

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Фурсов Владимир Александрович

Должность: И.о. директора Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 05.06.2026 09:53:29

Уникальный программный ключ:

1c378726a41fd0143ae5bccc8ba81860b0b0aa62

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению практических работ

по дисциплине «ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ»

для студентов направления подготовки

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2026 г.

Содержание

№ п/п		Стр.
	Введение	
1.	Цель и задачи изучения дисциплины	
2.	Оборудование и материалы	
3.	Наименование практических работ	
4.	Содержание практических работ	
4.1	Практическая работа №1 Методы расчета составляющих потерь электроэнергии.	
4.2	Практическая работа №2 Метод поэлементных расчетов.	
4.3.	Практическая работа №3 Потери холостого хода в трансформаторе.	
4.4	Практическая работа №4 Потери электроэнергии в батареях конденсаторов.	
4.5	Практическая работа №5 Допустимые погрешности учета электроэнергии по объекту.	
4.6	Практическая работа №6 Анализ потерь электроэнергии.	
4.7	Практическая работа №7 Определение расчетных интервалов потерь электроэнергии.	
4.8	Практическая работа №8 Использование статистических методов среднеквадратичные погрешности.	
4.9	Практическая работа №9 Рекомендуемые программы расчета и анализа потерь электроэнергии.	
5	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	
5.1	Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины	
5.2	Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	
5.3	Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины	

Введение

Практические занятия создают оптимальные дидактические условия для деятельностного освоения студентами содержания и методологии изучаемой дисциплины «Энергосбережение в системах электроснабжения», использование специального лабораторного оборудования и технических средств. Практические занятия занимают преимущественное место при изучении общепрофессиональных и профессиональных дисциплин. Практические занятия проводятся с целью выработки практических умений и приобретения навыков в решении задач, отработки упражнений, выполнении чертежей, производстве расчётов и т.п.

Целью практических занятий является формирование практических умений – профессиональных (выполнять определённые действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных, необходимых в последующей учебной деятельности по общепрофессиональным и профессиональным дисциплинам.

Библиографический список содержит сведения о справочной литературе и дополнительных изданиях, необходимых для углубленного изучения отдельных вопросов.

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Целью дисциплины является получение необходимых знаний в области расчета, анализа и нормирования потерь мощности и электроэнергии и мероприятий по их снижению.

Задачи изучения дисциплины:

- определять величины расчетных нагрузок,
- проектировать систему технического обслуживания и ремонта энергетических объектов;
- рассчитывать параметры режима сети и определением показателей качества электроэнергии в ее расчетных узлах.

2. Оборудование и материалы

Аппаратные средства: переносной ноутбук, проектор, доска магнитно-маркерная.

Учебная аудитория для проведения учебных занятий, оснащена оборудованием и техническими средствами обучения.

3. Наименование практических работ

Для заочной формы обучения предусмотрены следующие практические работы: практическая работа №3 Структура потерь мощности в элементах электроэнергетических систем и систем электроснабжения- 2 часа, практическая работа №7 Мероприятия по снижению потерь в современных условиях- 2 часа, практическая работа №15 Основы энергосбережения на энергетических объектах- 2 часа.

№ Темы дисциплины	Наименование тем дисциплины, их краткое содержание	Объем часов	Из них практическая подготовка, часов
7 семестр			
1	Практическая работа № 1. Теоретические и практические аспекты энергосбережения и энергетической эффективности. Методы расчета составляющих потерь электроэнергии. Изучить методы расчета составляющих потерь электроэнергии.	4	
2	Практическая работа № 2. Структура потерь мощности и электроэнергии в элементах электроэнергетических систем и систем электроснабжения. Метод поэлементных расчетов. Изучить метод поэлементных расчетов.	4	
3	Практическая работа №3. Методы оценки и анализа потерь, государственная политика энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Потери холостого хода в трансформаторе. Научиться расчёту потерь холостого хода в трансформаторе.	4	
4	Практическая работа №4. Мероприятия по	4	

	снижению потерь и оценка их экономической эффективности в современных условиях. Потери электроэнергии в батареях конденсаторов. Изучить потери электроэнергии в батареях конденсаторов.		
5	Практическая работа №5. Организационные мероприятия по снижению потерь. Допустимые погрешности учета электроэнергии по объекту. Изучить допустимые погрешности учета электроэнергии по объекту	4	
6	Практическая работа №6. Технические мероприятия по снижению потерь. Анализ потерь электроэнергии	4	
7	Практическая работа №7. Система учета электроэнергии. Определение расчетных интервалов потерь электроэнергии. Изучить предделение расчетных интервалов потерь электроэнергии	4	
8	Практическая работа №8 Основы энергосбережения на энергетических объектах; Основы энергоаудита. Использование статистических методов среднеквадратичные погрешности. Изучить использование статистических методов среднеквадратичные погрешности.	4	
9	Практическая работа №9 Методы снижения потерь электроэнергии при установившемся режиме электроснабжения. Рекомендуемые программы расчета и анализа потерь электроэнергии. Изучить рекомендуемые программы расчета и анализа потерь электроэнергии.	4	
	Итого за 7 семестр:	36	
	Итого:	36	

Практическая работа №1

Методы расчета составляющих потерь электроэнергии

Цель работы: Изучить методы расчета составляющих потерь электроэнергии.

Актуальность темы:

Заключается в необходимости приобретения навыков по расчету потерь.

В зависимости от полноты информации о нагрузках сети и вида расчетов (п. 1.5) для определения нагрузочных потерь рекомендуется использовать следующие методы [3]:

- поэлементных расчетов;
- характерных режимов;
- характерных суток;
- средних нагрузок;
- числа часов максимальных потерь;
- статистические.

2.2. Определение нагрузочных потерь по методу поэлементных расчетов производят по формуле

$$\Delta W_{\text{н}} = 3\Delta t \sum_{i=1}^k R_i \sum_{j=1}^{T/\Delta t} I_{ij}^2, \quad (2.1)$$

где k - число элементов сети;

T - расчетный период, ч;

Δt - интервал времени между последовательными значениями токовых нагрузок элементов, получаемых с помощью устройств телеизмерения, ч;

I_{ij} - токовая нагрузка i -го элемента с сопротивлением R_i в момент времени j .

2.3. Определение нагрузочных потерь по методу характерных режимов производят по формуле

$$\Delta W_{\text{н}} = \sum_{i=1}^n \Delta P_i t_i, \quad (2.2)$$

где ΔP_i - нагрузочные потери мощности в сети в i -м режиме продолжительностью t_i часов;

n - число режимов.

Нагрузки узлов сети принимаются по данным контрольных измерений. Перед расчетом потерь должна быть проведена балансировка нагрузок узлов с суммарной нагрузкой сети. Для периодов, в которых контрольные измерения нагрузок узлов не проводились, нагрузки должны быть получены с помощью расчета, исходя из известной суммарной нагрузки сети. При оперативных расчетах нагрузки узлов получают с помощью телеизмерений.

2.4. Определение нагрузочных потерь по методу характерных суток производят по формуле

$$\Delta W_{\text{н}} = \sum_{i=1}^m \Delta W_{\text{н}}^c D_{\text{эки}}, \quad (2.3)$$

где m - число характерных периодов работы сети (летний, зимний, паводка и т.д.), расчетные потери за контрольные сутки каждого из которых, рассчитанные по известным графикам нагрузки в узлах сети, составляют $\Delta W_{\text{н}}^c$;

$D_{\text{эки}}$ - эквивалентное число дней для i -го характерного периода, сут.

