Министерство образования и науки Луганской Народной Республики

ГОУ СПО ЛНР «Штэровский энергетический техникум»

Наименование образовательного учреждения, организации

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**по выполнению курсового проекта**

**учебной дисциплины** ПМ.01 Обслуживание электрооборудования электрических станций, сетей и систем.

**МДК.01.01** Техническое обслуживание электрооборудования электрических станций, сетей и систем.

Рассмотрено и одобрено Составлено преподавателем

 на заседании цикловой комиссии **\_\_\_Д**ихтярь М.С.

 электротехнических дисциплин «\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2020 г.

 Протокол № \_\_ от \_\_\_\_\_\_2020 г. \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

 Председатель ЦМК Лопашко О.О.

2020

**Курсовое проектирование**

**Задание на курсовое проектирование выдается во втором семестре 2 курса**

Курсовой проект предусматривает разработку электрической части одного из типов электростанций или подстанций.

Требования к объему и содержанию курсового проекта, приведенные в типовом бланке задания, разработанном электротехнической комиссией по специальности: 13.02.03 «Электрические системы и сети».

Курсовой проект является для студентов самостоятельной работой, где они должны обобщить полученный знания и применить их. При решении технических вопросов. Весь курсовой проект состоит из 8 разделов. Для успешного её выполнения большое значение имеет вводная лекция, на которой руководитель разъясняет значение проектирования, раскрывает сущность и объём задания, определяет требования к оформлению чертежей и рекомендует список литературы.

Цель настоящего пособия - помочь студентам определить последовательность работы над курсовым проектом и дать методические рекомендации по решению технических вопросов, вызывающих наибольшие трудности.

Для определения единых требований к объёму курсового проекта и содержанию курсового проекта задание студентам выдаётся на типовом бланке, разработано опорной методической комиссией. Студенты при выполнении курсового проекта должны руководствоваться Стандартом Штэровского энерготехникума. Выполненный студентами курсовой проект в дальнейшем будет использован, при выполнении дипломного проекта.

Работа выполняется с помощью компьютера и принтера, должна быть напечатана шрифтом Times New Roman, размер шрифта 14, интервал между строками – 1,15. Параметры абзаца: первая строка (красная) – отступление 1,25 см. Для основного текста: левая граница абзаца – 0, правая граница – 0. Абзацное отступление должно быть одинаковым во всем тексте работы. Основной текст контрольной работы выравнивается по ширине листа.

Все страницы нумеруются, кроме первой, титульной страницы.

Защищать курсовой проект студентами рекомендуется в присутствии всей группы, где выступая, они обосновывают принятые технические решения, что способствует приобретению навыков для защиты дипломного проекта.

**ПРИМЕРНЫЕ ТЕМЫ КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ**

**«ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ПОДСТАНЦИИ»**

| Вариант | U, кВ | Количество и вид отходных линий | Нагрузка одной линии | Коэффициент мощности  | Т max, час | Коэф. оноврем. |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **P** max | P min |
|  | **10** | **8** | **1,2** | **-** | **0,85** | **3200** | **1** |
| **35** | **2** | **1,32** | **-** | **0,9** | **4200** | **1** |
| **110** | **-** | **Pтранз.=78** | **-** | **cosφ транз.=0,87** | **-** | **1** |
|  | **10** | **10** | **1,4** | **-** | **0,87** | **3500** | **1** |
| **35** | **4** | **1,48** | **-** | **0,9** | **4150** | **1** |
| **110** | **-** | **Pтранз.=65** | **-** | **cosφ транз.=0,87** | **-** | **1** |
|  | **10** | **6** | **1,6** | **-** | **0,85** | **3400** | **1** |
| **35** | **4** | **1,4** | **-** | **0,9** | **4500** | **1** |
| **110** | **-** | **Pтранз.=76** | **-** | **cosφ транз.=0,87** | **-** | **1** |
|  | **10** | **12** | **2,6** | **-** | **0,89** | **3500** | **1** |
| **35** | **10** | **1,4** | **-** | **0,9** | **4300** | **1** |
| **110** | **-** | **Pтранз.=77** | **-** | **cosφ транз.=0,88** | **-** | **1** |
|  | **10** | **14** | **1,4** | **-** | **0,85** | **3200** | **1** |
| **35** | **10** | **1,48** | **-** | **0,9** | **4200** | **1** |
| **110** | **-** | **Pтранз.=72** | **-** | **cosφ транз.=0,87** | **-** | **1** |
|  | **10** | **10** | **2,8** | **-** | **0,85** | **3200** | **1** |
| **35** | **6** | **8,46** | **-** | **0,9** | **4200** | **1** |
| **110** | **-** | **Pтранз.=270** | **-** | **cosφ транз.=0,87** | **-** | **1** |
|  | **10** | **8** | **2,4** | **-** | **0,85** | **3500** | **1** |
| **35** | **6** | **8,42** | **-** | **0,9** | **4150** | **1** |
| **110** | **-** | **Pтранз.=270** | **-** | **cosφ транз.=0,87** | **-** | **1** |
|  | **10** | **12** | **2,6** | **-** | **0,85** | **3400** | **1** |
| **35** | **10** | **6,4** | **-** | **0,9** | **4500** | **1** |
| **110** | **-** | **Pтранз.=280** | **-** | **cosφ транз.=0,87** | **-** | **1** |
|  | **10** | **12** | **2,8** | **-** | **0,85** | **3500** | **1** |
| **35** | **8,42** | **1,48** | **-** | **0,9** | **4300** | **1** |
| **110** | **-** | **Pтранз.=260** | **-** | **cosφ транз.=0,87** | **-** | **1** |
|  | **10** | **14** | **3,2** | **-** | **0,85** | **3200** | **1** |
| **35** | **12** | **8,45** | **-** | **0,9** | **4200** | **1** |
| **110** | **-** | **Pтранз.=280** | **-** | **cosφ транз.=0,87** | **-** | **1** |
|  | **10** | **14** | **3,2** | **-** | **0,85** | **3200** | **1** |
| **35** | **12** | **6,45** | **-** | **0,9** | **4200** | **1** |
| **110** | **-** | **Pтранз.=240** | **-** | **cosφ транз.=0,87** | **-** | **1** |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **10** | **14** | **4,2** | **-** | **0,86** | **3500** | **1** |
| **35** | **12** | **8,45** | **-** | **0,9** | **4150** | **1** |
| **110** | **-** | **Pтранз.=230** | **-** | **cosφ транз.=0,88** | **-** | **1** |
|  | **10** | **8** | **2,6** | **-** | **0,85** | **3200** | **1** |
| **35** | **6** | **8,42** | **-** | **0,9** | **4200** | **1** |
| **110** | **-** | **Pтранз.=270** | **-** | **cosφ транз.=0,87** | **-** | **1** |
|  | **10** | **10** | **1,4** | **-** | **0,87** | **3500** | **1** |
| **35** | **6** | **1,48** | **-** | **0,9** | **4150** | **1** |
| **110** | **-** | **Pтранз.=78** | **-** | **cosφ транз.=0,87** | **-** | **1** |
|  | **10** | **6** | **1,2** | **-** | **0,88** | **3200** | **1** |
| **35** | **4** | **1,4** | **-** | **0,9** | **4350** | **1** |
| **110** | **-** | **Pтранз.=75** | **-** | **cosφ транз.=0,87** | **-** | **1** |

