

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич  
Должность: ректор  
Дата подписания: 08.10.2022 20:38:45  
Уникальный программный ключ:  
9ba7d3e34c012eba476ffd2d064cf2781953be739df2374d16f3c0ce536f0fc6

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе  
О.Г. Локтионова  
« 30 » 08 2022 г.

## ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Методические указания к лабораторным работам  
для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и  
электротехника

Курск 2022

УДК 621.31

Составители: В.И. Бирюлин, О.В. Валишвили, И.В. Ворначева, Д.В. Куделина

Рецензент:  
Кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Электроснабжение» *А.С. Романченко*

**Производство электроэнергии:** методические указания к лабораторным работам для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: В.И. Бирюлин, О.В. Валишвили, И.В. Ворначева, Д.В. Куделина. – Курск, 2022. – 33 с.: – Библиогр.: с.33.

Содержат сведения по основам производства электроэнергии, определению оптимального распределения активной мощности между электростанциями. Рассматриваются способы проведения оперативных переключений в распределительных устройствах и системах собственных нужд.

Предназначены для направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.  
Усл.печ.л. 1,91. Уч.–изд.л. 1,73. Тираж 100 экз. Заказ *2021* Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г.Курск, ул.50 лет Октября, 94

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### РУЧНОЕ ПОДКЛЮЧЕНИЕ К СЕТИ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА МЕТОДОМ САМОСИНХРОНИЗАЦИИ

*Цель работы:* ознакомление с основами ручного подключения генератора в синхронный режим работы с сетью методом самосинхронизации

#### Краткие методические указания

Обмотка возбуждения машины постоянного тока, используемой как двигатель М1 с независимым возбуждением, присоединена к нерегулируемому выходу «ВОЗБУЖДЕНИЕ» источника G2, к нерегулируемому выходу «ЯКОРЬ» которого присоединена якорная цепь машины. Вход питания источника G2 присоединен с помощью с помощью электрического шнура к одной из двух розеток «220 В ~» трехфазного источника G1 (рисунок 1).

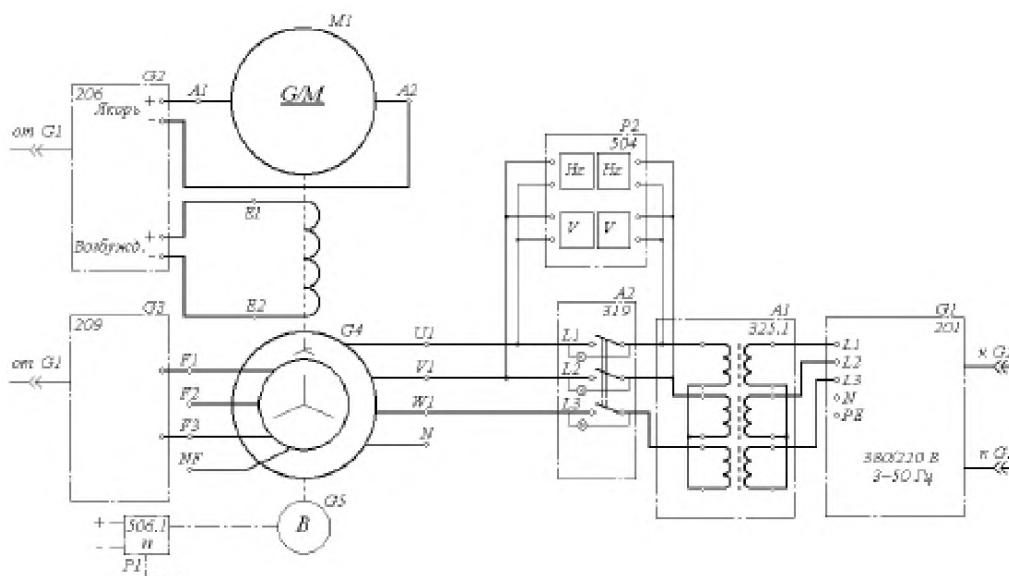


Рисунок 1 – Электрическая схема соединений

Обмотка ротора машины переменного тока, используемой как генератор G4, через гнезда F1, F2 присоединена к выходу возбудителя G3, вход питания которого присоединен с помощью электрического шнура к одной из двух розеток «220 В ~» трехфазного источника G1.

Фазы статорной обмотки генератора G4 через блок

синхронизации А2 и блок однофазных трансформаторов А1, включенных по схеме  $\Upsilon/\Upsilon$  с напряжениями 230/400 В, присоединены к выходу трехфазного источника G1.

Частоту вращения генератора G4 можно контролировать с помощью указателя P1, соединенного с выходом преобразователя угловых перемещений G5. Величину и частоту напряжения генератора G4 и сети можно контролировать с помощью измерителя напряжений и частот P2.

### **Порядок выполнения работы**

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.

2. Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока.

3. Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.

4. Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.

5. Переключатели режима работы источника G2, возбудителя G3 блока синхронизации А2 и выключателя А3 переведите в положение «РУЧН».

6. Регулировочные рукоятки источника G2 и возбудителя G3 поверните против часовой стрелки до упора.

7. Установите сопротивление фаз реостата А4 равным 8 Ом.

8. Установите переключателями в блоке А1 номинальные напряжения трансформаторов: первичные – 127 В, вторичные – 230 В.

9. Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.

10. Включите выключатель «СЕТЬ» и нажмите кнопку «ВКЛ» источника G2.

11. Вращая регулировочную рукоятку источника G2, установите частоту вращения двигателя М1 (генератора G4) 1500 мин-1.

12. Включите выключатель «СЕТЬ» и нажмите кнопку «ВКЛ» возбудителя G3.

13. Включите выключатель А3 путем включения его выключателя «СЕТЬ» и нажатием кнопки «ВКЛ».

14. Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3 по часовой стрелке, убедитесь, что свечение индикаторных ламп блока синхронизации A2 изменяется синфазно. В противном случае при эффекте «бегущего огня» переключите любые две фазы генератора G4.