Эквивалентное число дней для i -го характерного периода определяют по формуле

$$D_{\text{эки}} = W_i^2 / (W_{\text{сi}}^2 D_i), \quad (2.4)$$

где W_i - электроэнергия, отпущенная в сеть в i -м периоде продолжительностью D_i суток;

$W_{\text{сi}}$ - электроэнергия, отпущенная в сеть за сутки, расчетные потери электроэнергии за которые составили $\Delta W_{\text{н}}^c$ или по формуле

$$D_{\text{эки}} = \sum_{j=1}^{k_i} W_j^2 D_j / W_p^2, \quad (2.5)$$

где k_i - число месяцев входящих в i -й характерный период;

W_j - электроэнергия, отпущенная в сеть j -м месяце, число дней в котором составляет D_j ;

W_p - электроэнергия, отпущенная в сеть в месяце, включающем контрольные сутки, или по формуле

$$D_{\text{эки}} = \sum_{j=1}^l D_j A_j / A_1, \quad (2.6)$$

где l - число характерных суточных графиков в i -м характерном периоде;

D_i - число суток в характерном периоде работы сети, на которое распространяется j -й характерный суточный график;

A_j - сумма квадратов ординат j -го характерного суточного графика суммарной нагрузки сети (рабочие, нерабочие сутки);

A_1 - сумма квадратов ординат суточного графика суммарной нагрузки сети, соответствующего суткам, за которые рассчитывались потери $\Delta W_{\text{н}}^c$.

При использовании формул (2.5), (2.6) расчеты значений $\Delta W_{\text{н}}^c$ производят по графикам нагрузки в каждом из узлов, полученных из ведомостей контрольных измерений и скорректированных по потреблению электроэнергии в узле за месяц $W_{\text{м}}$. Ординаты скорректированного графика активной мощности $p_{\text{к}}$ определяют по формуле

$$p_k = a_k p, \quad (2.7)$$

где a_k - коэффициент корректировки;

p - ордината исходного графика.

Коэффициент a_k определяют по формулам:

в случае использования (2.5)

$$a_k = W_m / (D_m \sum_{i=1}^n p_i t_i), \quad (2.8)$$

где D_m - число дней в месяце;

p_i - ордината суточного графика, полученного путем измерения;

t_i - продолжительность ступени графика, ч;

в случае использования (2.6)

$$a_k = W_m d_p / (D_p \sum_{i=1}^n p_i t_i), \quad (2.9)$$

где p - доля электроэнергии, потребленной в рабочие дни, отн. ед.;

D_p - число рабочих дней в месяце.

Корректировку графика реактивной мощности осуществляют аналогично.

2.5. Определение нагрузочных потерь методами средних нагрузок и числа часов максимальных потерь τ производят по формулам:

$$\Delta W_n = \Delta P_{n, \text{ср}} K_\phi^2 T; \quad (2.10)$$

$$\Delta W_n = \Delta P_{n, \text{макс}} \tau, \quad (2.11)$$

где $\Delta P_{n, \text{ср}}$ и $\Delta P_{n, \text{макс}}$ - нагрузочные потери мощности, определенные по средним и максимальным нагрузкам соответственно;

K_ϕ - коэффициент формы графика;

T - продолжительность периода, за который определяются потери, ч.

Средние нагрузки узлов определяют по показаниям приборов учета электроэнергии [4]. Значения K_ϕ^2 и τ определяют непосредственно по графику суммарной нагрузки сети, фиксируемому в диспетчерской ведомости [5], или по формулам:

$$K_\phi^2 = \left(\frac{0,124}{K_3} + 0,876 \right)^2 = \left(\frac{1090}{T_{\text{макс}}} + 0,876 \right)^2; \quad (2.12)$$

$$\tau = (0,124 + 0,876 K_3)^2 \cdot 8760 = \left(0,124 + \frac{T_{\text{макс}}}{10000} \right)^2 \cdot 8760, \quad (2.13)$$

где K_3 - коэффициент заполнения графика.

2.6. Определение нагрузочных потерь статистическими методами производят на основании регрессионной зависимости потерь от обобщенных характеристик схем и режимов электрических сетей. Указанные зависимости строятся на основании предварительных расчетов потерь для ограниченного числа схем и режимов сетей (выборки). Определение потерь для других схем и режимов производят по полученной зависимости без электрического расчета сети.

Для сетей различных групп (п. 1.9) рекомендуются следующие методы расчета.

Метод поэлементных расчетов рекомендуется как предпочтительный для отдельных линий и трансформаторов, потери в которых существенно зависят от транзитных перетоков.

Метод характерных режимов рекомендуется для расчета потерь в транзитной сети при наличии телеинформации о нагрузках узлов, периодически передаваемой в ВЦ энергосистемы.

Метод характерных суток рекомендуется как предпочтительный для расчета потерь в замкнутых сетях 110 кВ и выше, не участвующих в обмене мощностью. Допускается применение метода числа часов максимальных потерь.

Метод средних нагрузок рекомендуется как предпочтительный для разомкнутых сетей 6-150 кВ при наличии данных об электроэнергии, пропущенной по головному участку сети за рассматриваемый период. Допускается применение метода числа часов максимальных потерь. Статистические методы рекомендуются как предпочтительные для определения потерь в сетях 0,38 кВ и выявления зависимостей потерь от основных влияющих факторов в сетях всех напряжений.

Для расчета и анализа потерь в разомкнутых сетях 6-20 кВ допускается применение статистических методов определения эквивалентных сопротивлений линий от обобщенных параметров схемы (суммарной длины и числа участков линии, сечения головного участка и т.п.).

2.8. До внедрения программ на ЭВМ расчеты потерь в разомкнутых сетях 6-150 кВ могут производиться вручную. В зависимости от вида имеющейся информации о нагрузке головного участка сети используют метод средних нагрузок, определяя расчетное значение потерь (тыс. кВт·ч) по формуле

$$\Delta W_{\text{н}} = \frac{(W_p^2 + W_Q^2) K_{\Phi}^2}{U_{\text{эк}}^2 T} R_{\text{эк}}, \quad (2.14)$$

метод числа часов наибольших потерь (тыс. кВт·ч) по формуле

$$\Delta W_{\text{н}} = 3 I_{\text{макс}}^2 R_{\text{эк}} \tau_{\text{к}}, \quad (2.15)$$

где W_p и W_Q - активная, тыс. кВт·ч, и реактивная, тыс. квар·ч, энергия, пропущенная через головной участок сети за время T ;

$U_{\text{эк}}$ - эквивалентное напряжение для расчета нагрузочных потерь, кВ;

$I_{\text{макс}}$ - максимальная нагрузка головного участка, кА;

κ_k - коэффициент корректировки, принимаемый равным 1,37 при использовании значения тока, полученного путем непосредственного измерения, и равным 1 в остальных случаях.

Эквивалентное напряжение определяют по формуле

$$U_{\text{эк}} = \sqrt{KU_1^2 + (1-K)U_2^2}, \quad (2.16)$$

где K - коэффициент, принимаемый равным 0,9 для сетей 6-20 кВ и 0,8 - для сетей 35-150 кВ;

U_1 и U_2 - напряжения на шинах центра питания линии 6-20 кВ в режимах максимальных и минимальных нагрузок соответственно;

Эквивалентное сопротивление линии рассчитывают по формуле

$$R_{\text{эк}} = \sum_{i=1}^k h_i^2 R_i / h_{\Gamma}^2, \quad (2.17)$$

где h_i и h_{Γ} - величины, пропорциональные (фактически или по предположению) нагрузке i -го элемента сети сопротивлением R_i и головного участка соответственно. В качестве этих величин могут использоваться токи участков, установленные мощности трансформаторов, получающих питание по i -му участку и т.п. При этом сумма h_i для нагрузочных узлов должна быть равна h_{Γ} .

При отсутствии данных о коэффициенте формы графика вместо (2.14) используют формулу

$$\Delta W_{\text{н}} = 1,3 \frac{W_p^2 + W_Q^2}{U_{\text{эк}}^2 T} R_{\text{эк}}; \quad (2.8)$$

при отсутствии данных о пропуске реактивной энергии - формулу

$$\Delta W_{\text{н}} = 1,25 \frac{W_p^2 + \kappa_{\text{ф}}^2}{U_{\text{эк}}^2 T} R_{\text{эк}}; \quad (2.19)$$

при отсутствии данных о $\kappa_{\text{ф}}$ и о W_Q - формулу

$$\Delta W_{\text{н}} = 1,63 \frac{W_p^2}{U_{\text{эк}}^2 T} R_{\text{эк}}. \quad (2.20)$$

2.9. Потери электроэнергии в линии напряжением 0,38 кВ (% отпуска электроэнергии в сеть) определяют по формуле

$$\Delta W_{\text{н}} = 0,7 K_{\text{н}} \Delta U_1 \frac{\tau}{T_{\text{макс}}}, \quad (2.21)$$

где ΔU_1 - потери напряжения в максимум нагрузки сети от шин ТП до наиболее удаленного электроприемника, %;

$K_{\text{н}} -$ коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузок по фазам.