1 АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ПОДСТАНЦИИ.

#  ~

## ПРОЕКТИРУЕМАЯ

##  ПОДСТАНЦИЯ

 *l*лэп

 Sк.з.

## Рисунок 1.1- Схема проектируемой подстанции

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| НапряжениеКВ | Количество и вид отходных линий | Нагрузка одноврем линий | коэффициент мощности | Тмах,ч | Коэф.одновр. |
| Рмах МВт | РminМВт |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

* 1. Анализ электрических нагрузок рунн – 35кв

Согласно заданию от шин этого напряжения отходит 6 штук линий. Суммарная нагрузка на РУНН – 35 кВ определяется по формуле.



где *Плэп –* количество отходящих линий;

 *Рлэп –* активная мощность одной линии;

 *Кодн –* коэффициент одновременности включения линий.



### Полная мощность РУНН-10 кВ определяется по формуле:





1.2 Анализ электрических нагрузок РУСН –110 КВ

Расчет производится аналогично пункту 1.1.





### Полная мощность РУСН-110 кВ определяется по формуле:





1.3 Анализ электрических нагрузок РУВН –220 КВ

Так как РУВН-220 кВ получает питание от системы, то нагрузка подстанции на этом напряжении будет определяться по формуле:





Полная мощность РУВН –220 кВ определяется по формуле:





1.4 Определение количества питающих линий подстанцию

Определяем нагрузку одной линии по формуле:





Согласно (табл. 1.20) пропускная способность линии напряжения 330 В. Рпроп=300 МВт.





1. ВЫБОР ВАРИАНТОВ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ ПРОЕКТИРУЕМОЙ ПОДСТАНЦИИ

Согласно НТП, на подстанции проектируемого класса рекомендуется устанавливать не менее 2-х трансформаторов, а в целях управления схемы, целесообразно применение силы, для трансформаторов. На проектируемой подстанции величина напряжений равна 330/110/35 кВ Поэтому целесообразно применение автотрансформатора, учитывая эти условия; применяем два варианта структурных схем: первый вариант – с двумя автотрансформаторами, второй вариант – с тремя автотрансформаторами.

 РУВН-

•

•

•

•

•

•

 РРУСН-110

РРУНН = МВт

SРУНН = МВ•А

 РРУВН = РРУСН =

 SРУВН = SРУСН =

## Рисунок 2.1- Первый вариант проектируемой подстанции.

 РУВН-

•

•

•

•

•

•

•

 РРУВН =

 SРУВН =

 РРУСН =

 SРУСН =

РУНН –

 РРУНН =

 SРУНН =

Рисунок 2.1- Второй вариант проектируемой подстанции.

3 ВЫБОР СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ПОДСТАНЦИИ

3.1 Выбор трансформатора для первого варианта.

Автотрансформатор на подстанции выбирается такой номинальной мощностью, чтобы в случае выхода из работы одного из них оставшиеся могли бы перекрыть нагрузку подстанции с учетом аварийного перегруза 40 %. Требуема мощность трансформатора рассчитывается по формуле:



где SмахРУВН – максимальная нагрузка;

 nтр – количество трансформаторов на подстанции.

Мощность выбираемого трансформатора должна удовлетворять условия:



где Sном.тр – номинальная мощность трансформатора [табл 3.8]



выбираем трансформатор соответствующего типа [табл. 3.8]

##### АТДЦТН –

3.2. Выбор трансформатора для второго варианта



где SмахРУВН – максимальная нагрузка;

 nтр – количество трансформаторов на подстанции.

Мощность выбираемого трансформатора должна удовлетворять условия:



где Sном.тр – номинальная мощность трансформатора [табл. 3.8]



выбираем трансформатор соответствующего типа [табл. 3.8]

АТДЦТН –

Таблица 3.1- Технические данные трансформаторов

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип трансформатора | НапряжениекВт | ПотерикВт | НапряжениеК.З % | Iх.х% | ЦенаТыс.р |
| ВН | СН | НН | Рх.х | Рк..з | ВН-СН | ВН-НН | СН-НН |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. ТЕХНИКОЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ

ВАРИАНТОВ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ

* 1. Расчет капитальных затрат определяется по формуле:



где *n*тр – число трансформаторов установленных затрат;

 *ц*тр – цена одного трансформатора.