15. Верните регулировочную рукоятку возбудителя G3 в крайнее левое положение.

16. Подключите генератор G4 к сети путем включения выключателя «СЕТЬ» и нажатия кнопки «ВКЛ» блока синхронизации A2.

17. Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3 по часовой стрелке, установите ток возбуждения, достаточный для перехода генератора G4 из асинхронного в синхронный режим. Об этом должно свидетельствовать постоянство этого тока возбуждения.

18. Отключите выключатель A3 нажатием на кнопку «ОТКЛ».

19. По завершении эксперимента нажмите кнопку «ОТКЛ» блока синхронизации A2, поверните регулировочные рукоятки сначала у возбудителя G3, а затем у источника G2 против часовой стрелки до упора, отключите выключатель «СЕТЬ» возбудителя G3, источника G2, блока синхронизации A2 и выключателя A3, отключите источник G1 нажатием на кнопку-гриб и последующим отключением ключа-выключателя.

### **Контрольные вопросы**

1. Когда применяется ручное подключение к сети методом самосинхронизации?

2. Что является приоритетом при осуществлении операции самосинхронизации?

3. Отличия самосинхронизации от точной синхронизации.

4. Достоинства и недостатки самосинхронизации.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### ДИСТАНЦИОННОЕ / АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОДКЛЮЧЕНИЕ К СЕТИ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С ПОМОЩЬЮ ВИРТУАЛЬНОГО ПУЛЬТА УПРАВЛЕНИЯ

*Цель работы:* ознакомление с основами дистанционного подключения генератора в синхронный режим работы с сетью

#### Краткие методические указания

Обмотка возбуждения машины постоянного тока, используемой как двигатель М1 с независимым возбуждением, присоединена к нерегулируемому выходу «ВОЗБУЖДЕНИЕ» источника G2, к нерегулируемому выходу «ЯКОРЬ» которого присоединена якорная цепь машины. Вход питания источника G2 присоединен с помощью с помощью электрического шнура к одной из двух розеток «220 В ~» трехфазного источника G1 (рисунок 1).

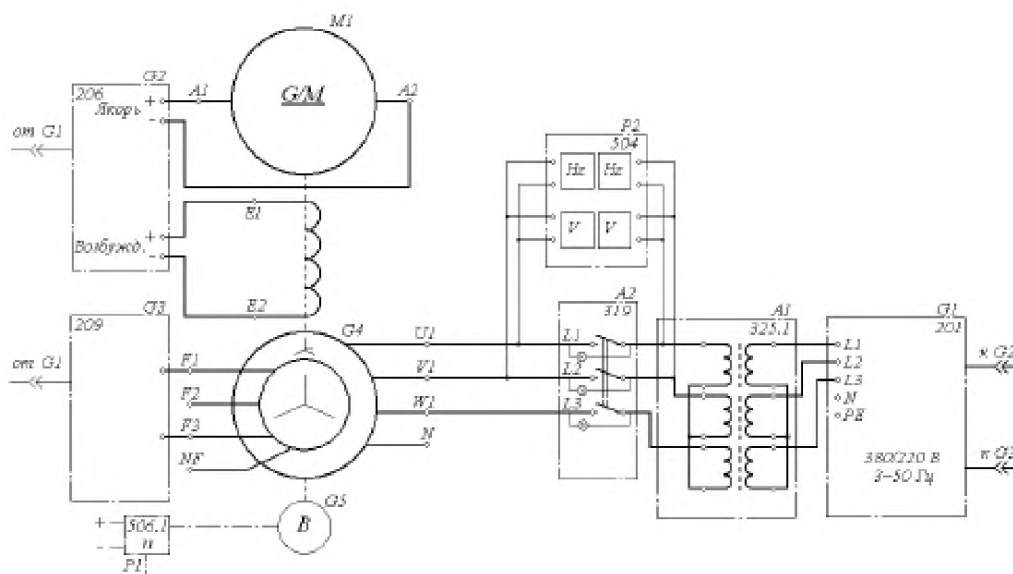


Рисунок 1 – Электрическая схема соединений

Обмотка ротора машины переменного тока, используемой как генератор G4, через гнезда F1, F2 присоединена к выходу возбудителя G3, вход питания которого присоединен с помощью электрического шнура к одной из двух розеток «220 В ~» трехфазного источника G1.

Фазы статорной обмотки генератора G4 через блок синхронизации A2 и блок однофазных трансформаторов A1, включенных по схеме  $Y/Y$  с напряжениями 230/400 В, присоединены к выходу трехфазного источника G1.

Частоту вращения генератора G4 можно контролировать с помощью указателя P1, соединенного с выходом преобразователя угловых перемещений G5. Величину и частоту напряжения генератора G4 и сети можно контролировать с помощью измерителя напряжений и частот P2.

### **Порядок выполнения работы**

1. Убедитесь, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети.
2. Соберите электрическую схему соединений тепловой защиты машины переменного тока.
3. Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника G1.
4. Соедините аппаратуру в соответствии с электрической схемой соединений.
5. Переключатели режима работы источника G2, возбудителя G3 и блока синхронизации A2 переведите в положение «РУЧН».
6. Регулировочные рукоятки источника G2 и возбудителя G3 поверните против часовой стрелки до упора.
7. Установите переключателями в блоке A1 номинальные напряжения трансформаторов: первичные – 127 В, вторичные 230 В.
8. Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
9. Включите выключатель «СЕТЬ» и нажмите кнопку «ВКЛ» источника G2.
10. Вращая регулировочную рукоятку источника G2, установите частоту вращения двигателя M1 (генератора G4) 1500 мин-1.
11. Включите выключатель «СЕТЬ» и нажмите кнопку «ВКЛ» возбудителя G3.
12. Вращая регулировочную рукоятку возбудителя G3, установите напряжение между фазами (линейное) генератора G4 равным напряжению между одноименными фазами сети.