Коэффициент $K_{\text{н}}$ определяют по формуле

$$K_{\text{н}} = 3 \frac{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2}{(I_A + I_B + I_C)^2} \left(1 + 1,5 \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{ф}}} \right) - 1,5 \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{ф}}}, \quad (2.22)$$

где I_A, I_B, I_C - измеренные токовые нагрузки фаз;

$R_{\text{н}}/R_{\text{ф}}$ - отношение сопротивлений нулевого и фазного проводов [6].

При отсутствии данных о токовых нагрузках следует принимать: для линий с $R_{\text{н}}/R_{\text{ф}} = 1$ $K_{\text{н}} = 1,13$, для линий с $R_{\text{н}}/R_{\text{ф}} = 2$ $K_{\text{н}} = 1,2$.

Отношение $\tau/T_{\text{макс}}$ принимают в соответствии со следующими данными:

$T_{\text{макс}},$	ч 2000	3000	4000	5000	6000
.....					
$\tau/T_{\text{макс}}$	0,46	0,52	0,6	0,72	0,77
.....					

Относительные потери электроэнергии, % в К линиях 0,38 кВ определяют по формуле

$$\Delta W_{\% \Sigma} = \frac{\sum_{i=1}^k \Delta W_{\%}^i I_i}{\sum_{i=1}^k I_i}, \quad (2.23)$$

где $\Delta W_{\%}^i$ - относительные потери электроэнергии в i -й линии, определенные по формуле (2.21);

I_i - максимальная нагрузка головного участка i -й линии.

Вопросы для собеседования:

1. Каким образом связаны расчетные активная и реактивная мощности?
2. В каком случае необходимо провести корректировку расчетной активной мощности?

Практическая работа №2

Метод поэлементных расчетов.

Цель работы: Изучить метод поэлементных расчетов.

Актуальность темы:

Заключается в необходимости приобретения навыков по расчету методом расчетов

Метод поэлементных расчетов рекомендуется как предпочтительный для отдельных линий и трансформаторов, потери в которых существенно зависят от транзитных перетоков.

Метод характерных режимов рекомендуется для расчета потерь в транзитной сети при наличии телеинформации о нагрузках узлов, периодически передаваемой в ВЦ энергосистемы.

Метод характерных суток рекомендуется как предпочтительный для расчета потерь в замкнутых сетях 110 кВ и выше, не участвующих в обмене мощностью. Допускается применение метода числа часов максимальных потерь.

Метод средних нагрузок рекомендуется как предпочтительный для разомкнутых сетей 6-150 кВ при наличии данных об электроэнергии, пропущенной по головному участку сети за рассматриваемый период. Допускается применение метода числа часов максимальных потерь. Статистические методы рекомендуются как предпочтительные для определения потерь в сетях 0,38 кВ и выявления зависимостей потерь от основных влияющих факторов в сетях всех напряжений.

Для расчета и анализа потерь в разомкнутых сетях 6-20 кВ допускается применение статистических методов определения эквивалентных сопротивлений линий от обобщенных параметров схемы (суммарной длины и числа участков линии, сечения головного участка и т.п.).

2.8. До внедрения программ на ЭВМ расчеты потерь в разомкнутых сетях 6-150 кВ могут производиться вручную. В зависимости от вида имеющейся информации о нагрузке головного участка сети используют метод средних нагрузок, определяя расчетное значение потерь (тыс. кВт·ч) по формуле

$$\Delta W_{\text{н}} = \frac{(W_p^2 + W_Q^2) K_{\text{ф}}^2}{U_{\text{эк}}^2 T} R_{\text{эк}}, \quad (2.14)$$

метод числа часов наибольших потерь (тыс. кВт·ч) по формуле

$$\Delta W_{\text{н}} = 3I_{\text{макс}}^2 R_{\text{эк}} \tau_{\text{к}}, \quad (2.15)$$

где W_p и W_Q - активная, тыс. кВт·ч, и реактивная, тыс. квар·ч, энергия, пропущенная через головной участок сети за время T ;

$U_{\text{эк}}$ - эквивалентное напряжение для расчета нагрузочных потерь, кВ;

$I_{\text{макс}}$ - максимальная нагрузка головного участка, кА;
 κ_K - коэффициент корректировки, принимаемый равным 1,37 при использовании значения тока, полученного путем непосредственного измерения, и равным 1 в остальных случаях.

Эквивалентное напряжение определяют по формуле

$$U_{\text{эк}} = \sqrt{KU_1^2 + (1-K)U_2^2}, \quad (2.16)$$

где K - коэффициент, принимаемый равным 0,9 для сетей 6-20 кВ и 0,8 - для сетей 35-150 кВ;

U_1 и U_2 - напряжения на шинах центра питания линии 6-20 кВ в режимах максимальных и минимальных нагрузок соответственно;

Эквивалентное сопротивление линии рассчитывают по формуле

$$R_{\text{эк}} = \sum_{i=1}^k h_i^2 R_i / h_{\Gamma}^2, \quad (2.17)$$

где h_i и h_{Γ} - величины, пропорциональные (фактически или по предположению) нагрузке i -го элемента сети сопротивлением R_i и головного участка соответственно. В качестве этих величин могут использоваться токи участков, установленные мощности трансформаторов, получающих питание по i -му участку и т.п. При этом сумма h_i для нагрузочных узлов должна быть равна h_{Γ} .

При отсутствии данных о коэффициенте формы графика вместо (2.14) используют формулу

$$\Delta W_{\text{н}} = 1,3 \frac{W_p^2 + W_Q^2}{U_{\text{эк}}^2 T} R_{\text{эк}};$$

Вопросы для собеседования:

1. Каким образом связаны расчетные активная и реактивная мощности?
2. В каком случае необходимо провести корректировку расчетной активной мощности?

Практическая работа №3

Потери холостого хода в трансформаторе

Цель работы: Научиться расчёту потерь холостого хода в трансформаторе.

Актуальность темы:

Заключается в необходимости приобретения навыков по расчету потерь трансформатора

Определить ток КЗ за реактором и напряжение на шинах в системах
Линейный реактор 6 кВ, 8 %, 600 А; сдвоенный реактор 6 кВ, 12 %, 2000 А, $m = 0,5$. Вторичное напряжение питающего трансформатора 6,6 кВ; ток КЗ до реактора 16 кА.

Решение

1. Сопротивление линейного реактора:

$$X_p = 10 \cdot X \cdot U / \sqrt{3} \cdot I = 10 \cdot 8 \cdot 6 / \sqrt{3} \cdot 600 = 0,462 \text{ Ом.}$$

Сопротивление системы до выводов 6,6 кВ питающего трансформатора:

$$X_c = 6600 / \sqrt{3} \cdot 16000 = 0,238 \text{ Ом.}$$

Ток КЗ за линейным реактором:

$$I_k^{(3)} = 6600 / \sqrt{3} \cdot (0,238 + 0,462) = 5450 \text{ А.}$$

2. Сопротивление одной ветви сдвоенного реактора:

$$X_p = 10 \cdot 12 \cdot 6 / 2000 = 0,36 \text{ Ом.}$$

Ток КЗ за реактором:

$$I_k^{(3)} = 6600 / \sqrt{3} \cdot (0,36 + 0,238) = 6379,65 \text{ А.}$$

Необходимо обратить внимание на то, что хотя реакторы имеют номинальное напряжение 6,0 кВ, включены они на вторичное напряжение питающего трансформатора 6,6 кВ и приведения к одному расчетному напряжению в этом случае не требуется.