КI =

КII =

* 1. Определить максимальную мощность в обмотке рунн-35 по формуле:



где Sмах нн – максимальная мощность на низкой стороне





τмах нн =

4.2.1 Определяем максимальную мощность РУСН –110 КВ по формуле:

 (4.2.1)

где Sмах нн – максимальная мощность на средней стороне





τмах нн =

4.2.2 Определяем максимальную мощность РУВН-330КВ, определяем число часов максимальной нагрузки



τмах нн =

где РМАХ НН, ТМАХ НН, РМАХ СН, ТМАХ СН –максимальные активные

мощности на сторонах трансформатора



### Дальнейшие расчеты производим аналогично (4.2.1)





* 1. Определение потерь мощности трансформатора. потери электроэнергии в обмотках определяются по формуле:



где РК.З, РХХ –потери мощности холостого хода и К.З.

###  Т – число часов использования трансформатора, Т = 8700 ч

ΔРК.З.В = ΔРК.З.С = ΔРК.З.Н = 0,5 РК.З

ΔРК.З.1 =

ΔРК.З.2 =





Потери электрические по вариантам:







4.4 Определение издержек по вариантам. эксплуатационные издержки определяются по формуле:



где *β* – удельная стоимость одного киловатт часа потерянной в

трансформаторе энергии, *β=10,08*

*ρа, ρав* – нормы на амортизационные отчисления.

 *ρа=*

*ρав=*





4.5 Определение расчетной стоимости по вариантам









Более выгодным и экономичным является вариант с наименьшими затратами.

##### АТДЦТН –

###### 5 Выбор схем РУ подстанций

 5.1 Выбор схем РУ – 330

 Рассчитаем 2 питающих линий и 2 трансформатора. Всего 4 присоединений . При таком количестве присоединений согласно (4. Табл. 2.5) рекомендуются схемы с обходным и секционным выключателем. Это позволяет сохранить параллельную работу линий при ремонтах выключателей.

* 1. Выбор схем РУ – 110.

 По заданию имеется 4 ЛЭП и два питающих трансформатора. Всего 6 присоединений. Согласно рекомендаций (4. Табл. 2.5) принимаем схему: одна секционированная система шин.

* 1. Выбор схем РУ – 35.

 Согласно заданию имеется 6 ЛЭП и 2 трансформатора, а также согласно (2) на подстанции должно быть два присоединения тр – ров с. н.. Всего 10 ЛЭП, согласно рекомендации (4. Табл. 2.5) принимаем схему: одна рабочая секционированная система шин.

* 1. Выбор схем РУ с. н..

 Согласно рекомендации (2) напряжение РУ с.н. подстанции принимается 0,4 Кв с питанием от понижающих трансформаторов подключенных к РУНН в нашем случае 35/0,4 Кв.

Для двух тр – ров на подстанции выполняется одна секционированная система шин.

1. ПРАКТИЧЕСКИМ ПУТЕМ РАСЧИТАТЬ ТОКИ

6.1 Составление расчетной схемы. на этой схеме учитываетя только те элементы, которые влияют на величину токов короткого замыкания.

#  ~

 Л1  Л2 Sк.з. =

 К1 хо =

 *l* =

 *U*к.вс. =

 К2 *U*к.вн. =

 *U*к.сн. =

 К3

#### Рисунок 6.1 - Расчетная схема

6.2 Выбор базовых данных

*S*б = 

*U*б1 = 

*U*б2 = 

*U*б3 =

6.3 Составляем схему замещения







*U*к.в = 0,5 •  (*U*к.вс+ *U*к.вн- *U*к.сн)

 *U*к.в =



*U*к.н = 0,5 •  (*U*к.сн+ *U*к.вн- *U*к.вс)

 *U*к.н =



*U*к.с = 0,5 •  (*U*к.сн- *U*к.вн+ *U*к.вс)

 *U*к.с =

6.4 Определение токов к. з . в точке К1

К1

#### *Е*С = 1 *Е*С = 1

 



 *х*1 = *х*10 К1

*х*2 = *х*3 =

Рисунок 6.2 - Схема замещения тока К1

6.5 Определение токов к. з. в точке К1





Определяем ударный ток К.З.





Определяем составляющую тока К.З.







6.6 Сворачиваем схему замещения тока к.з в точке К2

•

К2

К1

 ЕС =

 х10=

 х11=

х4= х5=

К2





Рисунок 6.3 - Схема замещения тока К2

* 1. Определение тока к.з в точке К2

 Определяем значение периодической составляющей тока к.з для энергосистемы





Определяем ударный ток К.З.





Определяем составляющую тока К.З.



где τ - расчетное время вычисляется ток:

τ = tсв+ 0,01 с, tсв – собственное время выключателя.

0,01 – время действия релейной защиты τ =

Та – постоянная времени затухания периодической составляющей тока к.з.



Периодическая составляющая тока к.з. от энергосистемы, поступает в место к.з. от шин неизменного напряжения через эквивалентное результирующее сопротивление х11, поэтому она может быть равной 

6.8 Сворачиваем схему замещения в точке К3

•

К3





 х12=

Рисунок 6.4 - Схема замещения тока К3

* 1. Определение тока к.з в точке к2 .

Определяем значение периодической составляющей тока к.з для энергосистемы





Определяем ударный ток К.З.





Определяем составляющую тока К.З.







Периодическая составляющая тока к.з. от энергосистемы, поступает в место к.з. от шин неизменного напряжения через эквивалентное результирующее сопротивление х12, поэтому она может быть принята неизменно во времени.

Таблица 6.1 Сводная таблица расчетов токов К.З.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Токи К.З. | I*no*кA | *iy*кA | *iaτ*кA | *Inτ*кA |
| К1 |  |  |  |  |
| К2 |  |  |  |  |
| К3 |  |  |  |  |

7 ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ,

ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ

ПРИБОРОВ

7.1 Выбор расчётной схемы

# Расчётная схема для выбора аппаратуры и токоведущих частей представлена на рисунке 7.1.

110 кВ

##### TA3

##### TA1

##### TA2

##### T

I*п*о =

iу =

iаτ =

I*п*τ =

Iном =

Imax =

Iпо =

iу =

iаτ =

Iпτ =

Iном =

Imax =

I*п*о =

iу =

iаτ =

I*п*τ =

Iном =

Imax =

Q3

Q1

##### Q2

35 кВ

330 кВ

# Рисунок 7.1 – Расчётная схема

На расчётной схеме указаны необходимые для расчёта параметры, а именно: токи короткого замыкания, номинальные токи трансформаторов с трёх сторон, которые определяются по формуле:



где Sном – номинальная мощность трансформатора,

установленного на подстанции, МВА;

 Uном – номинальное напряжение обмотки трансформатора

(см. табл. 2.10 ).







