) = 129,6 \text{ (кВАр)}.$$

Задавшись типом компенсирующего устройства, зная $Q_{P.KY}$ и напряжение сети выбираем из таблицы Е.2 стандартную компенсирующую установку мощностью $Q_{КУ.Ф} = 150$ кВАр марки УКБ-0,38-150 на каждую секцию шин.

Пример 3. В ЭЦ напряжением 380 В включен однофазный трансформатор мощностью 400 кВА и коэффициентом мощности 0,65. Каким будет коэффициент мощности, если для компенсации реактивной мощности последовательно нагрузке было подключено компенсирующее устройство УКБН-0,38-200-50? Какой метод компенсации применен в данной задаче/?

Решение:

Расчетная активная мощность трансформатора составит:

$$P_a = S \cdot \cos \varphi = 400 \cdot 0,65 = 260 \text{ (кВт)}.$$

Значение коэффициента реактивной мощности до компенсации, соответствующее по условию задачи $\cos \varphi = 0,65$, будет равно 1,17.

Приняв значение коэффициента α равным 0,9, формируем уравнение расчетной мощности КУ по формуле:

$$Q_{P.KY} = \alpha \cdot P_a \cdot (tg \varphi - tg \varphi_k)$$

$$200 = 0,9 \cdot 260 \cdot (1,17 - tg \varphi_k)$$

В данном случае имеет место метод продольной компенсации.

Коэффициент мощности после компенсации определяем по формуле:

$$\cos \varphi_k = \cos \left(\arctg \left(\operatorname{tg} \varphi - \frac{Q_{\Phi.KV}}{\alpha \cdot P_a} \right) \right) = \cos \left(\arctg \left(1,71 - \frac{200}{0,9 \cdot 260} \right) \right) = 0,76.$$

Пример 4. Для производственного помещения по производству бетонных работ размером 30 м х 50 м проводят проводку осветительной сети. Условия в помещении нормальные, помещение чистое. Рассчитать количество светильников, сечение проводов осветительной сети.

Решение

1. Определение количества и типа светильников

Количество светильников определяем по формуле (1.17):

$$N_{св} = \frac{E_H \cdot S \cdot K_3}{K_H \cdot n \cdot \Phi_L}.$$

Площадь помещения равна:

$$S = 30 \times 50 = 1500 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Нормативный уровень освещенности по таблице Г.2 принимаем $E_H=200$ лк.

Удельная мощность для производственных помещений по таблице Г.1 составляет $P_o=0,8$ Вт/м².

Количество ламп в светильнике $n = 4$.

Коэффициент запаса для чистых помещений принимаем $K_3 = 1,25$, согласно таблице Г.3.

Коэффициент использования для производственных помещений определяем по таблице А.2 $K_H=0,95$ ($\cos \varphi = 0,95$ $\operatorname{tg} \varphi = 0,33$).

Световой поток одной лампы накаливания 60 Вт в светильнике по таблице Г.4 составляет (790-830) Лм. Принимаем $\Phi_L = 830$ Лм.

Количество светильников в этом случае будет равно:

$$N_{св} = (200 \cdot 1500 \cdot 1,25) / (0,95 \cdot 4 \cdot 830) = 118,9 \pm 10 \%$$

Принимаем $N_{св} = 130$ шт.

Количество ламп накаливания:

$$N = N_{\text{св}} \cdot n = 220 \cdot 1 = 220 \text{ ламп.}$$

Расчетная мощность, необходимая для осветительной сети составит:

$$P_p = P_{\text{л}} \cdot N = 200 \cdot 220 = 44\,000 \text{ Вт} = 44 \text{ кВт.}$$

Тогда значение расчетного тока:

$$I_p = P_p / U_n = 44\,000 / 220 = 200 \text{ А}$$

2. Определение сечения проводов осветительной сети

$$S = I_p / \varsigma ,$$

где ς – максимально допустимая плотность тока.

Для токов:

$$\text{- до } 10 \text{ А } \varsigma = 15 \text{ А/мм}^2,$$

$$\text{- до } 50 \text{ А } \varsigma = 10 \text{ А/мм}^2,$$

$$\text{- до } 100 \text{ А } \varsigma = (7-8) \text{ А/мм}^2,$$

$$\text{- свыше } 100 \text{ А } \varsigma = 5 \text{ А/мм}^2.$$

Сечение провода осветительной сети для тока в 200 А составит:

$$S = 200 / 5 = 40 \text{ мм}^2.$$

На ток 200 А выбираем открытую проводку проводом с поливинилхлоридной изоляцией с алюминиевыми жилами сечением 70 мм².

Пример 5. Рассчитать для второй климатической зоны сопротивление одиночного вертикального заземлителя длиной 2,5 м, диаметром 12 мм для глинного грунта при глубине траншеи 0,8 м.

Решение:

Сопротивление одиночного вертикального заземлителя определяем по формуле:

$$R_0 = \frac{K\rho}{2\pi L} \cdot \left(\ln \frac{2L}{D} + 0,5 \cdot \ln \frac{4T + L}{4T - L} \right),$$

Эквивалентное удельное сопротивление глинного грунта ρ выбираем по таблице Ж.1 равным 60 Ом·м.

Значение климатического коэффициента сезонности сопротивления грунта стержневого заземлителя для второй климатической зоны по таблице Ж.2 принимаем равным 1,7.

Заглубление стержня определим по формуле:

$$T = (L/2) + t = (2,5/2) + 0,8 = 2,05.$$

Таким образом, сопротивление одиночного заземлителя будет равно:

$$R_0 = \frac{1,7 \cdot 60}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 2,5}{12 \cdot 10^{-3}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 2,05 + 2,5}{4 \cdot 2,05 - 2,5} \right) = 41,22 \text{ (Ом)}.$$

Пример 6. Определить для замкнутого контура заземления из 10 вертикальных заземлителей третьей климатической зоны сопротивление растеканию тока соединительной полосы при расстоянии между заземлителями 4м, если характер грунта – чернозем.