3. Напряжение на шинах при КЗ за линейным реактором $U_{ш} = \sqrt{3} \cdot I_k^{(3)} X_p = \sqrt{3} \cdot 5450 \cdot 0,442 = 4356 \text{ В}$, или $4356 / 6600 = 0,66$ номинального.

Напряжение на неповрежденной секции шин по рис. 6б равно:

$$\sqrt{3} \cdot 0,36 \cdot 6379,65 = 3971,4 \text{ В, или } 0,602 \text{ номинального.}$$

Следует отметить, что такое напряжение не обеспечивает надежной работы магнитных пускателей: обычно их напряжение отпадания колеблется в пределах 0,65...0,75 номинального и в данном случае могут иметь место неправильные отключения электродвигателей.

Те же напряжения можно определить и по выражениям (23) и (24):

$$U_{ш} = 0,462 \cdot U / (0,462 + 0,238) = 0,66 U_{н};$$

$$U_{ш} = 0,36 \cdot U / (0,36 + 0,238) = 0,602 U_{н}.$$

На подстанции выведен из работы трансформатор 2Т и секция шин IV питается от трансформатора через реактор трансформатора 2Т. Требуется определить ток КЗ на секции шин IV.

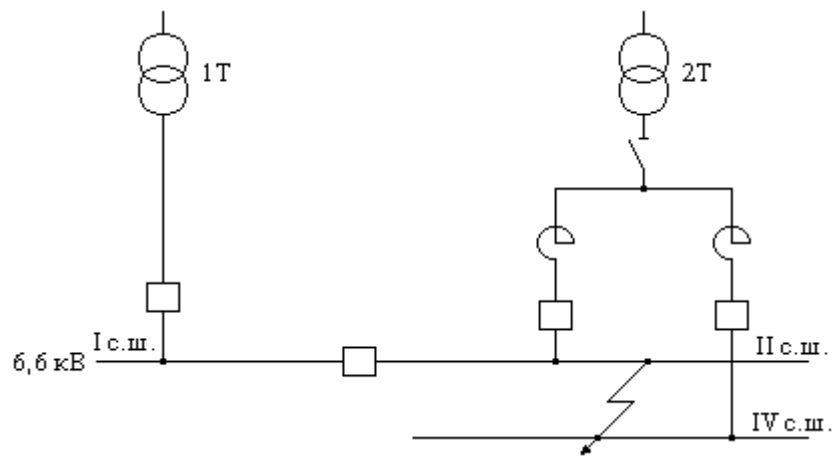


Схема подстанции

Решение

Сопротивление двух последовательно включенных ветвей реактора по выражению (22) равно:

$$X_{bc} = 2 \cdot 0,36 \cdot (1 + 0,5) = 1,08 \text{ Ом (рис. 6),}$$

ток КЗ

$$I_k^{(3)} = 6600 / \sqrt{3} \cdot (1,08 + 0,238) = 2894,56 \text{ А,}$$

$$I_k^{(3)} = \sqrt{3} \cdot 2894,56 / 2 = 2503,8 \text{ А;}$$

напряжение на секции шин I равно:

$$1,08 \cdot U / (1,08 + 0,238) = 0,819U.$$

Вопросы для собеседования:

1. Каким образом связаны расчетные активная и реактивная мощности?
2. В каком случае необходимо провести корректировку расчетной активной мощности?

Практическая работа №4

Потери электроэнергии в батареях конденсаторов

Цель работы: Изучить потери электроэнергии в батареях конденсаторов.

Актуальность темы:

Заключается в необходимости приобретения навыков по расчету потерь в конденсаторах

Ток КЗ на шинах питающей подстанции равен 10 кА при напряжении 6,6 кВ. Выполнить расчет спада тока через 1, 2, 3 с для медного кабеля сечением 50 мм², длиной 5 км.

Решение

Определим активное сопротивление кабеля при температуре 65 °С. По Приложению 7 активное сопротивление медного кабеля 50 мм² при температуре +20 °С равно 0,37 Ом/км. При температуре 65 °С сопротивление будет $0,37 \cdot [1 + 0,004 \cdot (65 - 20)] = 0,4366$ Ом/км.

Полное активное сопротивление $r_x = 0,4366 \cdot 5 = 2,185$ Ом.

Сопротивление системы $x_c = 6600 / \sqrt{3} \cdot 10000 = 0,3815$ Ом.

Сопротивление кабеля $x_k = 0,083 \cdot 5 = 0,415$ Ом.

Ток трехфазного КЗ в конце кабеля в первый момент

$$I_0^{(3)} = 6600 / \sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,3815 + 0,415)^2 + 2,18} = 6600 / \sqrt{3} \cdot 2,32 = 1644,41 \text{ А}$$

Расчет для времени $t = 1$ с:

$$\Delta = (I^{(3)} / q)^2 \cdot t = (1644,41 / 50)^2 \cdot 1 = 1081,6 \text{ А}^2 \text{ с/мм}^4,$$

$$a = (2,13 / 2,32)^2 = 0,884.$$

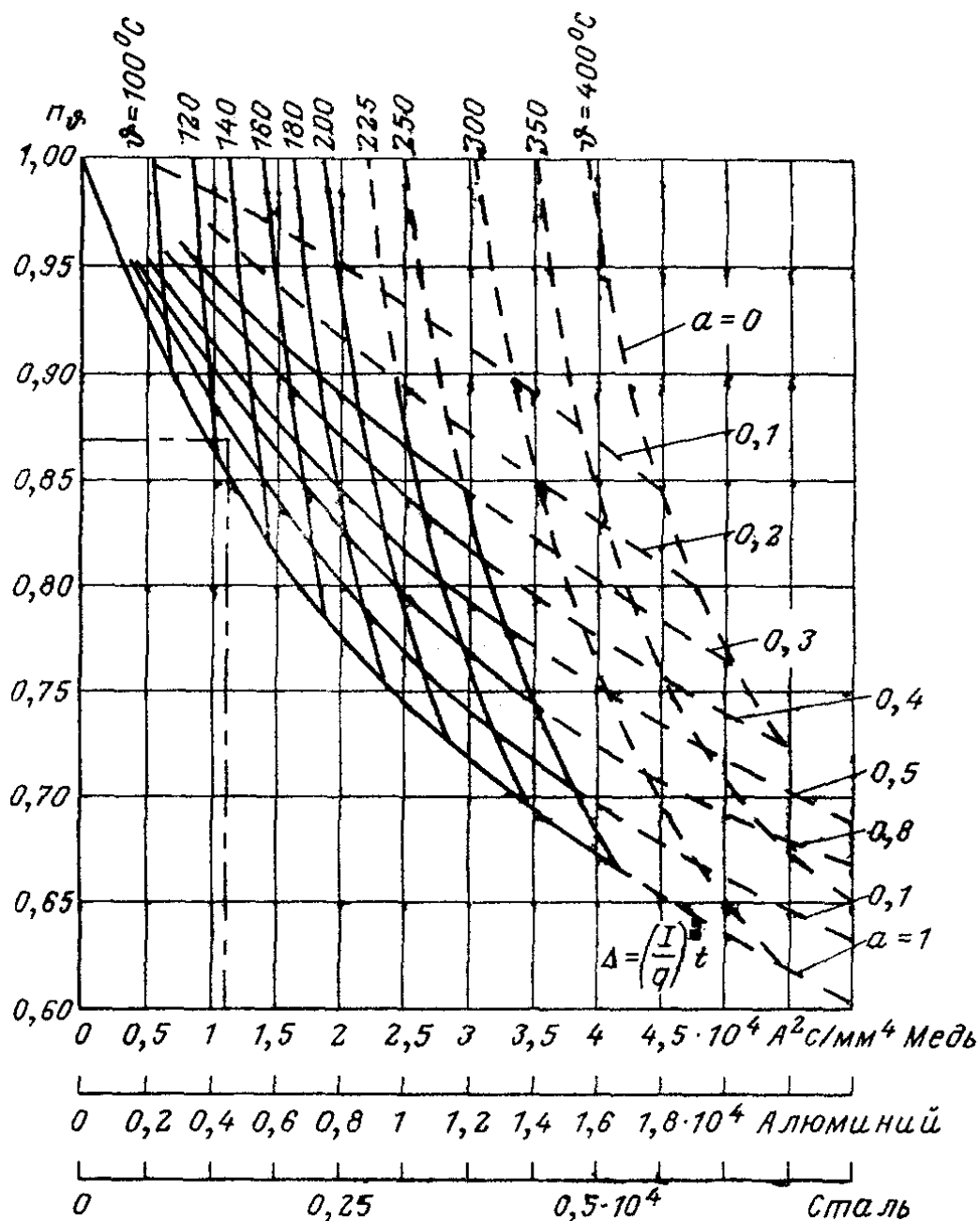


Диаграмма для определения снижения тока КЗ от нагрева проводов

Определить уменьшение тока КЗ из-за нагрева обмоток трансформатора.