13. Включите выключатель «СЕТЬ» блока синхронизации А2.
14. Обеспечьте условия синхронизации согласно табл. 2, после чего нажмите на кнопку «ВКЛ» блока синхронизации А2, подключите генератор G4 к сети.
15. Убедитесь, что генератор G4 вошел в режим синхронной работы с сетью, о чем должно свидетельствовать постоянство напряжения между фазами генератора G4.
16. По завершении эксперимента нажмите кнопку «ОТКЛ» блока синхронизации А2, поверните регулировочные рукоятки сначала у возбuditеля G3, а затем у источника G2 против часовой стрелки до упора, отключите выключатель «СЕТЬ» возбuditеля G3, источника G2 и блока синхронизации А2, отключите источник G1 нажатием на кнопку-гриб и последующим отключением ключа-выключателя.

### **Контрольные вопросы**

1. Когда применяется ручное подключение к сети методом точной синхронизации?
2. Что является приоритетом при осуществлении операции точной синхронизации?
3. Отличия самосинхронизации от точной синхронизации.
4. Достоинства и недостатки точной синхронизации.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ МЕЖДУ ТЕПЛОВЫМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ МЕТОДОМ НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ МНОЖИТЕЛЕЙ ЛАГРАНЖА

*Цель работы:* ознакомление с порядком расчета оптимального значения активной мощности между электростанциями методом неопределенных множителей Лагранжа.

#### Краткие методические указания

Оптимальное управление нормальными режимами работы электростанций в системах электроснабжения заключается в том, чтобы за рассматриваемый период времени обеспечить надежное электроснабжение потребителя электрической энергией требуемого качества (т. е. при соблюдении требуемых ограничений) при минимальных возможных эксплуатационных затратах за рассматриваемый отрезок времени.

Оптимизация режимов соответствует требованиям достижения наибольшего хозяйственного эффекта (т. е. минимума эксплуатационных затрат) и проводится по критерию минимума расхода условного топлива при учете ограничений по использованию отдельных видов топлива.

При разработке математического обеспечения предусматривается возможность использования двух критериев оптимальности режимов: минимума расхода условного топлива и минимума затрат на топливо.

Оптимизация режимов в соответствии со структурой и принципами оперативно-диспетчерского управления энергосистемами осуществляется на различных временных и территориальных уровнях. При оптимизации текущего режима предполагается, что параметры этого режима в течение рассматриваемого отрезка времени, например часа, постоянны.

Оптимизация режима энергосистем по активной мощности тепловых электростанций, или распределение активных мощностей между тепловыми станциями, позволяет найти активные мощности станций, соответствующие минимуму суммарного расхода

условного топлива (стоимости) на тепловых электрических станциях с приближенным учетом потерь в сети при заданных нагрузках потребителей. Если не учитывать ограничения-неравенства на активные мощности станций и линий, то в математической постановке — это задача на условный экстремум, решаемая методом Лагранжа.

Оптимальный режим соответствует минимуму эксплуатационных затрат на производство электроэнергии в текущий момент времени. Переменная часть эксплуатационных затрат (издержек на производство электроэнергии)—это суммарный расход условного топлива на станциях энергосистемы или суммарные затраты на топливо.

Оптимальный режим соответствует не только минимальному суммарному, но и минимальному удельному расходу топлива на полезно отпущенный 1 кВт-ч.

Каждая  $k$ -я станция в энергосистеме характеризуется расходом топлива в единицу времени, зависящим от значения генерируемой активной мощности  $B_k(P_k)$ . Эта зависимость называется обычно расходной характеристикой тепловой электростанции.

Будем считать, что расход топлива и затраты на топливо  $k$ -й станции явно зависят только от активной генерируемой мощности этой станции, а от остальных параметров — лишь постольку, поскольку они влияют на активную генерируемую мощность станции. Оптимальным будем считать режим, обеспечивающий минимум суммарных издержек  $I$  на топливо в энергосистеме:

$$I = \sum_{k=1}^m I_k(P_{zk}) = \sum_{k=1}^m C_k B_k(P_{zk}), \quad (1)$$

где  $C_k$  - цена условного топлива в  $k$ -й станции

$B_k$  - часовой расход условного топлива;

$B_k(P_k)$  - расходная характеристика  $k$ -й станции.

Задача заключается в нахождении мощностей энергообъектов (электростанций или генераторных групп)  $P_{rk}$ , реализующих минимум функции (1) при условии, что все переменные  $P_{rk}$  должны удовлетворять уравнению баланса  $P$ .

В простейшей форме в качестве уравнений режима баланс активной мощности в системе учитывается в следующем виде:

$$\sum_{k=1}^m P_{zk} - \sum_{k=1}^n P_{nk} - \Delta P_{\Sigma} = 0, \quad (2)$$

где  $P_{гk}$  - генерируемая мощность  $k$ -й станции;

$P_{нk}$  - потребляемая мощность  $k$ -й нагрузки;

$\Delta P_{\Sigma}$  - суммарные потери активной мощности в системе электроснабжения.

Функция Лагранжа для (1) с учетом (2) имеет следующий вид:

$$F = \sum_{k=1}^m I_k(P_{гk}) + \lambda \left( \sum_{k=1}^m P_{гk} - \sum_{k=1}^n P_{нk} - \Delta P_{\Sigma} \right), \quad (3)$$

где  $\lambda$  - множитель Лагранжа.

Условие оптимальности состоит в равенстве нулю частных производных функции Лагранжа по  $P_{гk}$  и  $\lambda$ .

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с заданной преподавателем схемой системы электроснабжения.

2. Подготовить исходные данные для расчета.

3. Составить функцию Лагранжа.

4. Найти оптимальное решение.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие существуют виды задач оптимизации режимов электроэнергетических систем?

2. Какой режим называется оптимальным?

3. Как решается задача оптимизации распределения  $P$  между электростанциями без учета ограничений-неравенств?