Решение:

Сопротивление растеканию тока одной соединительной полосы определяем по формуле:

$$R_{\Pi} = 2 \cdot \frac{\rho \cdot K_{\Pi}}{L_{\Pi} \cdot \eta_{\Pi}}.$$

Эквивалентное удельное сопротивление черноземного грунта ρ выбираем равным 50 Ом·м по таблице Ж.1.

Коэффициент сезонности для полосовых заземлителей K_{Π} третьей климатической зоны принимаем по таблице Ж.2 равным 2,3.

Коэффициент использования полосы η_{Π} принимаем по таблице 3.4 равным 0,68 (при отношении длины заземлителей к расстоянию между ними равным двум).

Длину полосы можно определить по количеству вертикальных заземлителей, которые размещены по замкнутому контуру по формуле:

$$L_{\Pi} = B \cdot n_0 = 4 \cdot 10 = 40 \text{ (м)}.$$

Тогда

$$R_{\Pi} = 2 \cdot \frac{50 \cdot 2,3}{40 \cdot 0,68} = 8,46 \text{ (Ом)}.$$

2.2.2 Расчетно-графическое задание

Для заданной трехфазной ЭС синусоидального тока, к которой последовательно подключены трехфазный потребитель и трехфазный электродвигатель, выполнить следующее:

- а) рассчитать линейные и фазные токи;
- б) рассчитать активную, реактивную и полную мощности ЭС до компенсации;
- в) выбрать КУ для компенсации реактивной мощности до заданного коэффициента реактивной мощности $tg \varphi_k$;
- г) нарисовать схему подключения КУ в электрической сети;
- д) определить фактическое значение коэффициента мощности после компенсации;
- ж) рассчитать линейные и фазные токи ЭС после компенсации;
- з) рассчитать активную, реактивную и полную мощности ЭС после компенсации.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Исходные данные к выполнению РГЗ

№ п/п	$U_{\text{Л}}$, кВ	Потребитель		Электродвигатель		$tg \varphi_k$
		P_1 , кВт	$\cos \varphi_1$	P_2 , кВт	$\cos \varphi_2$	
1	2	3	4	5	6	7
1	0,38	300	1,0	400	0,70	0,37
2	0,38	200	1,0	400	0,70	0,38
3	0,38	400	1,0	400	0,75	0,39
4	0,38	300	0,9	400	0,75	0,40
5	0,38	200	0,9	300	0,65	0,41

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5	6	7
6	0,38	400	0,9	300	0,65	0,42
7	0,38	300	0,8	300	0,60	0,43
8	0,38	300	0,8	500	0,60	0,37
9	6,0	400	0,8	500	0,70	0,38
10	6,0	300	1,0	400	0,70	0,39
11	0,38	500	1,0	400	0,75	0,40
12	0,38	400	1,0	300	0,75	0,41
13	6,0	300	1,0	300	0,65	0,42
14	6,0	500	0,9	300	0,65	0,43
15	0,38	400	0,9	100	0,60	0,43

Расчет провести для метода продольной компенсации, приняв коэффициент, учитывающий повышение коэффициента мощности естественным способом, равным 0,9 ($\alpha=0,9$).

2.3 Лабораторные занятия

В разделе представлена одна лабораторная работа по исследованию метода продольной компенсации реактивной мощности в электрических сетях. Результаты работы оформляются в виде отчета, который должен включать:

- цель работы;
- электрические схемы опытов;
- таблицы опытных и расчетных данных;
- расчетные формулы;
- выводы по работе.

2.3.1 Лабораторная работа 2. Компенсация реактивной мощности в электрических сетях

Цель работы: Исследовать метод продольной компенсации реактивной мощности в электрических сетях с целью снижения потерь мощности на примере электрической цепи, содержащей индуктивности.

Описание лабораторной установки

Элементы ЭЦ и измерительные приборы, используемые в лабораторной работе, размещены на лицевой панели универсального стенда.

В качестве источника электрической энергии используется генератора синусоидального напряжения ГЗ-123.

В качестве приемников электроэнергии используются набор катушек индуктивностей $L_1 - L_4$, магазин емкостей $C_1 - C_2$, резисторы $R_1 - R_3$.

Для измерения тока служит миллиамперметр переменного тока М 42300.

Для измерения напряжения используется цифровой мультиметр ВР-11А.

Измерение мощности осуществляется ваттметрами электродинамической системы Д539 и Д5004, которые могут быть применены как в цепях постоянного тока, так и в цепях переменного тока.

Опыт 1. Работа ЭЦ без компенсации реактивной мощности

Рабочее задание опыта 1

1.1 Ознакомиться с приборами, используемыми в работе, и записать их данные в отчет по работе.

1.2 Собрать электрическую цепь в соответствие со схемой, приведенной на рисунке 2.14. Включить в ЭЦ индуктивности L_1 , L_2 и резистор R_1 . На схеме, приведенной на рисунке 2.10, индуктивности L_1 , L_2 обозначены L .

1.3 Для расширения диапазона миллиамперметра переключиться на диапазон «х3». Установить движок резистора в крайнее левое положение. На генераторе ГЗ-123 установить выходное напряжение 14 В и частоту 500 Гц.