Максимальный ток нагрузки с каждой стороны, необходимый для выбора аппаратуры определяется по формулам:

Imax 330 = 2 ∙ Iном 330 =

Imax 110 = 2 ∙ Iном 110 =

Imax 35 = 2 ∙ Iном 35 =

7.2 Выбор выключателей

Согласно НТП на ОРУ-110 кВ должны устанавливаться по возможности воздушные выключатели.

7.2.1 Выбор выключателей на ВН-330 кВ

1. по номинальному напряжению:

Uуст ≤ Uном;

 кВ = кВ.

1. по периодической составляющей тока КЗ:

I*п*τ ≤ Iотк.ном;

 кА ‹ кА.

1. по номинальному току:

Imax ≤ Iном;

А ‹ кА

1. по апериодической составляющей тока КЗ:

iа.τ ≤ iа.ном;

 кА ‹ кА.

1. по динамической стойкости:

I*п*о ≤ Iпред.сквозн;

 кА ‹ кА.

6) по динамической стойкости

iу ≤ iпред.сквозн;

 кА ‹ кА.

1. по термической стойкости:

Вк ≤ I­тер2 ∙ tтер;

 ‹ кА2∙с.

Вк = I*п*о2 ( tотк + Tа ) =

На ОРУ-330 кВ выбираем воздушный баковый выключатель типа:

 ВВБ – 330 –

Выбор выключателей на СН-110 кВ и НН-35 кВ производим аналогично пункту 7.2.1 и заносим в таблицу 7.1.

7.3 Выбор разъединителей

7.3.1 Выбор разъединителей на ВН-330 кВ.

1) по номинальному напряжению

Uуст ≤ Uном;

 кВ = кВ.

1. по номинальному току:

Imax ≤ Iном;

 А ‹ кА.

1. по динамической стойкости

iу ≤ iпред.сквозн;

 кА ‹ кА.

1. по термической стойкости:

Вк ≤ I­тер2 ∙ tтер;

 ‹ кА2∙с.

Вк = I*п*о2 ( tотк + Tа ) =

На ОРУ-330 кВ выбираем разъединитель типа:

 РНДЗ 1 – 330

Выбор разъединителей на СН-110 кВ и НН-35 кВ производим аналогично пункту 7.3.1 и заносим в таблицу 7.1.

7.4 Выбор гибких шин на РУВН – 330 кВ

Условно выбираем провод марки: АС – 120/19.

После выбора сечения провода производим проверку сечения по нагреву (по допустимому току):

Imax ≤ Iдоп,

По справочнику [ 3, табл. 7,35 ] принимаем Iдоп = 390 А и получаем, что

#####  А ≤ 390 А

На термическое действие токов КЗ, согласно ПУЭ, провода ОРУ напряжением 35 кВ и выше не проверяются.

На электродинамическое действие тока КЗ гибкие шины не проверяем, т.к. Iк(3) ‹ 20 кА.

7.4.1 Проверяем шины по условию короны.

Разряд в виде короны возникает при максимальном значении начальной критической напряженности электрического поля, кВ/см,



где m – коэффициент, учитывающий шероховатость поверхности

провода ( для многопроволочных проводов m = 0,82 );

 rо – радиус провода, см.



Напряженность электрического поля около поверхности нерасщеплённого провода определяется по выражению:



где U – линейное напряжение, кВ;

 Dср – среднее геометрическое расстояние между проводами

фаз, см.

 Dср = 1,26D,

где D – расстояние между соседними фазами, см. По [2, табл. 6,1]

 принимаем D = 280 см.



Провод не будет коронировать, если выполняется условие,

1,07Е ≤ 0,9Ео;

 кВ/см ‹ кВ/см.

7.5 Выбор гибких шин на РУСН – 110 кВ

Условно выбираем провод марки: АС – 400/22.

После выбора сечения провода производим проверку сечения по нагреву ( по допустимому току ):

Imax ≤ Iдоп,

По справочнику [ 3, табл. 7,35 ] принимаем Iдоп = 830 А и получаем, что

 А ‹ 830 А.

На термическое действие токов КЗ, согласно ПУЭ, провода ОРУ напряжением 35 кВ и выше не проверяются.

На электродинамическое действие тока КЗ гибкие шины не проверяем, т.к. Iк(3) ‹ 20 кА.

7.5.1 Проверяем шины по условию короны.

Разряд в виде короны возникает при максимальном значении начальной критической напряженности электрического поля, кВ/см,



где m – коэффициент, учитывающий шероховатость

 поверхности провода (для многопроволочных

 проводов m = 0,82 );

 rо – радиус провода, см.



Напряженность электрического поля около поверхности нерасщеплённого провода определяется по выражению:



где U – линейное напряжение, кВ;

Dср – среднее геометрическое расстояние между проводами фаз, см.

 Dср = 1,26D,

где D – расстояние между соседними фазами, см. По [ 2, табл. 6,1 ] принимаем D = 100 см.



Провод не будет коронировать, если выполняется условие,

1,07Е ≤ 0,9Ео;

 кВ/см ‹ кВ/см.

7.6 Выбор гибких шин на РУНН – 35 кВ

Условно выбираем провод марки: АС – 600/72.

После выбора сечения провода производим проверку сечения по нагреву (по допустимому току ):

Imax ≤ Iдоп,

По справочнику [ 3, табл. 7,35 ] принимаем Iдоп = 1050 А и получаем, что

 А ‹ 1050 А.

На термическое действие токов КЗ, согласно ПУЭ, провода ОРУ напряжением 35 кВ и выше не проверяются.

На электродинамическое действие тока КЗ гибкие шины не проверяем, т.к. Iк(3) ‹ 20 кА.

7.6.1 Проверяем шины по условию короны.