4. Как определяется условие оптимальности?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ МЕЖДУ ТЕПЛОВЫМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ ГРАДИЕНТНЫМ МЕТОДОМ

*Цель работы:* ознакомление с порядком расчета оптимального значения активной мощности между электростанциями градиентным методом.

#### Краткие методические указания

Если обозначить совокупность параметров режима работы нескольких тепловых электростанций вектором  $Z=[Z_1, Z_2 \dots Z_n]$ , а совокупность  $N$  уравнений установившегося режима, связывающих эти параметры вектор-функцией порядка  $2N$ ,

$$W(Z) = 0. \quad (1)$$

В самом общем случае в качестве уравнений (1) могут выступать уравнения узловых потенциалов в виде баланса активных и реактивных мощностей или токов. В работе будем учитывать уравнения установившегося режима в форме баланса только активных мощностей с учетом или без учета потерь мощности в элементах электрической сети.

Задача оптимального распределения активных мощностей при учете ограничений-неравенств сводится к нахождению

$$\min F(Z), \quad (2)$$

Расчет распределения активной мощности между тепловыми электростанциями градиентным методом основан на разделении параметров режима на зависимые и независимые. Представим в выражении (1) вектор параметров режима  $Z$  как совокупность векторов  $X$  (вектор зависимых параметров режима) и  $Y$  (вектор независимых параметров режима).

Число зависимых параметров или порядок вектора  $X$  выбирается равным числу уравнений установившегося режима или порядку вектор-функции  $W$ .

Задачу оптимального распределения активных мощностей можно представить как минимизацию неявной функции

$$F(X(Y), Y) = F(Y), \quad (3)$$

где  $X(Y)$  - неявная функция, определяемая уравнением установившегося режима

$$W(X, Y) = 0. \quad (4)$$

На основе (4) вычисляется градиент:

$$\frac{\partial F}{\partial Y} = \frac{\partial F}{\partial Y_0} + \frac{\partial F}{\partial X} \frac{\partial X}{\partial Y}, \quad (5)$$

где матрица  $\frac{\partial X}{\partial Y}$  определяется как матрица частных производных неявной функции.

Алгоритм применения градиентного метода состоит в следующем:

1. Вычисляем минимизируемую функцию при заданном исходном приближении вектора  $X^{(0)}$ .

2. Проверяем, достаточно ли мала  $\Psi$ , т.е. выполняется ли условие

$$\Psi < \varepsilon. \quad (6)$$

Если условие выполняется, то  $X$  и есть решение с точностью  $\varepsilon$ , если не выполняется, переходим к следующему пункту.

3. Вычисляем в точке исходного приближения  $X^{(0)}$  градиент по выражению (5). Выбираем шаг по направлению антиградиента. Определяем новые значения неизвестных и проверяем выполнение условия (6).

## **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с заданной преподавателем схемой системы электроснабжения.
2. Подготовить исходные данные для расчета.
3. Разработать расчетную модель.
4. Найти оптимальное решение.

## **Контрольные вопросы**

1. Как задается начальное приближение?
2. Какой режим называется оптимальным?
3. Как решается задача оптимизации распределения активной нагрузки между электростанциями с учетом потерь мощности в сети?
4. Как определяется условие оптимальности с учетом потерь мощности в сети?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

### РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ ПО АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ РЕЖИМОВ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЙ НА ПАРАМЕТРЫ

*Цель работы:* ознакомление с порядком расчета оптимального значения активной мощности между электростанциями методом относительных приростов с учетом ограничений на параметры.

#### Краткие методические указания

Для распределения электрической нагрузки электростанции между параллельно работающими тепловыми электростанциями используется «метод относительных приростов», который заключается в первоочередной загрузке наиболее экономичных агрегатов, что определяется минимальной величиной относительных приростов их расходных характеристик.

Иными словами, распределение нагрузки ведется в последовательности возрастания величин относительных приростов расходных характеристик параллельно работающих агрегатов.

Влияние холостых расходов агрегатов при этом не учитывается, так как эти величины при их параллельной работе остаются постоянными при любом варианте распределения нагрузки между ними и, следовательно, не влияют на экономичность вариантов.

Условие оптимальности режима, обеспечивающего минимум суммарных издержек  $I$  на топливо в энергосистеме:

$$I = \sum_{k=1}^m I_k(P_{zk}) = \sum_{k=1}^m C_k B_k(P_{zk}), \quad (1)$$

где  $C_k$  - цена условного топлива в  $k$ -й станции

$B_k$  - часовой расход условного топлива;

$B_k(P_{zk})$  - расходная характеристика  $k$ -й станции.

Частная производная  $dI/dP_k$  называется относительным приростом стоимости топлива и обозначается  $e_k$ .

Алгоритм расчета распределения активной нагрузки с использованием относительных приростов.

1. Задается исходное приближение вектора активных генерируемых мощностей всех узлов, кроме балансирующего.

2. Рассчитываем установившийся режим и определяем мощность балансирующего узла  $P_H$ .

3. Определяем по характеристикам относительных приростов стоимости топлива всех станций, включая балансирующую, значения относительных приростов  $e_k$ , которые соответствуют значениям мощностей  $P_{zk}$ .

4. Определяем относительные приросты потерь.

5. Проверяем, для всех ли станций соблюдается условие:

$$\left| e_k - \frac{e_k}{1 - \sigma_k} \right| < \xi, \quad (2)$$

где  $\sigma_k$  - частная производная потерь по мощностям станций;

$\xi$  - заданная точность расчетов.

Если это условие выполняется, то расчет заканчивается, если нет, то выполняется следующий шаг.

6. Для каждой станции принимаем:

$$e_k = e_0 (1 - \sigma_k). \quad (3)$$

7. По характеристикам относительных приростов устанавливается мощность  $k$ -й станции, которой соответствует  $e_k$  для всех  $k = 1, 2, \dots, m-1$ .