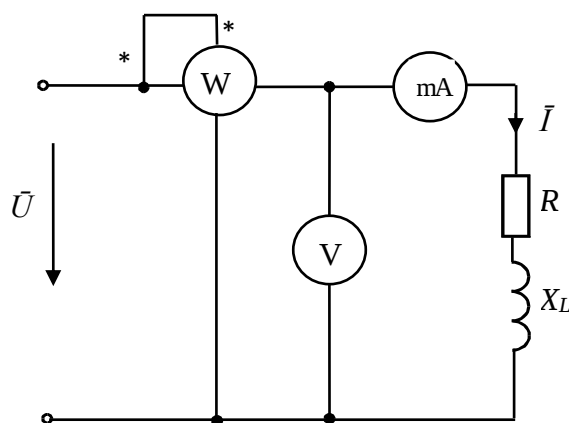


Рисунок 2.10 – Измерительная схема Опыта 1

1.4 После проверки ЭЦ преподавателем включить питание.

1.5 Для фиксированных значениях параметров резистора и катушек индуктивностей измерить ток, напряжение и активную мощность. Результаты измерений записать в таблицу 2.2.

Обработка результатов опыта 1

1.1 По показаниям миллиамперметра и мультиметра определить полную мощность ЭЦ до компенсации:

$$S = U \cdot I.$$

1.2 Рассчитать значение реактивной мощности до компенсации:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}.$$

1.3 Рассчитать коэффициенты мощностей:

$$\cos \varphi = P / S; \quad \operatorname{tg} \varphi = Q / P.$$

1.4 Результат расчета занести в таблицу 2.2.

Опыт 2. Работа ЭЦ с компенсацией реактивной мощности

Компенсация реактивной мощности в этом опыте осуществляется применением последовательно включенной конденсаторной батареи.

Рабочее задание опыта 2

Собрать ЭЦ, не изменяя положения движка резистора и добавив в схему Опыта 1 конденсаторы C1-C4, согласно рисунку 2.11. На схеме, приведенной на рисунке 2.11, индуктивности L_1, L_2 обозначены L , а конденсаторы C_1-C_4 – C .

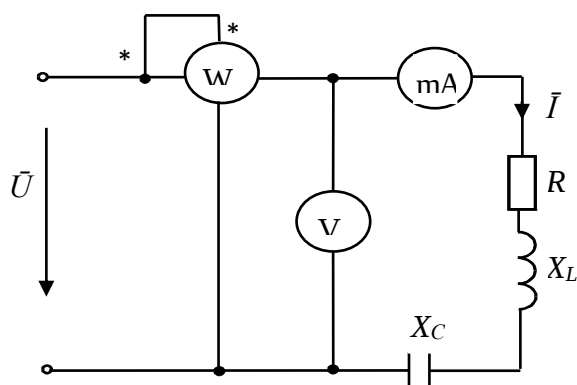


Рисунок 2.11 – Измерительная схема Опыта 2

2.2 На генераторе установить выходное напряжение 14 В и частоту 500 Гц.

2.3 После проверки ЭЦ преподавателем включить питание.

2.4 Изменяя значение емкости конденсаторной батареи путем включения дополнительного конденсатора, для фиксированных значений параметров резистора, катушки индуктивности измерить ток, напряжение и активную мощность в электрической цепи.

2.5 Результаты измерений записать в строке 1 таблицы 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты измерений и вычислений

Режим ЭС	Показания приборов			Результаты вычислений					
	P , Вт	U , В	I , мА	Z , Ом	S , ВА	Q , ВАр	ΔQ , ВАр	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$
До компенсации									
После компенсации									

Обработка результатов опыта 2

2.1 По показаниям миллиамперметра и мультиметра определить полную и реактивную мощности электрической сети после компенсации по формулам, приведенным в пунктах 1.1, 1.2.

2.2 Определить значение скомпенсированной мощности

$$\Delta Q_K = Q_1 - Q_2,$$

где Q_1 – значение реактивной мощности до компенсации;

Q_2 – значение реактивной мощности после компенсации.

2.3 Определить $\cos\varphi$, $\tan\varphi$ по формулам, приведенным в пункте 1.3.

2.4 Результаты расчета записать в строке 2 таблицы 2.2.

2.5 Построить треугольники мощностей до и после компенсации.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какие виды электроэнергии передаются по ЭС от источников к ЭП?

2. К чему приводит передача реактивной мощности по ЭС строительного производства?

3. Что называется компенсацией реактивной мощности?

4. Перечислить мероприятия, способствующие снижению потребления реактивной мощности.

5. На что расходуется реактивная мощность в ЭС?

6. Как отразится на работе ЭЦ замена асинхронных электродвигателей, работающих в недогруженном режиме, двигателями меньшей мощности.

7. Перечислить технические средства компенсации реактивной мощности.

8. В чем различие индивидуальной и централизованной компенсации?

9. В чем особенность групповой компенсации?

10. Нарисовать схему замещения линии при продольной компенсации.

11. Объяснить резонансный режим работы линии электропередачи.

12. При каком методе компенсации реактивной мощности через конденсаторы может проходить ток короткого замыкания, т.е. в ЭЦ возможно возникновение аварийного режима?

13. Внутренние повреждения конденсаторов может ли привести к возникновению в ЭЦ аварийных режимов?

14. При каком методе компенсации реактивная мощность конденсатора используется только во время работы ЭП, к выводам которого он подключен?

15. Подключение конденсаторных батарей достаточно близко к ЭП сопровождается уменьшением потерь в питающей их сети или увеличением?

16. Перечислить технические эффекты компенсации реактивной мощности.

17. Компенсацию реактивной мощности обычно производят до получения коэффициента мощности равного
18. Перечислить показатели качества электроэнергии (ПКЭ).
19. Перечислить цели контроля качества электроэнергии в сетях.
20. Где устанавливаются контрольно-измерительные приборы?
21. Какие участки электроустановок напряжением до 1 кВ подлежат заземлению и занулению?
22. На какую глубину должны забиваться заземляющие стержни?
23. Перечислить основные этапы при расчете заземляющего устройства.
24. Как определяется расстояние между соседними стержнями?
25. Как могут располагаться заземляющие стержни? От чего это зависит?