Разряд в виде короны возникает при максимальном значении начальной критической напряженности электрического поля, кВ/см,



Напряженность электрического поля около поверхности нерасщеплённого провода определяется по выражению:



где U – линейное напряжение, кВ;

Dср – среднее геометрическое расстояние между проводами фаз, см.

Dср = 1,26D,

где D – расстояние между соседними фазами, см. По [2, табл. 6,1] принимаем D = 250 см.



Провод не будет коронировать, если выполняется условие,

1,07Е ≤ 0,9Ео;

 ‹ кВ/см.

7.7 Выбор трансформаторов тока на РУВН – 330 кВ

Трансформаторы тока выбираем по:

1) напряжению установки:

Uуст ≤ Uном;

330 кВ = 330 кВ.

2) по номинальному току:

Imax ≤ Iном,

где Imax – ток максимального режима;

 Iном – номинальный ток первичной обмотки трансформатора тока

 А ‹ 1000 кА

Т.к. на ВН установлены выключатели типа МКП, то устанавливаем трансформаторы тока типа:

 ТФУМ – 330А .

3) По электродинамической стойкости

*і*уд ≤ *і*дин

 ≤

1. По термической стойкости:

Вк ≤ I­тер2 ∙ tтер,

где Вк – тепловой импульс по расчёту;

 Iтер – ток термической стойкости;

 tтер – время термической стойкости по каталогу.

 ‹ кА2 ∙ с.

1. вторичной нагрузке

z2 ≤ z2ном,

где z2 – вторичная нагрузка трансформатора тока;

z2ном – номинальная допустимая нагрузка трансформатора тока в выбранном классе точности, z2ном = 0,8 Ом.

## Т.к. индуктивное сопротивление токовых цепей невелико, то

z2 ≈ r2,

где r2 – активное сопротивление.

Вторичная нагрузка состоит из сопротивления приборов, соединительных проводов и переходного сопротивления контактов:

r2 = rприб + rпр + rк.

Сопротивление приборов определяется по выражению:



где Sприб – мощность потребляемая приборами;

 I2 – вторичный номинальный ток прибора, I2 = 5 А.

Сопротивление контактов принимаем равным 0,1 Ом, Количество и типы устанавливаемых приборов определяем по [2, табл. 4.11 ].

Таблица 7.2 – Приборы устанавливаемые на стороне ВН

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование приборов | Тип приборов | Нагрузка ВА |
| А | В | С |
| Амперметр | Э - 335 | – | 0,5 | – |
| Итого  | 1 | 0,5 |  – |

 А В С

А

*і* рас2

І в

І в

Рисунок 7.2 – Схема подключения приборов на стороне ВН

Сопротивление соединительных проводов зависит от их длины и сечения. Чтобы трансформатор тока работал в выбранном классе точности, необходимо выдержать условие.

rприб + rпр + rк ≤ z2ном,

откуда

rпр = z2ном – rприб – rк;

 rпр =

Зная rпр, можно определить сечение соединительных проводов:



где ρ - удельное сопротивление материала провода (для подстанций с высшим напряжением менее 220 кВ применяются алюминиевые кабеля и поэтому ρ = 0,0283 );

 lрасч – расчётная длина, зависящая от схемы соединения трансформаторов тока.

lрасч = l = 150 м.



Принимаем контрольный кабель АКРВГ с жилами сечением 16 мм2.

7.8 Выбор трансформаторов тока на РУВН – 110 кВ

Трансформаторы тока выбираем по:

1) напряжению установки:

Uуст ≤ Uном;

110 кВ = 110 кВ.

2) по номинальному току:

Imax ≤ Iном,

где Imax – ток максимального режима;

 Iном – номинальный ток первичной обмотки трансформатора тока

 А ‹ 750 кА

Т.к. на ВН установлены выключатели типа ВМП, то устанавливаем трансформаторы тока типа:

 ТФЗМ –

1. по термической стойкости:

Вк ≤ I­тер2 ∙ tтер,

 ≤

где Вк – тепловой импульс по расчёту;

 Iтер – ток термической стойкости;

 tтер – время термической стойкости по каталогу.

1. вторичной нагрузке

z2 ≤ z2ном,

где z2 – вторичная нагрузка трансформатора тока;

 z2ном – номинальная допустимая нагрузка трансформатора тока в

 выбранном классе точности, z2ном = 0,8 Ом.

## Т.к. индуктивное сопротивление токовых цепей невелико, то

z2 ≈ r2,

где r2 – активное сопротивление.

Вторичная нагрузка состоит из сопротивления приборов, соединительных проводов и переходного сопротивления контактов:

r2 = rприб + rпр + rк.

Сопротивление приборов определяется по выражению:



где Sприб – мощность потребляемая приборами;

 I2 – вторичный номинальный ток прибора, I2 = 5 А.

Сопротивление контактов принимаем равным 0,1 Ом, т.к. количество приборов превышает трёх.

Количество и типы устанавливаемых приборов определяем по [2, табл. 4.11 ].

Таблица 7.3 – Приборы устанавливаемые на стороне СН

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование приборов | Тип приборов | Нагрузка ВА |
| А | В | С |
| Амперметр | Э - 335 | – | 0,5 | – |
| Ваттметр  | Д–350  | 0,5  | - | 0,5 |
| Варметр  | Д–335  | 0,5  | - | 0,5  |
| Счетчик активной энергии | СА3–И680  | 2,5 | - | 2,5 |
| Счетчик реактивной энергии | СР4–И676  | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Итого | 6 | 3,5 | 6 |

А

W

var

Wh

varh

к трансформатору

 напряжения

Ia

Ic

Ib

 ΣIc=0

lрасч=l

A

B

C

Рисунок 7.3 – Схема подключения приборов на стороне СН



rпр =

Зная rпр, можно определить сечение соединительных проводов:



Согласно [ 1, § 3.4.4 ] по условию прочности для алюминиевых жил сечение не должно быть меньше 4 мм2, поэтому принимаем контрольный кабель АКРВГ с жилами сечением 4 мм2.