Далее расчет повторяется, начиная с п.2 и продолжается до тех пор, пока условие (3) не окажется выполненным для всех  $m-1$  станций.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с заданной преподавателем схемой системы электроснабжения.

2. Подготовить исходные данные для расчета.

3. Разработать расчетную модель.

4. Найти оптимальное решение.

### **Контрольные вопросы**

1. Как задается начальное приближение?

2. Какой режим называется оптимальным?



3. Как решается задача оптимизации распределения активной нагрузки между электростанциями с учетом потерь мощности в сети?

4. Как определяется условие оптимальности с учетом потерь мощности в сети?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

### ИЗУЧЕНИЕ ОПЕРАТИВНЫХ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ В СХЕМАХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

*Цель работы: ознакомление с типовыми действиями при производстве оперативных переключений в схемах распределительных устройств электростанций.*

#### Краткие методические указания

Оперативное состояние электрического оборудования (генераторов, трансформаторов, синхронных компенсаторов, коммутационных аппаратов, сборных шин, токоведущих частей, линий электропередачи и пр.) определяется положением коммутационных аппаратов, с помощью которых оно отключается или включается под напряжение и вводится в работу.

Оборудование считается находящимся в работе, если коммутационные аппараты в его цепи включены и образована или может быть автоматически образована замкнутая электрическая цепь между источником питания и приемником электроэнергии.

Вентильные разрядники, конденсаторы связи, трансформаторы напряжения, ограничители перенапряжения и другое оборудование, жестко (без разъединителей) подключенные к источнику питания и находящиеся под напряжением, считаются находящимися в работе.

Оборудование считается находящимся в автоматическом резерве, если оно отключено только выключателями или отделителями, имеющими автоматический привод на включение, и может быть введено в работу действием автоматических устройств.

Оборудование считается находящимся под напряжением, если оно подключено коммутационными аппаратами к одному источнику напряжения (силовой трансформатор на холостом ходу, линия электропередачи, включенная со стороны питающей ее подстанции и т.д.).

Оборудование считается находящимся в резерве, если оно отключено коммутационными аппаратами и возможно включение его в работу с помощью этих коммутационных аппаратов.

Оборудование считается находящимся в ремонте, если оно отключено коммутационными аппаратами, снятыми предохранителями или расшиновано, заземлено и подготовлено в соответствии с требованиями правил безопасности к производству ремонтных работ.

Распоряжение о переключении диспетчер отдает, как правило, непосредственно оперативному руководителю нижестоящего уровня управления. Принимающий распоряжение о переключении повторяет текст отдающему распоряжение и записывает его в оперативный журнал.

Сложные переключения, а также все переключения (кроме одиночных) на электроустановках, не оборудованных блокировочными устройствами или имеющих неисправные блокировочные устройства, выполняются по программам, бланкам переключений.

К сложным относятся переключения, требующие строгой последовательности операций с коммутационными аппаратами, заземляющими разъединителями и устройствами релейной защиты, противоаварийной и режимной автоматики. При выполнении указанной в программах, бланках переключений последовательности операций обеспечивается безопасность оперативного и ремонтного персонала и предотвращается возникновение или развитие нарушения в работе электроустановки.

Отключение и включение под напряжение и в работу присоединения, имеющего в своей цепи выключатель, производится выключателем и, как правило, дистанционно. При этом ключ управления (кнопка) выключателя удерживается в положении «Отключить» или «Включить» до момента срабатывания сигнализации, указывающей на окончание операции (загорание соответствующей сигнальной лампы, окончание мигания сигнальной лампы в ключе управления и пр.).

В случае отказа в отключении при дистанционном управлении выключателя не допускается его отключение воздействием на кнопку местного управления, защелку привода или сердечник отключающего электромагнита (во избежание несчастного случая). Для вывода выключателя в ремонт в этом

случае обесточивается соответствующая секция или участок электроустановки. Отключение такого выключателя по месту допустимо лишь при настоятельной необходимости, например, для снятия напряжения с пострадавшего, если нет других вариантов.

Включение масляных выключателей 6–10 кВ в распределительных устройствах, не имеющих сплошной защитной стенки, производится дистанционно или с помощью выносных пультов.

При выполнении операций с разъединителями и отделителями ненагруженных трансформаторов, линий электропередачи, сборных шин и присоединений соблюдается следующее:

а) на присоединениях 35 - 220 кВ, имеющих в одной цепи отделители и разъединители, отключение намагничивающих токов трансформаторов и зарядных токов линий выполняется дистанционно отделителями, а включение - разъединителями при предварительно включенных отделителях.

Перед отключением намагничивающего тока трансформатора его РПН рекомендуется устанавливать в положение, соответствующее номинальному напряжению. Переключатель вольтодобавочного трансформатора (последовательного регулировочного трансформатора) рекомендуется устанавливать в положение, соответствующее нулевому значению добавочной ЭДС;

б) отключение и включение намагничивающих токов силовых трансформаторов 110 - 220 кВ, имеющих неполную изоляцию нейтрали и работающих с разземленной нейтралью, независимо от наличия защиты разрядником выполняются после предварительного заземления их нейтрали разъединителем нейтрали или через токоограничивающий реактор (или резистор);

в) отключение и включение ненагруженных трансформаторов, к нейтрали которых подключен дугогасящий реактор, во избежание появления перенапряжений выполняются после отключения дугогасящего реактора;

г) пофазное отключение ненагруженного трансформатора производится в порядке, определенном в п. 3.1.7 настоящей Инструкции;

д) перед включением разъединителя нейтрали 110 кВ и выше проверяется отсутствие напряжения на выводе нейтрали трансформатора (указателем напряжения соответствующего

класса). При неполнофазном режиме (обрыв фазы) заземляющий нож трансформатора включать не допускается.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с заданной преподавателем схемой системы электроснабжения.

2. Подготовить исходные данные для разработки порядка проведения оперативных переключений выбранного участка схемы.