2.4 Тесты

1. Передача реактивной мощности по электрическим сетям приводит:
- а) к повышенным потерям электроэнергии;
 - б) к дополнительным затратам на оплату электроэнергии;
 - в) к перепадам напряжения;
 - г) варианты *а* и *б*.
2. При отключении нагрузки и при наличии в сетях конденсаторных батарей, компенсирующих реактивную мощность, напряжение в узлах:
- а) увеличивается;
 - б) уменьшается;
 - в) остается неизменным;
 - г) принимает нулевое значение.
3. В электрических сетях потребителями реактивной мощности являются:
- а) асинхронные двигатели;
 - б) трансформаторы;

- в) электрические машины постоянного тока;
- г) индукционные печи.

4. Какие из перечисленных мероприятий будут способствовать снижению потребления реактивной мощности без значительных капитальных вложений?

- а) обоснованный выбор электродвигателей по мощности и типу;
- б) выбор номинального напряжения ЛЭП;
- в) загрузка электродвигателя свыше 75 % его номинальной мощности;
- г) варианты *а* и *в*.

5. К техническим средствам компенсации реактивной мощности относятся:

- а) конденсаторы;
- б) катушки индуктивности;
- в) полупроводниковые диоды;
- г) варианты *а* и *б*.

6. Какие методы компенсации реактивной мощности имеют место в сетях?

- а) продольная и поперечная;
- б) симметричная и несимметричная;
- в) активная и реактивная;
- г) последовательная и параллельная.

7. Кем осуществляется контроль качества электроэнергии?

- а) энергоснабжающей организацией;
- б) энергоемкими предприятиями;
- в) энергопотребителями;
- г) варианты *а* и *б*.

8. Какие из перечисленных показателей относятся к показателям качества электроэнергии (ПКЭ)?

- а) несинусоидальность напряжения;
- б) потери мощности трансформатора;
- в) отклонение частоты;

г) варианты *а* и *в*.

9. Назначение счетчиков активной электроэнергии.

а) учет потребления реактивной электроэнергии;

б) учет потребления активной электроэнергии.

10. Защитное зануление в электроустановках выполняется:

а) в 4-х проводной системе трехфазного тока;

б) в 3-х проводной системе трехфазного тока;

в) в системе однофазного тока;

г) варианты *а* и *б*.

11. Контур заземления представляет собой конструкцию из ...

а) дерева;

б) стали;

в) керамики;

г) железобетона.

12. Значения каких величин влияют на сопротивление одиночного вертикального заземлителя?

а) длина заземлителя;

б) диаметр заземлителя;

в) сопротивление грунта;

г) все варианты.

13. Длина стержня заземлителя должна быть ...

а) не менее 1,5 – 2,0 метра;

б) более 3 метров;

в) менее 1,0 метра;

г) не имеет значения.

14. Какое напряжение в сырой запыленной среде при высокой температуре окружающей среды является опасным для жизнедеятельности человека?

а) 10 В;

- б) 30 В;
- г) 0,5 В;
- г) 100 В.

15. Преднамеренное электрическое соединение металлических частей электрических установок, находящихся под напряжением, с заземляющим устройством это ...

- а) заземление;
- б) зануление;
- в) нет верного ответа;
- г) варианты *а* и *б*.

Раздел 3. Требования к оформлению индивидуальных заданий

3.1 Правила оформления расчетно-графического задания

Работа над расчетно-графическими заданиями помогает студентам проверить степень усвоения им курса, вырабатывает у них навык четко и кратко излагать свои мысли.

Расчетно-графическое задание выполняется на листах формата А4 (210x297 мм) в соответствии с ГОСТ 2.301 и стандартом СТО 02069024.101 – 2015 «Работы студенческие. Общие требования и правила оформления».

Работа должна содержать следующие структурные элементы:

- титульный лист;
- задание;
- содержание;
- расчетная и графическая части;
- список использованных источников.

3.1.1 Титульный лист и задание

Титульный лист является первым листом РГЗ. На титульном листе указывают классификационный код. Последние три цифры в классификационном коде соответствуют трем последним цифрам номера зачетной книжки.

Переносы слов в надписях титульного листа не допускаются.

Задание к РГЗ следует размещать на странице после титульного листа. Задание должно содержать исходную схему и исходные данные.

3.1.2 Оформление расчетной и графической частей

Расчетно-графическое задание может быть выполнено либо на компьютере с применением текстового редактора MS Word 7.0 и выше, либо в рукописном

виде, при этом текстовая часть, формулы, графики, диаграммы выполняются чернилами черного цвета или тушью.

На каждой странице РГЗ следует чертить рамку, ее размеры: слева - 20 мм; справа, снизу, сверху - 5 мм.

Страницы РГЗ следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту.

К оформлению РГЗ, выполненному на компьютере, предъявляются следующие требования:

- ориентация страниц - книжная;
- шрифт Times New Roman 14 pt с одинарным или полуторным межстрочным интервалом;
- отступ первой строки 1,25 см;
- автоматическая расстановка переносов;
- размеры шрифта для формул: обычный – 14 pt; индекс – 10 pt.

При выполнении расчетной и графической частей РГЗ необходимо выполнять следующие:

- полностью написать условия заданий;
- начертить электрическую схему в соответствии с ЕСКД;
- в ходе выполнения задания принятые направления токов, напряжений, обозначения узлов и элементов цепи изменять нельзя;
- выполнение задания следует кратко комментировать;
- при выполнении расчетов сначала приводится формула, затем в нее подставляются числовые значения без размерностей, затем приводится результат с указанием размерности;
- вычисления должны быть сделаны с точностью до трех значащих цифр после запятой;
- потенциальные, векторные, топографические диаграммы и графики необходимо строить в масштабе на миллиметровой бумаге;
- расчеты в Mathcad приводить либо в приложениях, либо по тексту как рисунок;

- скриншоты исследований электрических цепей в Electronics Workbench приводить в Приложениях.