7.9 Выбор трансформаторов тока на РУНН – 35 кВ

Трансформаторы тока выбираем по:

1) напряжению установки:

35 кВ = 35 кВ.

2) по номинальному току:

 А ‹ 600 А

Устанавливаем трансформаторы тока типа:

 ТФЗМ –

3) по электродинамической стойкости

*і*уд ≤ *і*дин

4) по термической стойкости:

 ≤

5) вторичной нагрузке

z2 ≤ z2ном,

## Т.к. индуктивное сопротивление токовых цепей невелико, то

z2 ≈ r2,

Вторичная нагрузка состоит из сопротивления приборов, соединительных проводов и переходного сопротивления контактов:

r2 = rприб + rпр + rк.

Количество и типы устанавливаемых приборов определяем по [ 2, табл. 4.11 ].

Таблица 7.4 – Приборы устанавливаемые на стороне НН

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование приборов | Тип приборов | Нагрузка ВА |
| А | В | С |
| Амперметр | Э - 335 | – | 0,5 | – |
| Ваттметр  | Д–350  | 0,5  | - | 0,5 |
| Варметр  | Д–335  | 0,5  | - | 0,5  |
| Счетчик активной энергии | СА3–И680  | 2,5 | - | 2,5 |
| Счетчик реактивной энергии | СР4–И676  | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Итого | 6 | 3,5 | 6 |

А

W

var

Wh

varh

к трансформатору

 напряжения

Ia

Ic

Ib

 ΣIc=0

lрасч=l

A

B

C

Рисунок 7.4 – Схема подключения приборов на стороне НН

7.10 Выбор трансформаторов напряжения на РУВН – 330 кВ

Трансформаторы напряжения выбираются по:

1) напряжению установки

Uуст ≤ Uном;

330 кВ = 330 кВ.

Предварительно выбираем трансформатор напряжения типа:

ЗНОГ–

2) вторичной нагрузке

S2Σ ≤ Sном,

где Sном – номинальная мощность в выбранном классе точности;

 S2Σ - нагрузка всех измерительных приборов и реле, присоединённых к трансформатору напряжения, ВА.

Подсчёт вторичной нагрузки приведён в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения

 стороны ВН

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  Прибор |   Тип | Sобм ВА | ЧислоОбмот. | cosϕ | sinϕ | числопров |  Общ.мощ.  |
| Р, мВт  | Q, ВА |
| Вольтметр | Э-335 | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 4 | - |
| Регистрирующий вольтметр | И-393 | 10 | 1 | 1 | 0 | 1 | 4 | - |
| Фиксатор импульсного действия | ФИП | 3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 3 | - |
| Частотометр | Э-312 | 3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 3 | - |
| Итого |  |  |  |  |  |  | 14 | - |

Для упрощения расчётов нагрузку приборов можно не разделять по фазам, тогда



 < ВА.

Для соединения трансформатора напряжения с приборами принимаем контрольный кабель АКРВГ с сечением жил 4 мм2 по условию механической прочности.

7.11 Выбор Трансформаторов напряжения на РУСН – 110 кВ

Трансформаторы напряжения выбираются по:

1) напряжению установки

110 кВ = 110 кВ.

Предварительно выбираем трансформатор напряжения типа:

 НКФ –

2) вторичной нагрузке

S2Σ ≤ Sном,

где Sном – номинальная мощность в выбранном классе точности, при этом следует иметь в виду, что для однофазных трансформаторов, соединённых в звезду, следует взять суммарную мощность всех 3 фаз, а для соединённых по схеме открытого треугольника – удвоенную мощность 1 трансформатора.

Подсчёт вторичной нагрузки приведён в таблице 7.5.

Таблица 7.5 – Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения стороны СН

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  Прибор |   Тип | Sобм ВА | ЧислоОбмот. | cosϕ | sinϕ | числопров |  Общ.мощ.  |
| Р, мВт  | Q, ВА |
| Вольтметр | Э-335 | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 4 | - |
| Регистрирую-щий вольтметр | И-393 | 10 | 1 | 1 | 0 | 1 | 4 | - |
| Фиксатор импульсного действия | ФИП | 3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 3 | - |
| Частотометр | Э-312 | 3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 3 | - |
| Итого |  |  |  |  |  |  | 14 | - |

Для упрощения расчётов нагрузку приборов можно не разделять по фазам, тогда



 < ВА.

Для соединения трансформатора напряжения с приборами принимаем контрольный кабель АКРВГ с сечением жил 4 мм2 по условию механической прочности.

7.12 Выбор трансформаторов напряжения на

РУНН – 35 кВ

Трансформаторы напряжения выбираются по:

1) напряжению установки

35 кВ = 35 кВ.

Предварительно выбираем трансформатор напряжения типа:

 ЗНОМ

2) вторичной нагрузке

S2Σ ≤ Sном,

Подсчёт вторичной нагрузки приведён в таблице 7.6.

Таблица 7.6 – Вторичная нагрузка трансформаторов напряжения

 стороны СН

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  Прибор | Тип | SобмВА | ЧислоОбм. |  cosϕ |  sinϕ | ЧислоПриб. | Общ.ном.мощ |
| Р,Вт | Q,ВА |
| Вольтметр (система шин) | Э - 335 | 2 | 1 | 1 | 0 | 2 | 4 | - |
| Ваттметр  | Д – 350 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 4 | - |
| Счетчик акт. эн. | САЗ-И680 | 2 Вт | 2 | 0,38 | 0,925 | 1 | 4 | 9,47 |
| Счетчик реакт. эн. | СР4-И676 | 3 Вт | 2 | 0,38 | 0,925 | 1 | 6 | 14,61 |
| Счетчик акт. эн. | САЗ-И680 | 2 Вт | 2 | 0,38 | 0,925 | 1 | 8 | 19,48 |
| Счетчик реакт. эн. | СР4-И676 | 3 Вт | 2 | 0,38 | 0,925 | 2 | 12 | 29,22 |
| Итого | 38 | 73,05 |

Для упрощения расчётов нагрузку приборов можно не разделять по фазам, тогда



 < 150 ВА.