3. Разработать порядок проведения оперативных переключений.

4. Повторить п.1-3 для другого участка схемы.

### **Контрольные вопросы**

1. Какое оборудование считается находящимся в работе?

2. Какое оборудование считается находящимся в ремонте?

3. Когда оперативному персоналу разрешается самостоятельно выполнять переключения оборудования?

4. Кому диспетчер отдает распоряжение о переключении?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРОЗОЗАЩИТНЫХ РАБОЧИХ И ЗАЩИТНЫХ ЗАЗЕМЛЕНИЙ

*Цель работы: ознакомление с конструкцией и расчетом заземлений, применяемых в электроустановках.*

#### Краткие методические указания

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (индуктивное влияние соседних токоведущих частей, вынос потенциалов, разряд молнии, наведение статического электричества и др.).

В заземляющее устройство входит заземлитель – металлический проводник или группа проводников, находящихся в непосредственном соприкосновении с грунтом, и заземляющие проводники, соединяющие заземляемые части электроустановки с заземлителем.

В зависимости от расположения заземлителей по отношению к заземляемому оборудованию заземление бывает выносным и контурным. Заземлители выносных заземлений располагают сосредоточенно на расстоянии свыше 20 м от заземляемого оборудования, т.е. вне зоны растекания тока замыкания на землю.

Заземлители контурного заземления располагают по периметру и внутри площадки, на которой установлено заземляемое оборудование. Все эти заземлители электрически соединены друг с другом.

Расчет защитного заземления имеет целью определить основные параметры заземления – число, размеры и размещение вертикальных электродов, а также длину горизонтальных соединительных шин, при которых общее сопротивление растеканию тока не превысит регламентированных ПУЭ значений.

Омическое сопротивление заземляющего устройства складывается из сопротивления заземляющих проводников, заземлителя и переходного сопротивления между заземлителем

и грунтом (или сопротивлению растеканию). Два первых слагаемых по сравнению с третьим пренебрежимо малы и в расчетах не учитываются.

Сопротивление растеканию зависит от размеров заземлителей, глубины их заложения, удельного сопротивления почвы, размещения и числа одиночных заземлителей в групповом.

Накопленный опыт проектирования и эксплуатации молниезащитных устройств и экспериментальные работы, подтвержденные результатами фактических измерений, позволяют сделать выводы и рекомендовать оптимальные типы заземлителей.

1) В грунтах, имеющих небольшую величину расчетного удельного сопротивления ( $\rho < 300 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ), наиболее целесообразны сосредоточенные вертикальные заземлители длиной 2,5 - 3 м, эффективно отводящие токи молнии.

При высокой проводимости нижних слоев грунта рекомендуется применение удлиненных электродов ( $l = 4 - 6 \text{ м}$ ). При высокой проводимости верхнего слоя грунта следует применять протяженные заземлители длиной не более 10 м, так как дальнейшее увеличение длины лучей при указанных характеристиках грунта практически не приводит к снижению импульсных сопротивлений растекания тока.

2) В грунтах с расчетным удельным сопротивлением  $\rho \geq 400 - 700 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  оптимальным является комбинированный тип заземляющего устройства, например двух-трехлучевой тип с вертикальными электродами длиной 2,5 - 3 м. Наряду с лучевым расположением электродов большое распространение имеют комбинированные заземлители, выполненные в виде контура (квадрат, прямоугольник, кольцо), охватывающего защищаемый объект.

При выполнении комбинированных заземлителей необходимо учитывать отрицательный эффект взаимного экранирования электродов. Поэтому не рекомендуются многолучевые заземлители с близким расположением вертикальных электродов друг от друга (менее двойной длины электродов).

3) В грунтах с высоким удельным сопротивлением ( $\rho \geq 800 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ) предпочтительнее применять лучевые заземлители с длиной элементов 20 - 40 м. В отдельных случаях могут быть использованы протяженные заземлители кольцевой формы.

Элементы заземляющих устройств выполняются в основном из круглой, полосовой и уголковой стали. Допускается изготовление вертикальных электродов из некондиционных или бывших в употреблении (демонтированных) газовых и водопроводных труб.

Наиболее ходовым сортаментом стали для изготовления электродов являются: полосовая сталь шириной 40 мм и толщиной 4 мм, угловая сталь с шириной полки 40 мм, круглая сталь диаметром 12 - 16 мм, трубы с наружным диаметром 40 - 60 мм.

Наиболее радикальным средством защиты заземлителей от коррозии является оцинковка электродов. Необходимо помнить, что покраска и покрытие элементов заземлителя лаками или битумом резко снижают эффект растекания тока и поэтому категорически запрещается.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с заданной преподавателем схемой молниезащиты.
2. Подготовить исходные данные для разработки заземляющего устройства.
3. Произвести расчет заземляющего устройства.
4. Повторить п.1-3 для другой схемы молниезащиты.

### **Контрольные вопросы**

1. Назначение заземления.
2. Какое заземление считается рабочим?
3. Какое заземление считается защитным?
4. Основные части заземления.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

### ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМ СИГНАЛИЗАЦИИ

*Цель работы:* ознакомление с типовыми действиями при производстве оперативных переключений в схемах собственных нужд электростанций.

#### Краткие методические указания

Сигнализация служит для представления информации о режиме работы или состоянии контролируемой электроустановки в оптический или акустический сигнал, удобный для восприятия оператором. На электрических станциях и подстанциях предусматриваются следующие виды сигнализации:

- сигнализация положения коммутационных аппаратов, установленных на энергетическом объекте
- аварийная, действующая при аварийном отключении коммутационного или защитного аппарата;
- предупредительная, срабатывающая при возникновении ненормального режима или ненормального состояния отдельных элементов установки;
- сигнализация действия устройств релейной защиты и автоматики;
- командная, служащая для передачи ограниченного количества наиболее важных распоряжений.