3.2 Содержание отчетов по лабораторным работам

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- тему лабораторной работы;
- цель работы;
- электрические схемы опытов;
- таблицы опытных и расчетных данных;
- расчетные формулы;
- выводы по работе.

Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок [Комплект] : все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 февраля 2015 года. - Москва : КНОРУС, 2015. - 488 с.
2. СТО 56 94 7007-29.240.30.010. – 2008. – М. : ОАО «ФСК ЕЭС», 2007. – 132 с.
3. Щербаков, Е. Ф. Электроснабжение объектов строительства [Текст] : учебное пособие / Е. Ф. Щербаков, Д. С. Александров, А. Л. Дубов. - Ульяновск : УлГТУ, 2011. – 404 с.
4. Анчарова, Т. В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений : Учебник / Т. В. Анчарова, М. А. Рашевская, Е. Д. Стебунова. – М. : Форум: НИЦ Инфра-М, 2012. – 416 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=326458>.
5. Рыбков, И. С. Электротехника: учебное пособие / И. С. Рыбков. – М. : ИЦ РИОР : НИЦ Инфра-М, 2013. – 160 с. Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=369499>.
6. Сибикин, Ю.Д. Основы электроснабжения объектов : учебное пособие / Ю.Д. Сибикин. – М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 328 с. – Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4458-5750-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=229842>.
7. Метрология и электрические измерения: методические указания к лабораторным работам / А. Т. Раимова, О. Д. Юрк; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2011. – 77 с.
8. Семенова, Н. Г. Исследование линейных электрических цепей [Электронный ресурс] : учебное пособие к лабораторному практикуму / Н. Г. Семенова, Н. Ю. Ушакова, Л. А. Семенова. - Оренбург : ОГУ. – 2014. – 65 с.
9. Электротехника [Текст] : учеб.пособ. к лабораторному практикуму для студентов неэлектротехнических специальностей / С. Н. Бравичев, Г. И. Дегтярев, В. Н. Трубникова. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2011. – 136 с.
10. Шеховцов В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения [Текст] :

методическое пособие для курсового проектирования. – М. : Форум : Инфра-М, 2006. – 214 с.

11. Электричество. – М. : Агенство «Роспечать». – режим доступа: http://www.akc.ru/itm/y_elektric_hestvo/
12. Электротехнические устройства. – режим доступа: <http://www.vsyaelektrotehnika.ru>

Приложение А

(справочное)

Расчет нагрузок строительных объектов

Таблица А.1 – Средние значения коэффициента спроса K_c и $\cos \varphi$ для механизмов строительных объектов

Характеристика нагрузок	K_c	$\cos \varphi$
Экскаваторы с электроприводом	0,4 - 0,6	0,5 - 0,6
Краны башенные и козловые	0,2	0,5
Механизмы непрерывного транспорта (транспортеры, шнеки)	0,6 - 0,65	0,6 - 0,75
Электросварочные агрегаты:		
Сварочные трансформаторы	0,35	0,4
Однопостовые двигатель-генераторы	0,35	0,6
Точечные, шовные и стыковые машины	0,35	0,65
Насосы, вентиляторы, компрессоры	0,7	0,8
Растворные узлы	0,2	0,65
Бетономешалки	0,4	0,7
Цехи холодной обработки металлов	0,2	0,65
Цехи горячей обработки металлов	0,3	0,65
Пилорамы	0,65	0,75
Переносные механизмы	0,1	0,45
Электрическое освещение	0,9	1,0

Таблица А.2 – Коэффициенты использования $K_{\text{иа}}$ и $\text{tg } \varphi$ при соответствующем ему $\cos \varphi$ для разных групп приемников

Наименование приемников электроэнергии	$K_{\text{иа}}$	$\text{tg} \varphi / \cos \varphi$
Металлорежущие станки: - токарные, строгальные, долбежные, сверлильные; - другие мелкосерийного производства.	0,12 0,12	2,29/0,4 2,29/0,4
Подъемно-транспортные механизмы: - элеваторы, транспортеры; - шнеки, конвейеры.	0,4 0,4	0,88/0,75 0,88/0,75
Краны, тельферы: - при ПВ 25%; - при ПВ 40%.	0,05 0,1	1,73/0,5 1,73/0,5
Сварочные трансформаторы для ручной сварки	0,3	2,68/0,35 1,73/0,5
Электрические печи: - печи сопротивления с непрерывной загрузкой; - сушильные шкафы.	0,7 0,7	0,33/0,95 0,33/0,95
Индукционные печи низкой частоты	0,7	2,68/0,35
Двигатель-генераторы, насосы, вентиляторы, компрессоры,	0,7	0,75/0,8
Бетономешалки	0,4	1,02/0,7
Пилорамы	0,4	0,88/0,75
Выпрямители полупроводниковые	0,7	0,75/0,8
Освещение: - производственные корпуса; - конторско-бытовые, лабораторные здания; - складские здания; - аварийное освещение; - мелкие нагревательные приборы.	0,95 0,8 0,6 0,9 0,6	0,33/0,95 0,33/0,95 0,33/0,95 0,33/0,95 0/1

Таблица А.3 – Коэффициенты расчетной нагрузки K_p на шинах цеховых трансформаторов и для магистральных шинопроводов (постоянная времени нагрева $T = (2,5-3)$ часа)

n_3	Коэффициент использования $K_{\text{и}}$							
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
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	0,88	0,89
25 - 50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,8	0,85	0,85
> 50	0,65	0,65	0,65	0,7	0,7	0,75	0,8	0,8