Для соединения трансформатора напряжения с приборами принимаем контрольный кабель АКРВГ с сечением жил 4 мм2 по условию механической прочности.

8. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНАГО

УСТРОЙСТВА

Компоновка и конструкция ОРУ разрабатываются для ранее при­нятых номинального напряжения, схемы электрических соединений, количества присоединяемых линий, трансформаторов и автотранс­форматоров, выбранных параметров и типов высоковольтной коммутационной и измерительной аппаратуры (выключатели, разъеди­нители, трансформаторы тока и напряжения) и ошиновки; при этом должны быть учтены местные условия размещения площадки, отве­денной для проектируемого ОРУ: рельеф, грунты, размеры площадки, направления выводимых линий (коридоры для вывода линий), примыкание железнодорожных путей и автомобильных дорог. Должны быть также учтены климатические условия. В соответствии с местными условиями и генпланом электростанции (или понижающей подстанции) ОРУ принимается с однорядным, двухрядным или четырехрядным расположением выключателей с расположением этих рядов параллельно или перпендикулярно рядам силовых трансформаторов или главного корпуса ЭС. Собственно ОРУ может быть выполнено широким, но коротким или узким, но длинным; ОРУ может быть выполнено с гибкой, жесткой и смешанной (и гибкой, и жесткой) ошиновкой, что отразится на конструкциях для установки (подвески) этой ошиновки и на размерах этих конструкций — пролетах порталов, высоте колонн, их количестве и массе, количестве опорных и подвесных изоляторов.

Каждое из решений имеет свои достоинства и недостатки; задача студента состоит в том, чтобы выбрать для данных местных условий наиболее целесообразное решение, обеспечивающее надежность, удобные условия для эксплуатации и экономичность по сравнению с другими вариантами. Приводимые меры [Л.5 § 2.1] компоновок и конструкций ОРУ разных напряжений для различных схем электричес­ких соединений помогут найти решение задачи для конкретных условий проектируемого ОРУ.

Размеры каждой ячейки ОРУ определяются типами коммутационного оборудования (выключателей, разъединителей, трансформаторов тока и напряжения) и их габаритами, а также принятыми согласно ПУЭ изоляционными промежутками (Аф-ф- Аф-3 -расстояния соответственно между фазами и от фаз до заземленных конструкций) и расстояниями, допустимыми по условиям безопасного для персонала прохода вблизи оборудования, находящегося под напряжением, или длительного пребывания вблизи последнего при проведении ремонтных работ.

Решающее значение для определения шага ячейки и высоты конструкций для установки оборудования и подвески ошиновки имеет разработка проекта ОРУ в увязке с механизмами, с помощью которых будет осуществляться первоначальный монтаж этого оборудования и проведение впоследствии периодических ремонтов оборудования при сохранении соседних цепей в работе под напряжением; при этом должен быть обеспечен проезд по ОРУ механизмов и приспособлений, а также увозимого я привозимого (взамен увезенного) оборудования и материалов, нужных для ремонта (для демонтажа и монтажа). Для определения размеров конструкций ОРУ существенны также решения следующих вопросов:

а) допустимость прохождения над ремонтируемыми выключателями гибкой ошиновки находящейся в работе (под напряжением) какой-либо линии или трансформатора;

б) высота стульев под оборудование. До последнего времени в типовых проектах эта высота определялась требованиями ПУЭ (минимальное расстояние от основания фарфора аппарата до земли 2,5 м). При напряжениях 330 кВ и выше существенным является напряженность электрического поля вблизи высоковольтных аппаратов на уровне 1,8 м от земли (т, е. там, где может находиться эксплу­атационный персонал)

в) тип ошиновки для сборных шин и перемычек между коммутационной аппаратурой, установленной на ОРУ,- гибкой или жесткой.

Жесткая ошиновка ОРУ позволяет применять более низкие порталы для подвески верхних ярусов гибкой ошиновки и устанавливать относительно невысокие опоры для сборных шин, что облегчает условия наблюдения за ними и увеличивает безопасность и удобство производства ремонтных работ. Применение жесткой ошиновки для ОРУ на понижающих подстанциях дает возможность лучше приспособить сооружения последних к окружающей местности. Применение жесткой ошиновки позволяет перенести на завод изготовление рада узлов ОРУ и тем самым ускорить его сооружение и уменьшить затраты труда и материалов на площадке.

При проектировании ОРУ высших напряжений следует разрабатывать несколько вариантов ошиновки; окончательный выбор варианта должен быть обоснован технико-экономически;

г) типы электрооборудования (разъединители — опорные, подвесные; выключатели — масляные, воздушные; измерительные трансформаторы тока и напряжения);

д) размещение подъездных дорог и монтажно-ремонтннх механизмов при монтаже и ремонтах выключателей;

е) способ канализации больших потоков кабелей (подземные туннели, наземные короба).

 Выбор конструкции распределительного устройства производится на основе типового проекта в соответствии с напряжением. В принятой компоновке выключатель ВВБ- 330–31,5/200У1 располагается на невысоких основаниях. По территории ОРУ предусматриваются проезды для возможности ремонта оборудования. Шины могут быть гибкими из многопроволочных проводов или из жестких труб.

 Гибкие шины крепятся с помощью подвесных изоляторов на железобетонных или металлических столбах. Под силовыми трансформаторами, масляными реакторами, предусматривается маслоприемник, указывается слой толщины гравия – не менее 28см и масло стекает в аварийных случаях в маслосборники. Кабели оперативных цепей, цепей управления, релейной защиты и воздушного провода прокладываются в ложе из железобетонных конструкций без закрепления их в металлических лампах, подвешенных на конструкции ОРУ.

 В ОРУ 330 кВ выключатели размещаются в один ряд около второй системы шин, что облегчает их обслуживание. Такие ОРУ называются, однорядники - в отличии от других компоновок, где выключатели линий располагаются в один ряд, а выключатели трансформатора в другой.