Решение

Данные трансформаторов по примеру 5:

$S_{T1} = 25 \text{ кВ} \cdot \text{А}$, $Z = 96 \text{ Ом}$; $X = 152,3 \text{ Ом}$; $Z = 180 \text{ Ом}$;

$S_{T2} = 400 \text{ кВ} \cdot \text{А}$, $Z = 3,44 \text{ Ом}$; $X = 10,71 \text{ Ом}$; $Z = 11,25 \text{ Ом}$.

Активное сопротивление при 250°C через $1,82 \text{ с}$ после начала КЗ будет в $1,7$ раза больше, чем при 75°C . Полные сопротивления будут: для трансформатора $25 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ $Z = \sqrt{152,3^2 + (1,7 \cdot 96)^2} = 223,2 \text{ Ом}$ вместо 180 Ом ; для трансформатора $400 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ $Z = \sqrt{10,71^2 + (1,7 \cdot 3,44)^2} = 12,2 \text{ Ом}$ вместо $11,25 \text{ Ом}$. Максимальное уменьшение тока КЗ при $Z_c = 0$ через $1,82 \text{ с}$ составит $180/223,2 = 0,816$ для трансформатора $25 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ и $11,25/12,2 = 0,93$ для трансформатора $400 \text{ кВ} \cdot \text{А}$.

Вопросы для собеседования:

1. Каким образом связаны расчетные активная и реактивная мощности?
2. В каком случае необходимо провести корректировку расчетной активной мощности?

Практическое занятие №5.

Допустимые погрешности учета электроэнергии по объекту.

Цель работы: Изучить допустимые погрешности учета электроэнергии по объекту.

Актуальность темы:

Заключается в необходимости приобретения навыков по расчету погрешности измерений

Параметры эквивалентных схем замещения могут быть определены:

1. В именованных и относительных единицах приведением значений параметров расчетных схем к выбранной основной (базисной) ступени напряжения сети с учетом фактических коэффициентов трансформации силовых трансформаторов и автотрансформаторов.
2. В относительных и именованных единицах значений параметров расчетных схем к выбранным базисным условиям с учетом средних коэффициентов трансформации, равных отношению средних номинальных

напряжений сетей соответствующих ступеней напряжений. Рекомендуется использовать шкалу средних номинальных между фазных напряжений сетей в [кВ]: 3,15; 6,3; 10,5; 13,8; 15,75; 18; 20; 24; 37; 115; 154; 230; 340; 515; 750.

В первом случае рассчитывают токи КЗ при наличии данных с фактических коэффициентов трансформации. Наиболее предпочтителен для практических расчетов (рекомендуется в КР) второй способ приведения. Расчетные выражения для этого способа приведены в табл. 1. При выборе данных условий следует руководствоваться тем, чтобы порядок числовых значений был удобен для оперирования с ними. За базисную мощность ($S_б$) целесообразно принимать число, кратное десяти. Например, 10, 100, 1000 и т. п. [МВА]. За базисные напряжения ($U_б$) рекомендуется принимать среднее значение той степени трансформации, где находится точка КЗ.

Базисный ток и сопротивление определяются по выражениям:

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_б} \quad Z_б = \frac{U_б}{\sqrt{3} \cdot I_б} = \frac{U_б}{S_б} \quad (1)$$

Вопросы для собеседования:

1. Каким образом связаны расчетные активная и реактивная мощности?
2. В каком случае необходимо провести корректировку расчетной активной мощности?

Практическое занятие №6.

Анализ потерь электроэнергии

Цель работы: Научиться анализировать потери электроэнергии.

Актуальность темы:

Заключается в необходимости приобретения навыков по расчету баланса электрической энергии

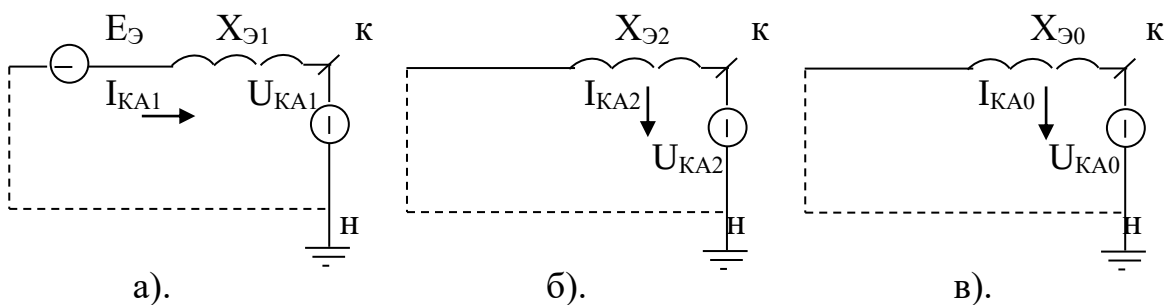
Составление схем замещения для токов прямой, обратной и нулевой последовательностей

Определение параметров их элементов. (В дальнейшем приняты широко распространенные обозначения индексов для параметров прямой, обратной и нулевой последовательностей: 1, 2, 0).

1. Схема замещения прямой последовательности аналогична схеме, которая составляется для расчетов симметричного КЗ. В зависимости от момента времени и метода расчета все элементы, в состав которых входят вращающиеся машины (генераторы, нагрузки двигатели, системы и т.п.), вводятся в схему замещения прямой последовательности соответствующими

реактивными ЭДС. Все остальные элементы вводятся в схему неизменными сопротивлениями.

Началом схемы (н) прямой последовательности считается точка, в которой объединены свободные концы всех генерирующих и нагрузочных ветвей. В месте несимметрии (конец схемы - к) действует ЭДС, равная напряжению прямой последовательности. Любую схему прямой последовательности можно привести к простейшей схеме, из которой определяется результирующая ЭДС E_{Σ} и результирующее сопротивление прямой последовательности $X_{\Sigma 12}$. Схема замещения обратной последовательности по конфигурации не отличается от схемы прямой последовательности. Началом схемы обратной последовательности является точка, объединяющая начало всех генерирующих и нагрузочных ветвей (ЭДС обратной последовательности равны нулю). В конце схемы (в точке КЗ) приложено напряжение U_{KA2} . Параметры элементов схем замещения обратной последовательности для трансформаторов, воздушных линий, кабелей и реакторов те же, что и в схеме прямой последовательности. По сравнению со схемой замещения прямой последовательности изменяются сопротивления обратной последовательности элементов, в состав которых входят вращающиеся машины.



Если для нагрузки сопротивление обратной последовательности не задано, то его можно принимать равным $X_{H(2)}=0,35$ о. е.

Сопротивление обратной последовательности генераторов дается в каталогах в относительных единицах с приведением к номинальным параметрам генератора.

Схема замещения обратной последовательности приводится к виду, изображенному на рис. 1, б. Здесь $X_{\Sigma 2}$ является результирующим сопротивлением обратной последовательности.

3. Вид схемы замещения нулевой последовательности зависит от заземления нейтралей сети высшего напряжения (110 кВ и выше), количества трансформаторов и автотрансформаторов, схем соединения их обмоток. Если нейтраль трансформатора будет незаземлена, то не будет контура для протекания тока нулевой последовательности. При соединении обмотки трансформатора в треугольник ток нулевой последовательности в этой обмотке протекает, но далее пути для него нет.