Таблица А.4 – Коэффициенты одновременности работы ЭП строительных площадок K_i

Тип электроприемников (ЭП)	Количество одновременно работающих ЭП	Коэффициент одновременности K_i	
		Обозначение в тексте	Значение коэффициента
Электромотор	1 – 5	K_1	0,6
	6 – 8		0,5
	более 8		0,4
Технологические потребители	любое	K_2	0,4
ЭП внутреннего освещения	любое	K_3	0,8
ЭП наружного освещения	любое	K_4	0,9
Сварочные трансформаторы	1 – 3	K_5	0,8
	4 – 5		0,6
	6 – 8		0,5
	более 8		0,4

Таблица А.5 – Коэффициенты одновременности K_o для определения расчетной нагрузки на шинах напряжением 6-10 кВ РУ и ГПП

Средневзвешенный коэффициент использования $K_{и}$	Число присоединений на сборных шинах РП и ГПП напряжением 6 - 20 кВ				
	2 - 4	5 - 8	9 - 15	16 - 25	> 25
0,3	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75
0,5	1,00	0,95	0,95	0,9	0,85
0,8	1,00	1,10	0,95	0,95	0,9
0,9	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95

Таблица А.6 – Удельные нагрузки $P_{уд}$

Производственные помещения	$P_{уд}$, кВт/м ²
Механические и сборочные цехи	0,25 - 0,3
Механические цехи	0,30 - 0,4
Термические и кузнечно-прессовые цехи	0,30 - 0,6
Арматурно-заготовительные площадки	0,30 - 0,6
Деревообрабатывающие и столярные цехи	0,10 - 0,2

Таблица А.7 – Удельная мощность P_0 , принимаемая для дополнительного отопления в расчетах мощности теплого пола

Первый этаж (при неотапливаемом подвале)	
Помещение	Удельная мощность P_0 , Вт/м ²
Кухня	140
Ванная	140
Туалет	140
Комната	140
Спальня	140
Гостиная	140
Коридор	140
Прихожая	140

Таблица А.8 – Номинальные и средние напряжения

Напряжение, кВ	Значения									
Номинальное	0,22	0,38	0,50	0,66	3,0	6,0	10,0	20,0	35,0	110,0
Среднее	0,23	0,40	0,525	0,69	3,15	6,30	10,5	20,0	37,0	115,0

Приложение Б

(справочное)

Средние удельные нормы расхода электроэнергии на отдельные виды производства строительных материалов и работ

Таблица Б.1 – Удельные нормы расхода электроэнергии

Производство строительных материалов и работ	Единица измерения	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч	
		зима	лето
Производство железобетонных изделий	м ³	20	16
Производство бетона и раствора	м ³	5	4
Производство красного кирпича	тыс. шт	60	54
Производство силикатного кирпича	тыс. шт	24	20
Производство арматуры	т	10	9
Производство металлоконструкций	т	124	112
Деревообработка	м ³	10,3	9,2
Изготовление столярных изделий	м ³	3,4	3
Землеройные работы одноковшовым экскаватором:	м ³		
- тяжелый грунт;		0,9 - 1,4	0,8 - 1,3
- средний грунт;		0,6 - 0,9	0,5 - 0,8
- легкий грунт.		0,4 - 0,55	0,3 - 0,5
Электропрогрев:	м ³		
- бетона;		90 - 120	—
- грунта.		40 - 60	
Электрическая сушка древесины токами высокой частоты	м ³	—	250 - 350

Приложение В

(справочное)

Характеристики алюминиевых и медных проводников

Таблица В.1 – Удельные сопротивления проводников

Материал проводника	Удельное сопротивление ρ , $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
Серебро	0,015
Медь	0,0175
Золото	0,023
Латунь	0,025... 0,108
Алюминий	0,028
Натрий	0,047
Бронза	0,095... 0,1
Железо	0,1
Сталь	0,103... 0,137
Олово	0,12
Свинец	0,22

Таблица В.2 – Удельные активные сопротивления R_0 проводов и кабелей, Ом/км

Сечение провода, мм ²	Медные провода и кабели	Алюминиевые провода и кабели
1,0	18,9	-
1,5	12,6	-
2,5	7,55	12,6
4,0	4,65	7,90
6,0	3,06	5,26
10	1,84	3,16
16	1,20	1,98
25	0,74	1,28
35	0,54	0,92
50	0,39	0,64
70	0,28	0,45
95	0,20	0,33
120	0,158	0,27
150	0,123	0,21

Таблица В.3 – Удельные индуктивные сопротивления X_0 ВЛ, Ом/км

Среднее геометрическое расстояние между проводами, мм	Сечение проводов, мм ²										
	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185
Медные провода											
400	0,371	0,355	0,333	0,319	0,308	0,297	0,283	0,274	-	-	-
600	0,397	0,381	0,358	0,345	0,336	0,325	0,309	0,300	0,292	0,287	0,280
800	0,415	0,399	0,377	0,363	0,352	0,341	0,327	0,318	0,310	0,305	0,298
1000	0,429	0,413	0,391	0,377	0,366	0,355	0,341	0,332	0,324	0,319	0,313
1250	0,443	0,427	0,405	0,391	0,380	0,369	0,355	0,346	0,338	0,333	0,327
1500	-	0,438	0,416	0,402	0,391	0,380	0,366	0,357	0,349	0,344	0,338
2000	-	0,457	0,435	0,421	0,410	0,398	0,385	0,376	0,368	0,363	0,357
2500	-	-	0,449	0,435	0,424	0,413	0,399	0,390	0,382	0,377	0,371
3000	-	-	0,460	0,446	0,435	0,423	0,410	0,401	0,393	0,388	0,382
Алюминиевые провода											
600	-	-	0,358	0,345	0,336	0,325	0,315	0,303	0,297	0,288	0,279
800	-	-	0,377	0,363	0,352	0,341	0,331	0,319	0,313	0,305	0,298
1000	-	-	0,391	0,377	0,366	0,355	0,345	0,334	0,327	0,319	0,311
1250	-	-	0,405	0,391	0,380	0,369	0,359	0,347	0,341	0,333	0,328
1500	-	-	-	0,402	0,391	0,380	0,370	0,358	0,352	0,344	0,339
2000	-	-	-	0,421	0,410	0,398	0,388	0,377	0,371	0,363	0,355