Все цепи индивидуальных аварийных и предупредительных сигналов отдельных элементов электростанции или подстанции (генераторов, трансформаторов, выключателей и др.) составляют общую схему сигнализации энергетического объекта. Такая схема сигнализации, воспринимающая и фиксирующая сигналы от отдельных элементов, формирующая аварийный и предупредительный сигналы для обслуживающего персонала, называется центральной сигнализацией (ЦС).

Для оптической сигнализации применяются:

- указательные реле, сигнальные приборы и другие устройства на основе электромеханических реле;
- лампы накаливания, светодиодные и др., а также световые табло на основе таких ламп;

- лампы на светоизлучающих диодах;
- жидкокристаллические и люминесцентные панели сигнализации и дисплеи.

В цифровых устройствах центральной сигнализации в качестве элементов оптической сигнализации применяются алфавитно-цифровые дисплеи и светоизлучающие диоды, как одного, так и различных цветов.

В качестве источников акустических сигналов раньше чаще всего применялись такие устройства как ревуны, звонки, сирены, и подобные им приборы.

Источниками акустических сигналов в цифровых устройствах центральной сигнализации служат встроенные пьезосигнализаторы и различного рода устройства, способные воспроизводить речевые сообщения командного и информационного характера.

Сигнализация положения коммутационных аппаратов (выключателей, разъединителей и их заземляющих ножей) служит для предоставления информации оперативному персоналу о состоянии схемы электрических соединений в нормальных и аварийных условиях и может осуществляться различными способами.

Сигнализация положения выключателей обычно выполняется с помощью сигнальных ламп, показывающих включенное, отключенное состояние. В нормальном режиме работы лампы сигнализации должны светить ровным светом. При автоматическом включении или отключении лампы светят мигающим светом. Мигающий свет ламп запускается при несоответствии положения ключа управления и положения выключателя.

Сигнализация положения выключателя основывается на его вспомогательных контактах, механически связанных с ним, и контролирующих его положение. Пример схемы сигнализации положения выключателя на двух сигнальных лампах с использованием ключа управления, имеющего механическую фиксацию предыдущей команды приведена на рис. 1.

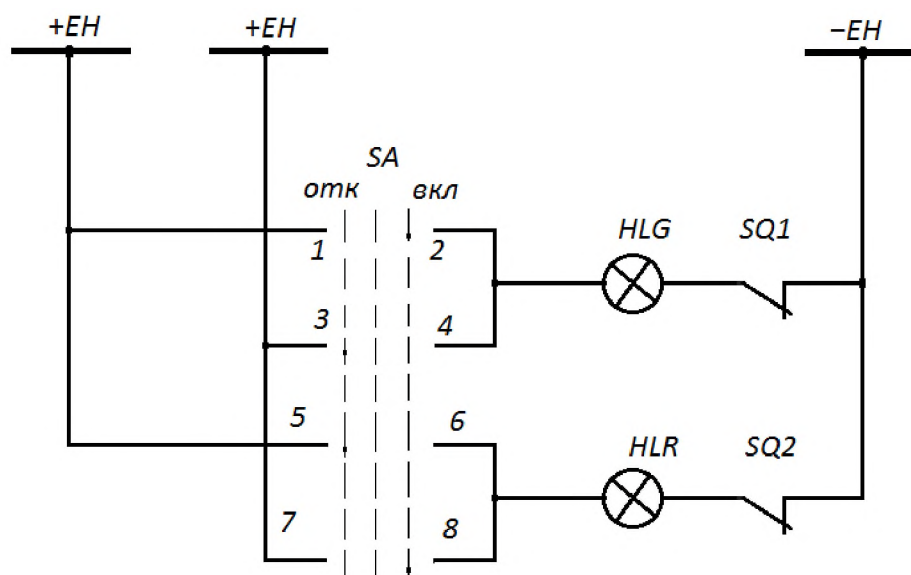


Рисунок 1 – Схема сигнализации положения выключателя

При подаче ключом управления команды «Включить», выключатель включается, и по цепи соответствия, через его замыкающиеся вспомогательные контакты SQ2 и оставшиеся замкнутыми контакты 7-8 ключа управления SA, постоянно подается напряжение питания (шинки +EH и -EH) на красную сигнальную лампу HLR положения «Включено». При оперативном отключении выключателя и подаче при помощи ключа управления команды «Отключить», выключатель отключается, и по цепи соответствия через его вспомогательные контакты SQ1 и оставшиеся замкнутыми контакты 3-4 ключа управления, постоянно подается напряжение на зеленую лампу HLG положения «Отключено».

Сигнализация автоматических переключений выключателя реализована на использовании принципа несоответствия между последней операцией, выполненной от ключа управления, и фактическим положением данного выключателя. Для этого в цепь сигнальных ламп кроме вспомогательных контактов выключателя вводятся специальные сигнальные контакты ключа управления: в цепь питания зеленой лампы HLG - контакты 1-2, остающиеся замкнутыми после подачи команды «Включить» и 3-4 остающиеся замкнутыми после подачи команды «Отключить»; в цепь питания красной лампы HLR – контакты 7-8, остающиеся замкнутыми после подачи команды «Включить» и 5-6, остающиеся замкнутыми после подачи команды «Отключить».

При подаче ключом управления команды «Включить», выключатель включается, и по цепи соответствия, через его

замыкающиеся вспомогательные контакты Q2 и оставшиеся замкнутыми контакты 7-8 ключа управления, постоянно светится красная сигнальная лампа HLR1 положения «Включено». При оперативном отключении выключателя и подаче при помощи ключа управления команды «Отключить», выключатель отключается, и по цепи соответствия через его вспомогательные контакты Q1 и оставшиеся замкнутыми контакты 3-4 ключа управления, постоянно светится зеленая лампа HLG1 положения «Отключено».

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с заданной преподавателем схемой электроустановки.
2. Подготовить исходные данные для разработки схемы сигнализации.
3. Разработать схему сигнализации..
4. Повторить п.1-3 для другой схемы электроустановки.