В схеме замещения нулевой последовательности по сравнению с прямой изменяются сопротивления линий электропередачи. Это обусловлено особенностями циркуляции токов нулевой последовательности.

Составление схемы замещения нулевой последовательности следует начинать от точки КЗ, где приложено напряжение $U_{КА0}$ и являющейся концом схемы замещения. Далее в схему вводятся те элементы, по которым протекают токи нулевой последовательности. Концы этих элементов, имеющих потенциалы земли, т. е. заземленные нейтрали трансформаторов (автотрансформаторов) и обмотки, соединенные треугольником, объединяются в общую точку, получая начало схемы замещения нулевой последовательности. Затем схему свертывают относительно точки КЗ для определения результирующей величины сопротивления нулевой последовательности $X_{\Sigma 0}$ (рис. 1, в).

Вопросы для собеседования:

1. Каким образом связаны расчетные активная и реактивная мощности?
2. В каком случае необходимо провести корректировку расчетной активной мощности?

Практическое занятие №7.

Определение расчетных интервалов потерь электроэнергии

Цель работы: Изучить определение расчетных интервалов потерь электроэнергии.

Актуальность темы:

Заключается в необходимости приобретения навыков по расчету интервалов расчетных потерь

Нижнюю и верхнюю границы интервала, в котором фактическое значение потерь оказывается с доверительной вероятностью 95%, определяют по формулам:

$$\begin{aligned}\Delta W_{\min} &= \Delta W_p \left(1 - \frac{\Delta}{50}\right); \\ \Delta W_{\max} &= \Delta W_p \left(1 + \frac{\Delta}{50}\right),\end{aligned}\tag{1.1}$$

где ΔW_p - расчетное значение потерь, определяемое в соответствии с разд. 2 настоящей Инструкции;

Δ - среднеквадратичное значение погрешности расчета, %, определяемое в соответствии с изложенным ниже.

2. Погрешности определения потерь электроэнергии методом поэлементных расчетов обуславливаются изменением сопротивления

проводов в зависимости от температуры и периодичностью расчетов N (раз в час). При использовании в расчетах сопротивлений, приведенных к среднегодовой температуре, значение Δ определяют по формуле

$$\Delta = \sqrt{50 / NTm}, \quad (1.2)$$

где T - расчетный период, ч;

m - число элементов.

3. Погрешности определения потерь электроэнергии методом характерных режимов при сбалансированных нагрузках в каждом режиме обуславливаются погрешностями информации о нагрузках узлов в каждом режиме и погрешностями, обусловленными ограниченным числом характерных режимов. В расчетах используют значения сопротивлений, приведенные к среднегодовой температуре. Среднеквадратичное значение погрешности определяют по формуле, %

$$\Delta = \frac{\sqrt{4n^2 + 2000}}{n}, \quad (1.3)$$

где n - число рассчитываемых режимов в течение года.

4. Погрешности определения потерь электроэнергии методом характерных суток обусловлены неточностями информации о нагрузках узлов, способом определения продолжительности характерных суток, количеством суток, потери за которые определяют на основании расчета режимов и количеством режимов, рассчитываемых за характерные сутки. Известные модификации метода характерных суток [см. формулы (2.4)-(2.6)] обеспечивают примерно одинаковую точность расчета. Среднеквадратичную погрешность определяют по формуле, %

$$\Delta = \frac{\sqrt{2n_p^2 n_c + 1000}}{n_p n_c}, \quad (1.4)$$

где n_p - количество режимов, рассчитываемых для суточного графика;

n_c - количество суток, за которые рассчитывают режимы (только зимние - $n_c = 1$; зимние и летние - $n_c = 2$).

5. При определении потерь электроэнергии по формуле (2.11) в случае, если $\Delta P_{\text{н макс}}$ получено из расчета режима сети, среднеквадратичная погрешность принимается равной 7,6%.

6. При определении потерь по формулам (2.14), (2.15), (2.18) - (2.20) среднеквадратичные погрешности определяют по формуле

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{\Gamma}^2 + \Delta_{\text{ЭК}}^2}, \quad (1.5)$$

где Δ_{Γ} - среднеквадратичная погрешность, обусловленная методическими и информационными погрешностями режима головного участка;

$\Delta_{\text{эк}}$ - среднеквадратичная погрешность эквивалентирования сети, численно равная погрешности, обусловленной неопределенностью распределения нагрузки головного участка между распределительными трансформаторами [5].

Значение Δ_{Γ} принимают в соответствии со следующими данными:

Формула	(2.14)	(2.15)	(2.18)	(2.19)	(2.20)
Погрешность	5	16,5	7,5	7,5	10,5

Значение $\Delta_{\text{эк}}$ определяется программами РАП-35-150, РАП-6-20 и РПОТ-РС в зависимости от конфигурации и параметров эквивалентированной сети, а также среднеквадратичной погрешности нагрузок распределительных трансформаторов Δ_h . При определении расчетных интервалов потерь с помощью ручного счета используют формулы [5]:

$$\Delta_{\text{эк}}^{\text{л}} = \Delta_h \sqrt{\frac{(n_{\text{м}} - 1)(2n_{\text{м}} - 1)}{(n_{\text{м}} + 1)(2n_{\text{м}} + 1)n_{\text{т}}}}; \quad (1.6)$$

$$\Delta_{\text{эк}}^{\text{т}} = 1,5 \frac{\Delta_h^2 \sqrt{n_{\text{т}} - 1}}{n_{\text{т}} + (n_{\text{т}} - 1)\Delta_h}, \quad (1.7)$$

где $n_{\text{м}}$ и $n_{\text{т}}$ - число участков магистрали и трансформаторов соответственно.

7.

Вопросы для собеседования:

1. Каким образом связаны расчетные активная и реактивная мощности?
2. В каком случае необходимо провести корректировку расчетной активной мощности?

Практическое занятие №8.

Использование статистических методов среднеквадратичные погрешности

Цель работы: Изучить использование статистических методов среднеквадратичные погрешности.

Актуальность темы:

Заключается в необходимости приобретения навыков по расчету тока короткого замыкания прямой последовательности

При использовании статистических методов среднеквадратичные погрешности определяются программным путем как остаточные среднеквадратичные отклонения регрессионных зависимостей.

8. Среднеквадратичную погрешность в потерях холостого хода, определяемых суммированием значений (2.24), рассчитанных для каждого трансформатора (реактора), определяют по формуле

$$\Delta = 2 / \sqrt{K}, \quad (1.8)$$

где K - число трансформаторов и реакторов.

9. Среднеквадратичные погрешности в потерях на корону определяют по формуле

$$\Delta = \sqrt{\sum_{i=1}^k \Delta_i^2 d_i^2}, \quad (1.9)$$

где Δ_i - погрешность расчета потерь в i -й линии, принимаемая равной 10% при расчете потерь по [7], 20% - при расчете потерь по данным табл. п. 2.11 и 30% - при расчете потерь по данным табл. 7.7 [8];

d_i - доля потерь на корону в i -й линии в суммарных потерях на корону по K линиям.

10. Среднеквадратичные погрешности в других составляющих потерь принимают равными, %:

в статических конденсаторах - 8;

в синхронных компенсаторах - 10;

в генераторах, переведенных в режим СК, при использовании формул:

(2.29) - 5;

(2.30) - 10.

11. Среднеквадратичные погрешности потерь в измерительных трансформаторах и электросчетчиках определяют по формуле

$$\Delta = 20 / \sqrt{K}, \quad (1.10)$$

где K - число элементов каждого типа.

12. Среднеквадратичную погрешность в суммарных потерях электроэнергии в K линиях 0,38 кВ определяют по формуле

$$\Delta = \Delta_{\text{л}} / \sqrt{K}, \quad (1.11)$$

где $\Delta_{\text{л}} = 25$ при определении $K_{\text{нер}}$ по (2.22) и $\Delta_{\text{л}} = 30$ при определении $K_{\text{нер}}$ по данным, приведенным в п. 2.9.