Таблица В.4 – Основные характеристики проводов марок СИП-1, СИП-1А

Число жил и сечение, мм ²	Электрическое сопротивление постоянному току, Ом/км		Максимальный наружный диаметр провода, мм
	фазных жил	несущего троса	
1x16+1x25	1,91	1,38	15
3x16+1x25	1,91	1,38	22
3x25+1x35	1,2	0,986	26
3x35+1x50	0,868	0,72	30
3x50+1x70	0,641	0,493	35
3x70+1x95	0,443	0,363	40
3x95+1x95	0,32	0,363	44
3x120+1x95	0,253	0,363	47
4x16+1x25	0,91	1,38	22

Таблица В.5 – Мощность, ток и сечение кабельно-проводниковых материалов

Сечение жил проводов S , мм ²	Напряжение $U_n = 220$ В		Напряжение $U_n = 380$ В	
	Ток I , А	Мощность P , кВт	Ток I , А	Мощность P , кВт
Медные жилы проводов и кабелей				
1,5	19	4,1	16	10,5
2,5	27	5,9	25	16,5
4,0	38	8,3	30	19,8
6,0	46	10,1	40	26,4
10,0	70	15,4	50	33,0
16,0	85	18,7	75	49,5
25,0	115	25,3	90	59,4
35,0	135	29,7	115	75,9
50,0	175	38,5	145	95,7
70,0	215	47,3	180	118,8
95,0	260	57,2	220	145,2
120,0	300	66,0	260	171,6
Алюминиевые жилы проводов и кабелей				
2,5	20	4,4	19	12,5
4,0	28	6,1	23	15,1
6,0	36	7,9	30	19,8
10,0	50	11,0	39	25,7
16,0	60	13,2	55	36,3
25,0	85	18,7	70	46,2
35,0	100	22,0	85	56,1
50,0	135	29,7	110	72,6
70,0	165	36,3	140	92,4
95,0	200	44,0	170	112,2
120,0	230	50,6	200	132,0

Приложение Г

(справочное)

Электрическое освещение

Таблица Г.1 – Показатели удельной мощности, затрачиваемой на освещение

Освещаемая площадь	Удельная мощность, Вт/м ²
Зоны производства: - механизированных земляных работ; - бетонных работ; - каменной кладки.	0,8
Зоны производства: - свайных работ; - маломеханизированных земляных и бетонных работ.	0,5
Проходы и проезды: - главные; - второстепенные.	5,0 2,5
Освещение технических помещений: - охранное; - складских помещений; - конторских и общественных помещений - мастерских.	1,5 3,0 15,0 18,0

Таблица Г.2 – Нормативный уровень освещенности на строительных объектах и при выполнении строительных работ

Участки строительных площадок и работ	Наименьшая освещенность по СНиП E_H , лк
1. Офисные помещения.	300
2. Производственные цеха.	200
3. производство оконных рам и дверей	100
4. Дорожные работы: - устройство дорожных покрытий; - укладка железнодорожных и подкрановых путей.	10 30
5. Производство строительного оборудования и материалов, технологические процессы	200
6. Погрузка, установка, подъем, разгрузка оборудования, строительных конструкций, деталей и материалов грузоподъемными кранами.	10
7. Лаборатории, сушильные и формовочные отделения	75
8. Сборка и монтаж строительных механизмов.	50
9. Дробильное, сушильное отделение	75

Таблица Г.3 – Зависимость коэффициента запаса K_3 от типа помещения

Тип помещения	Коэффициент запаса, относительные единицы
Очень чистые помещения, а также осветительные установки с малым временем использования	1,25
Чистые помещения с трехгодовичным циклом обслуживания	1,50
Наружное освещение, трехгодовичный цикл обслуживания	1,75
Внутреннее и наружное освещение при сильном загрязнении	2,00

Таблица Г.4 – Световой поток ламп накаливания

Тип	Мощность P , Вт	Световой поток Φ , Лм
Лампа накаливания 40 Вт	40	415 – 460
Лампа накаливания 60 Вт	60	790 – 830

Приложение Д

(справочное)

Расчет нагрузки от ЭП квартир

Таблица Д.1 – Удельная расчетная электрическая нагрузка при количестве квартир, кВт/квартиру

Потребители электроэнергии	1	5	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200
Квартиры с плитами на природном газе	4,50	4,50	2,80	2,30	2,00	1,80	1,65	1,40	1,20	1,05	0,88	0,77
Квартиры с плитами на сжиженном газе	6,00	6,00	3,40	2,90	2,50	2,20	2,00	1,80	1,40	1,30	1,08	1,00
Квартиры с электрическими плитами, мощностью 8,5 кВт	10,0	10,0	5,10	3,80	3,20	2,80	2,60	2,20	1,95	1,70	1,50	1,36
Летние домики на садовых участках	4,00	4,00	2,30	1,70	1,40	1,20	1,10	0,90	0,76	0,69	0,61	0,58