### **Контрольные вопросы**

5. Назначение сигнализации?
6. Какие сигналы используются в системах сигнализации?
7. Для чего применяется мигающий световой сигнал?
8. Для чего применяется постоянный световой сигнал?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

### ИЗУЧЕНИЕ ОПЕРАТИВНЫХ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

*Цель работы:* ознакомление с типовыми действиями при производстве оперативных переключений в схемах собственных нужд электростанций.

#### Краткие методические указания

Последовательность операций и действий персонала при выводе в ремонт трансформатора 6 /0,4 кВ собственных нужд электростанции:

а) отключается защита минимального напряжения выводимого в ремонт трансформатора;

б) отключается АВР резервного трансформатора (резервного источника питания);

в) включаются выключатель 6 кВ и автоматические выключатели резервного источника питания секций собственных нужд 0,4 кВ; проверяется по приборам наличие нагрузки на резервном источнике питания;

г) отключаются автоматические выключатели 0,4 кВ выводимого в ремонт трансформатора; вывешиваются плакаты «Не включать - работают люди»;

д) отключаются выключатель на стороне 6 кВ трансформатора; на ключе управления вывешивается плакат «Не включать - работают люди»;

е) проверяется положение автоматических выключателей 0,4 кВ трансформатора, отключаются рубильники; их приводы запираются на замок; вывешиваются плакаты «Не включать - работают люди»;

ж) проверяется положение выключателя 6 кВ трансформатора; тележка выключателя перемещается в ремонтное положение; запираются на замок дверцы шкафа; вывешивается плакат «Не включать - работают люди»;

з) убеждаются в отсутствии напряжения; устанавливаются заземления на выводах трансформатора со стороны высшего и

низшего напряжений; ограждается рабочее место; вывешиваются плакаты в соответствии с требованиями правил безопасности. Включение в работу после ремонта трансформатора напряжен и ем 6/0,4 кВ собственных нужд электростанции производится по окончании работ и осмотра персоналом места работ.

Последовательность операций и действий персонала при вводе в работу трансформатора:

а) снимаются все установленные на присоединении трансформатора заземления, переносные заземления размещаются в местах хранения;

б) удаляются временные ограждения и плакаты; устанавливаются постоянные ограждения; снимаются плакаты с приводов и ключей управления коммутационных аппаратов;

в) проверяется отключенное положение выключателя трансформатора со стороны 6 кВ; тележка выключателя перемещается в рабочее положение.

В рабочем положении и тележки проверяется правильность ее фиксации в корпусе шкафа и надежность установки штепсельных разъемов цепей вторичной коммутации;

г) проверяется отключенное положение автоматических выключателей 0,4 кВ; включаются рубильники, проверяется их положение;

д) включается выключатель 6 кВ трансформатора;

е) включаются автоматические выключатели 0,4 кВ трансформатора;

ж) проверяется по приборам наличие нагрузки на трансформаторе;

з) отключаются автоматические выключатели и выключатель резервного источника питания;

и) включается АВР резервного источника питания;

к) включается защита минимального напряжения трансформатора.

Оперативный персонал знакомится с принципами работы устройств РЗА, АСУ ТП, ПА, АСДУ, применяемых на данной электроустановке, а также с назначением и расположением на панелях предохранителей и автоматических выключателей, испытательных блоков и рубильников, переключающих и отключающих устройств, с помощью которых выполняются переключения в схемах РЗА.

При переключениях в электроустановках оперативный персонал своевременно выполняет все необходимые операции с устройствами РЗА в соответствии с требованиями инструкции энергопредприятия.

При наличии быстродействующих релейных защит и УРО В все операции по включению линий, сборных шин и оборудования после ремонта или нахождения без напряжения, а также по переключению разъединителями и воздушными выключателями выполняются при введенных в работу этих защитах.

Не допускается отключение дифференциальной защиты шин при выполнении операций с шинными разъединителями и воздушными выключателями, находящимися под напряжением. До начала операций с шинными разъединителями проверяется исправность дифференциальной защиты шин (измерением тока небаланса).

При отключенной дифференциальной защите шин операции с шинными разъединителями и воздушными выключателями 110 кВ и выше (находящимися под напряжением) выполняются при введенных ускорениях на соответствующих резервных защитах или при включенных временных защитах.

Если для работ в цепях дифференциальной защиты шин узловых подстанций напряжением 110 кВ и выше требуется кратковременное (до 30 мин) выведение этой защиты из действия, допускается на период до обратного ее ввода в работу не включать ускорения резервных защит, но при этом, как правило, не выполняются в зоне действия этой защиты никакие операции по включению и отключению шинных разъединителей и воздушных выключателей под напряжением.

На время проведения операций с шинными разъединителями и воздушными выключателями, выкатными тележками КРУ устройства АП В шин, АВР секционных и шиносоединительных выключателей отключаются.

## **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с заданной преподавателем схемой системы электроснабжения.

2. Подготовить исходные данные для разработки порядка проведения оперативных переключений выбранного участка схемы.
3. Разработать порядок проведения оперативных переключений.
4. Повторить п.1-3 для другого участка схемы.

### **Контрольные вопросы**

1. Какое оборудование считается находящимся в работе?
2. Какое оборудование считается находящимся в ремонте?
3. Когда оперативному персоналу разрешается самостоятельно выполнять переключения оборудования?
4. Кому диспетчер отдает распоряжение о переключении?



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок [Электронный ресурс] : учебник / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин, В. А. Яшков. - М.|Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 337 с.

2. Электропитающие системы и электрические сети [Текст] : учебное пособие / Н. В. Хорошилов [и др.]. - 2-е изд., перераб. и доп. - Старый Оскол : ТНТ, 2013. - 352 с.

3. Филиппова Т.А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем: учебник [Электронный ресурс] / Т.А. Филиппова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. – 294с. Режим доступа - URL: [https://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=435976](https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=435976).