13. Расчетный интервал суммарных потерь по известным интервалам их составляющих определяют по формулам:

$$\begin{aligned} \Delta W_{\text{мин}\Sigma} &= \Delta W_{p\Sigma} (1 - 2\Delta_{\Sigma}); \\ \Delta W_{\text{макс}\Sigma} &= \Delta W_{p\Sigma} (1 + 2\Delta_{\Sigma}), \end{aligned} \quad (1.12)$$

где $\Delta W_{p\Sigma}$ - сумма расчетных значений составляющих потерь;
 Δ_Σ - среднеквадратичное отклонение суммарных потерь, определяемое по формуле

$$\Delta_\Sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^k (\Delta W_{\max i} - \Delta W_{\min})^2}}{4\Delta W_{p\Sigma}}, \quad (1.13)$$

где K - число суммируемых составляющих потерь.

Формулы (П1.12) и (П1.13) используются при любом суммировании потерь, как по составляющим, так и по подразделениям и сетям различного назначения.

14. При выполнении перспективных расчетов значение среднеквадратичного отклонения потерь электроэнергии следует увеличивать в два раза по сравнению со значениями, приведенными в данном приложении для ретроспективных расчетов.

Вопросы для собеседования:

1. Каким образом связаны расчетные активная и реактивная мощности?
2. В каком случае необходимо провести корректировку расчетной активной мощности?

Практическое занятие №9.

Рекомендуемые программы расчета и анализа потерь электроэнергии

Цель работы: Изучить рекомендуемые программы расчета и анализа потерь электроэнергии.

Актуальность темы:

Заключается в необходимости приобретения навыков по программному расчету

С помощью программы осуществляются оперативные ежечасные расчеты потерь мощности в сети по данным о нагрузках узлов, получаемым с помощью телеизмерений. Данные о нагрузках узлов, не оснащенных аппаратурой телеизмерения, программа формирует сама на основании предварительно определенной регрессионной зависимости между суммарной нагрузкой района и нагрузками отдельных узлов.

Схема сети для каждого расчета формируется по данным аппаратуры телесигнализации. Каждый расчет производится по полной схеме сети.

Максимальный объем исходной схемы сети: 230 узлов, 300 ветвей. Продолжительность расчета 24 режимов сети предельного объема на ЕС-1040 - 1 ч.

1.2. Программа ПЛАН-2, разработчик - ВЦ Главтехуправления

На основании предварительного расчета серии режимов с помощью программы определяется зависимость потерь мощности в сети от нагрузок узлов. Зависимость аналитическая с использованием производных от потерь мощности по нагрузкам узлов. Потери мощности в любом другом режиме работы сети определяются по полученной зависимости, минуя расчет рабочего режима [12].

Для расчетов необходимы данные о схеме сети и о нагрузках узлов во всех рассматриваемых режимах.

Максимальный объем сети: 600 узлов, 900 ветвей. Продолжительность расчета на ЕС-1033 одного режима сети предельного объема - 1 мин.

1.3. Программа РПБ, разработчик - Уралтехэнерго

На основании предварительного расчета серии рабочих режимов с помощью программы определяется зависимость потерь мощности в сети от нагрузок узлов, оснащенных аппаратурой телеизмерения и имеющих наиболее нестабильный характер (число таких узлов $m \leq 25$). Указанная зависимость использует $3m^2 + m$ коэффициентов, получивших название В-коэффициентов [5].

Потери мощности в любом режиме работы сети определяются с использованием указанной зависимости.

Максимальный объем исходной схемы сети: 700 узлов, 800 ветвей. Продолжительность расчета В-коэффициентов на ЕС-1022 по предварительно рассчитанной серии рабочих режимов - около 15 мин. Расчет

потерь мощности по полученной зависимости занимает не более 5 с.1.4.
Программа ИДК-2, разработчик - Ставропольский политехнический институт

На основании предварительного расчета серии рабочих режимов сети (не менее 30 режимов) с помощью программы определяются регрессионные зависимости потерь мощности и электроэнергии от основных влияющих факторов. В качестве факторов используются: на уровне РЭУ - нагрузки ПЭС и межсистемные перетоки; на уровне ПЭС - суммарная нагрузка ПЭС и перетоки мощности между ПЭС.

Определение потерь мощности и электроэнергии с использованием полученной зависимости может выполняться на мини-ЭВМ, куда поступают данные телеизмерений используемых факторов.

Максимальный объем исходной сети определяется с помощью программы расчета рабочего режима сети.

Продолжительность расчета коэффициентов регрессионной зависимости не превышает 1 мин. Расчет потерь мощности по полученной зависимости занимает не более 1 с.

Программы поэлементных расчетов, разработчики - Латвглавэнерго,
Иркутскэнерго

Программы позволяют выполнять расчет нагрузочных потерь по формуле (2.1) во всех элементах сети, данные о нагрузке которых поступают от аппаратуры телеизмерения. Продолжительность расчета измеряется секундами, описание программ Латвглавэнерго приведено в [15].

**ЗАМКНУТЫЕ СЕТИ 110 кВ И ВЫШЕ, НЕ УЧАСТВУЮЩИЕ
В ОБМЕНЕ МОЩНОСТЬЮ**

Программа РПОТ-ПС, разработчик - Уралтехэнерго

С помощью программы определяются годовые потери электроэнергии и их структура в сети на основе расчета серии рабочих режимов. Рабочие режимы рассчитываются по графикам нагрузки узлов, полученным в дни контрольных измерений и приведенным к среднемесячным суточным

графикам по известному потреблению электроэнергии за месяц в каждом узле.

Для определения продолжительности периодов, на которые распространяются суточные потери электроэнергии, определенные за дни контрольных измерений, используются значения ежемесячного потребления электроэнергии в энергосистеме. На начальный период года, среднемесячное потребление энергии в котором превышает среднегодовое, распространяют суточные потери, определенные за контрольный день декабря прошлого года. На период середины года, потребление энергии в котором ниже среднегодового, распространяют суточные потери, определенные за контрольный день июня расчетного года. На период конца года распространяют суточные потери, определенные за контрольный день декабря расчетного года.

Максимальный объем исходной схемы сети: 564 узла, 775 ветвей, число нагрузочных и генерирующих узлов - не более 423.

Продолжительность расчета на ЕС-1033 сети предельного объема - около 1 ч.

.Программа РАП-ОС, разработчик - ВНИИЭ

Годовые потери электроэнергии определяются на основании расчета серии рабочих режимов за дни контрольных измерений. Суточные потери электроэнергии приводятся к годовым с помощью эквивалентного числа дней, определяемого различными способами. Возможен расчет и с помощью т.

Программа РАП-ОС является частью программы согласованного выбора компенсирующих устройств в сетях энергосистем и потребителей (типа КРМ). Расчеты рабочих режимов производятся с помощью программ Б-6, Б-2 разработки ВЦ Главтехуправления, которые используются в качестве внутренних блоков программы РАП-ОС.

Максимальный объем исходной схемы сети: 600 узлов, 900 ветвей. Продолжительность расчета годовых потерь электроэнергии для сети предельного объема на ЕС-1033 не более 40 мин.3. Программа РАП-ЗЭС, разработчик - ВНИИЭ

Годовые потери электроэнергии в зависимости от исходных данных определяются на основании расчета серии рабочих режимов, продолжительность которых в течение года задается по числу часов максимальных потерь, по эквивалентному числу дней потерь. Особенностью программы является возможность сокращения объема сети до желаемого. При этом могут быть указаны узлы и ветви, которые должны остаться в первоначальном виде.

Расчеты рабочих режимов производятся с помощью программ Б-6, Б-2, которые используются в качестве внутренних блоков программы РАП-ЗЭС.

Параметры эквивалентной схемы рассчитываются по результатам расчета режима максимальных нагрузок. При необходимости для режима минимальных нагрузок может быть рассчитана своя эквивалентная схема. Для расчета параметров эквивалентной схемы нужны данные о нагрузках всех узлов и суммарной нагрузке сети. При отсутствии данные о нагрузках части узлов восстанавливаются программой на основании суммарной нагрузки сети [13].