Таблица Д.2 – Мощности и токи, потребляемые бытовыми электроприборами

Бытовой ЭП	Потребленная мощность P , кВт	Потребляемый ток I , А
Лампочка накаливания	0,06 – 0,25	0,3 – 1,2
Электрочайник	1,0 – 2,0	5 – 9
Электроплита	1,0 – 6,0	5 – 60
Микроволновая печь	1,5 – 2,2	7 – 10
Электромясорубка	1,5 – 2,2	7 – 10
Тостер	0,5 – 1,15	2 – 7
Электродуховка	1,0 – 2,0	5 – 9
Посудомоечная машина	1,0 – 2,0	5 – 9
Стиральная машина	1,2 – 2,0	6 – 9
Утюг	1,2 – 2,0	6 – 9
Пылесос	0,8 – 2,0	6 – 9
Обогреватель	0,5 – 3,0	2 – 13
Кондиционер	1,0 – 3,0	5 – 13
Компьютер	0,3 – 0,8	1 – 3
Электроинструмент	0,5 – 2,5	2 – 13

При выборе сечения провода по величине тока не имеет значение, переменный это ток или постоянный, а также не имеют значения величина и частота изменения напряжения в сети.

Таблица Д.3 – Коэффициент одновременности K_0 для квартир повышенной комфортности

Потребители электроэнергии	1	5	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200
Квартиры с электроплитами	1,0	1,0	0,51	0,38	0,32	0,29	0,26	0,24	2,0	0,18	0,16	0,14

Таблица Д.4 – Коэффициент спроса K_c для квартир повышенной комфортности

Заявленная мощность, кВт	14	20	30	40	50	60	70
Коэффициент спроса K_c	0,80	0,65	0,60	0,55	0,50	0,48	0,45

Приложение Е

(справочное)

Компенсация реактивной мощности

Таблица Е.1 – Значение нормативного коэффициента мощности в зависимости от напряжения

Напряжение на шинах узла	0,4	6 - 20	35	110
$tg \varphi$	0,15	0,20	0,35	0,4

Таблица Е.2 – Характеристики конденсаторных установок

№ п/п	Тип установки	Номи- нальное напряже- ние, кВ	Мощ- ность , кВАр	Число сту- пеней	Габаритные размеры (ширина·глубина·высо- та)
1	УК2 - 0,38 - 50	0,38	50		375х430х650
2	УК - 0,38 - 75	0,38	75		700х560х1260
3	УК3 - 0,38 - 75	0,38	75		580х430х650
4	УК2 - 0,38 - 100	0,38	100		375х430х965
5	УКБ-0,38-150	0,38	150		580х460х1200
6	УКБ -0,38 -300	0,38	300		580х460х1990
7	УКН -0,38 -75	0,38	75	3	700х560х1260
8	УКТ - 0,38 -75	0,38	75	3	700х560х1260
9	УКБН-0,38 - 100 - 50	0,38	100	2	800х440х895
10	УКБН-0,38-200 -50	0,38	200	4	800х440х1685
11	УКЛ(П) Н-0,38-300-150	0,38	300	2	1920х530х1660
12	УКЛ(П) Н-0,38-432-108	0,38	432	4	3320х530х1660
13	УКЛ(П) Н-0,38 -216 -36	0,38	150	6	1920х560х1660
14	УКМ - 6,3 - 400	6,3	400		2140х860х2060
15	УК - 6,3 - 450	6,3	450		2140х880х1800
16	УК - 6,3 -900	6,3	900		3540х880х1800
17	УКМ - 10,5 - 400	10,5	400		2140х860х2060
18	УК - 10,5 - 450	10,5	450		2140х880х1800
19	УК - 10,5 -900	10,5	900		3540х880х1800
20	УК - 10,5 - 1125	10,5	1125		4240х880х1800

Приложение Ж

(справочное)

Расчет заземления

Таблица Ж.1 – Эквивалентное удельное сопротивление грунтов

Грунт	Удельное сопротивление $\rho_{\text{экв}}$, Ом·м	
	пределы колебаний	при влажности грунта 10...12%
Чернозем	50	20
Торф	20	20
Глина	60	40
Суглинок	100	100
Супесь	250	300
Песок	540	700

Таблица Ж.2 – Значения расчетных климатических коэффициентов сезонности сопротивления грунта

Заземлитель	Климатическая зона			
	I	II	III	IV
Стержневой	1,8...2,0	1,6...1,8	1,4...1,5	1,2...1,4
Полосовой	4,5...7,0	3,5...4,5	2,0...2,5	1,5...2,0

Таблица Ж.3 – Нормируемые сопротивления растеканию тока заземляющих устройств (для электроустановок напряжением до 1000 В)

Вид заземления	Напряжение сети, В		
	220/127	380/220	660/380
	Нормируемое сопротивление $R_{\text{н}}$, Ом		
Рабочее заземление нулевой точки трансформатора (генератора)	8	4	2
Повторное заземление нулевого провода на вводе в объект	20	10	5
Повторное заземление нулевого провода на воздушной линии	60	30	15

Таблица Ж.4 – Коэффициенты использования вертикальных заземлителей η_c и соединительной полосы η_n

Число заземлителей	Заземлители размещены в ряд		Заземлители размещены по замкнутому контуру	
	η_n	η_c	η_n	η_c
2	0,91	–	–	–
4	0,83	0,89	0,78	0,55
6	0,77	0,82	0,73	0,48
10	0,74	0,75	0,68	0,40
15	0,70	0,65	0,65	0,36
20	0,67	0,56	0,63	0,32
40	–	0,40	0,58	0,29

Значения коэффициентов даны с учетом того, что отношение длины заземлителей к расстоянию между ними равно двум.

Учебное пособие

**Наталья Геннадьевна Семенова
Альфия Талгатовна Раимова**

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ С ОСНОВАМИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

ISBN 978-5-7410-1876-7



9 785741 018767