**Критерии оценивания курсового проекта:**

Основными критериями оценки качества курсовых проекта являются:

- актуальность и практическая значимость темы исследования;

- соблюдение графика выполнения курсового проекта;

- соответствие работы заявленной теме и выданному заданию;

- полнота и качество содержания;

- обобщения фактических данных;

- соответствие оформления курсового проекта установленным требованиям;

- четкость и грамотность изложения материала;

- качество презентации;

- четкость доклада при защите курсового проекта;

- глубина и правильность ответов на замечания руководителя и вопросы членов комиссии.

Каждый критерий оценивается по пятибалльной шкале.

 Оценка «Отлично» выставляется за курсовой проект, который носит исследовательский характер, имеет грамотно изложенную теоретическую главу, глубокий анализ, логичное, последовательное изложение материала с соответствующими выводами и обоснованными предложениями, имеющими практическую значимость. Произведенные расчеты выполнены правильно и в полном объеме. Работа выполнена в установленный срок, грамотным языком. Оформление соответствует действующим стандартам, сопровождается достаточным объемом табличного материала и графического материала (для курсового проекта), имеет положительный отзыв руководителя.

 При защите курсового проекта (работы) студент показывает глубокое знание вопросов темы, свободно оперирует данными исследования, вносит обоснованные предложения, а во время доклада использует наглядные пособия (таблицы, схемы, графики и т.п.), дает четкие и аргументированные ответы на вопросы, заданные членами комиссии.

 Оценка «Хорошо» выставляется за курсовой проект, который носит исследовательский характер, имеет грамотно изложенную теоретическую главу, проведен достаточно подробный анализ, последовательное изложение материала с соответствующими выводами, однако анализ источников неполный, выводы недостаточно аргументированы, в структуре и содержании работы есть отдельные погрешности, не имеющие принципиального характера. Работа имеет положительный отзыв руководителя.

 При защите курсового проекта студент показывает знание вопросов темы, оперирует данными исследования, вносит предложения по теме исследования, во время доклада использует наглядные пособия (таблицы, схемы, графики и т.п.) или раздаточный материал, без особых затруднений отвечает на поставленные вопросы.

 Оценка «Удовлетворительно» выставляется за курсовой проект, который носит исследовательский или описательный характер, имеет теоретическую главу, базируется на практическом материале, однако просматривается непоследовательность изложения материала, анализ источников подменен библиографическим обзором, документальная основа работы представлена недостаточно. Проведенное исследование содержит поверхностный анализ, выводы неконкретны, рекомендации слабо аргументированы, в оформлении работы имеются погрешности, сроки выполнения работы нарушены. В отзыве руководителя имеются замечания по содержанию работы.

 При защите курсового проекта студент проявляет неуверенность, показывает слабое знание вопросов темы, не всегда дает исчерпывающие аргументированные ответы на заданные вопросы.

 Оценка «Неудовлетворительно» выставляется за курсовой проект, который не соответствует заявленной теме, не имеет анализа, не отвечает требованиям, изложенным в методических указаниях. Выводы не соответствуют изложенному материалу или отсутствуют. В отзыве руководителя имеются критические замечания.

 При защите курсового проекта студент затрудняется отвечать на поставленные вопросы по теме, не знает теории вопроса, при ответе допускает существенные ошибки. При защите не используются наглядные пособия (таблицы, схемы, графики и т.п.).

Процедура защиты курсового проекта включает в себя:

* выступление студента по теме и результатам работы (5-8 мин),
* ответы на вопросы преподавателя    междисциплинарного курса профессионального модуля.

При подготовке к защите необходимо:

* внимательно прочитать содержание отзыва руководителя работы,
* внести необходимые поправки, сделать необходимые дополнения и/или изменения;
* обоснованно и доказательно раскрыть   сущность темы  курсового проекта;
* обстоятельно ответить на вопросы преподавателя.

Окончательная оценка за курсовой проект выставляется после защиты.

Проект оценивается дифференцированно с учетом качества его выполнения, содержательности выступления и ответов на вопросы во время защиты.

К защите курсового проекта предъявляются следующие требования:

1. Глубокая теоретическая проработка исследуемых проблем на основе анализа технической литературы.
2. Умелая систематизация цифровых данных в виде таблиц и графиков с необходимым анализом, обобщением и выявлением тенденций развития исследуемых явлений и процессов.
3. Критический подход к изучаемым фактическим материалам с целью поиска направлений совершенствования деятельности.
4. Аргументированность выводов, обоснованность предложений и рекомендаций.
5. Логически последовательное и самостоятельное изложение материала.
6. Оформление материала в соответствии с установленными требованиями.
7. Обязательное наличие отзыва руководителя на курсовой проект.

Для выступления на защите необходимо заранее подготовить и согласовать с руководителем тезисы доклада и иллюстративный материал.

При составлении тезисов необходимо учитывать ориентировочное время доклада на защите, которое составляет 8-10 минут. Доклад целесообразно строить не путем изложения содержания работы по главам, а *по задачам*, то есть, раскрывая логику получения значимых результатов. В докладе обязательно должно присутствовать обращение к иллюстративному материалу, который будет использоваться в ходе защиты проекта.

 Результаты защиты курсового проекта оформляются протоколами заседания комиссии.

6 ЛИТЕРАТУРА

1. Неклепаев Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. Учебное пособие для вузов / Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.

2. Рожкова Л. Д. Электрооборудование станций и подстанций. Учебник для техникумов / Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

3. Правила устройства электроустановок / Минэнерго. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 648 с.

4. Ершова Н. А. Методические рекомендации по выбору оптимального варианта и расчёту среднегодовых технико-экономических показателей работы электрических сетей в курсовых работах и экономической части дипломных проектов для учащихся / Н.А. Ершова – М., 1988.

 5. Сборник нормативных документов по безопасности жизнедеятельности / под ред. М.В. Васильчук, М.К. Медведь, Л.С. Сачков; К.: Феникс, 2000. – 896 с.

6. Электротехнический справочник. Т1 / Под общ. ред. П.Г. Грудинского и др. – М., Энергия, 1974. – 776 с.