Максимальный объем исходной схемы сети: 2000 узлов, 3000 ветвей; эквивалентной: 600 узлов, 800 ветвей.

Продолжительность расчета эквивалентной схемы на ЕС-1033 по предварительно рассчитанному рабочему режиму - около 5 мин для исходной схемы, имеющей 600 узлов. Продолжительность расчета потерь мощности в одном режиме - не более 20 мин.

. Программа РАУ, разработчик - Белорусское отделение Энергосетьпроекта

Потери электроэнергии в сети определяются на основании расчетов трех режимов сети: при средних нагрузках узлов, определяемых по известному потреблению энергии в каждом из узлов, при максимальных и минимальных нагрузках. В результате расчетов для каждой ветви сети определяются три значения потока мощности. Потери электроэнергии в каждой ветви определяются по формуле (2.10). Коэффициент формы графика определяется из отношения полученных значений потоков мощности [5].

Максимальный объем исходной схемы сети: 600 узлов, 900 ветвей. Продолжительность расчета сети предельного объема на ЕС-1033 - около 10 мин.

2.5. Программа РП, разработчик - Средазтехэнерго

Программа позволяет производить расчет годовых потерь электроэнергии в сети методом, аналогичным методу, реализованному в программе РАП-ОС. Отличием от последней является способ определения эквивалентного числа дней наибольших потерь, которое определяется по формуле (2.4).

2.6. Программа ИДК-1, разработчик - Ставропольский политехнический институт

Алгоритм расчета потерь электроэнергии близок к использованному в программе РПОТ-ПС. В программе использован метод расчета, обладающий повышенной надежностью получения результатов. Предусмотрено автоматическое формирование графиков нагрузки на основе сбалансированных режимов, объединение элементов сети в группы для корректировки графиков, структурного анализа потерь и т.п.

Максимальный объем исходной схемы сети: 1000 узлов, 1500 ветвей. Продолжительность расчета для сети предельного объема на ЕС-1033 - не более 1 ч.

3. РАЗОМКНУТЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-150 кВ

3.1. Программа РПОТ-РС, разработчик - Уралтехэнерго

Для расчета потерь электроэнергии в линии 6-150 кВ в программе используются данные о схеме сети и ее параметрах, суточные графики тока и напряжения на головном участке, снятые в дни контрольных измерений, значения электроэнергии, переданной по головному участку за расчетный период, нагрузки распределительных трансформаторов (РТ). Расчет режимов работы сети и потерь электроэнергии может выполняться при разных видах исходной информации о нагрузках РТ. При отсутствии данных о нагрузках РТ их определяют путем распределения нагрузки головного участка пропорционально номинальным мощностям РТ.

Программа позволяет выполнять расчет установившегося режима сети, потерь электроэнергии в каждой распределительной линии с указанием их минимально и максимально возможных значений, производит оптимизацию точек размыкания распределительной сети по минимуму потерь электроэнергии в сети, расчет эквивалентных сопротивлений линий по группам.

Программа позволяет получать структуру потерь электроэнергии по распределительной линии, по подстанции, району (РЭС) и предприятию электрических сетей (ПЭС) в целом.

Предельный объем решаемой задачи для одного ПЭС - 540 фидеров, 2000 ветвей в одном районе, 200 ветвей в схеме замещения одного фидера, 100 оптимизируемых точек размыкания.

3.2. Программа РАН 35-150, разработчик - ВНИИЭ

Для расчета потерь электроэнергии в линии 35-150 кВ в программе используются данные о схеме сети и ее параметрах и о нагрузках сети в виде токовых нагрузок подстанций 35-150 кВ, 6-20 кВ в максимальном режиме, значения электроэнергии, переданной через каждую подстанцию, максимального тока головного участка, электроэнергии, переданной в сеть и т.п. Для любого сочетания исходных данных программа определяет три значения: расчетное, максимально и минимально возможные значения потерь при данной информации. Эти значения определяются для всех структурных составляющих потерь.

3.3. Программа РАП 6-20, разработчик - ВНИИЭ

Программа состоит из двух рабочих подпрограмм (ГИП и РВС), двух вспомогательных подпрограмм, позволяющих производить контроль правильности заполнения исходной информации для указанных рабочих подпрограмм, и подпрограммы СПС, предназначенной для оформления сводных результатов по ПЭС и энергосистеме в целом.

Подпрограмма ГИП позволяет определять расчетные максимальные и минимальные возможные значения всех структурных составляющих потерь электроэнергии для следующих случаев:

каждая линия 6-20 кВ, отходящая от центра питания, представляется эквивалентным сопротивлением, предварительно определенным по схеме сети с помощью подпрограммы РВС;

эквивалентное сопротивление линии определяется по регрессионной зависимости, заложенной в подпрограмме ГИП. В последнем случае о каждой линии требуются лишь обобщенные данные: сопротивление головного участка; сечение провода участка, следующего за головным; суммарные длины участков линий, входящих в магистраль, и ответвлений (отдельно со стальными и алюминиевыми проводами).

3.4. Программа РСА, разработчик - Белорусское отделение Энергосетьпроект

Программа позволяет производить расчет потерь электроэнергии и их составляющих в разомкнутых сетях на основании регрессионных зависимостей без расчета режимов конкретных схем. Требуемая информация: суммарная длина линий, суммарная установленная мощность трансформаторов и число линий по каждому классу напряжения, структура потоков энергии между подразделениями.

3.5. Программа ПОТЕРИ-ЕС, разработчик - Украинское отделение Сельэнергопроект

Расчет потерь электроэнергии производится на основании известной схемы сети и ее параметров, а также типовых графиков нагрузки в ее узлах. Используется для расчета потерь электроэнергии и их структуры в сетях сельскохозяйственного назначения. Более подробные сведения приведены в [14].

3.6. Программа ИДК-3, разработчик - Ставропольский политехнический институт

Расчет потерь электроэнергии производится по алгоритму, близкому к алгоритму программы РПОТ-РС. Отличием является возможность построения эквивалентов для группы линий 6-35 кВ РЭС или ПЭС. Сервисные программы обеспечивают вывод результатов в табличной форме, содержащей информацию о потерях за каждый квартал и за год в целом.

3.7. Программа ДЕЛЬТА-РС, разработчик - Белорусский политехнический институт

Программа предназначена для расчета потерь электроэнергии и их составляющих в совокупности линии 6-20 кВ с оценкой погрешности полученных результатов. Расчет потерь во всех линиях совокупности производится на базе статистических зависимостей, полученных на основе анализа схем выборки линий (20-30% общего количества). Статистические зависимости включают в себя следующие обобщенные параметры: суммарную протяженность и число линий, установленную мощность и количество трансформаторов, отпуск электроэнергии в сеть, среднее напряжение в центрах питания и коэффициент реактивной мощности.

В зависимости от полноты и достоверности имеющейся информации программа использует один из 16 заложенных в ней вариантов расчета.

4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ 0,38 кВ

4.1. Программа РАП 0,38, разработчик - ВНИИЭ

С помощью программы определяются расчетные, минимально и максимально возможные значения потерь электроэнергии. Ширина интервала возможных потерь определяется полнотой и достоверностью информации о нагрузке головного участка сети и способом учета ее схемы.

Предусмотрены два метода расчета:

по схеме конкретной линии. В этом случае программа, кроме потерь электроэнергии, выводит на печать информацию о перегруженных линиях, рекомендуемых заменах проводов и их эффективности;

по обобщенным параметрам линий (суммарной их длине, количеству ответвлений и т. п.). В этом случае возможен расчет потерь как в каждой отдельной линии, так и в их совокупности (по суммарным обобщенным показателям).

Вопросы для собеседования:

1. Каким образом связаны расчетные активная и реактивная мощности?
2. В каком случае необходимо провести корректировку расчетной активной мощности?

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

8.1. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

8.1.1. Перечень основной литературы:

1. Гужов Н. П. , Ольховский В. Я. , Павлюченко Д. А. Системы электроснабжения: учебник/ Гужов Н. П. , Ольховский В. Я. , Павлюченко Д. А. Новосибирск: НГТУ, 2015.– 262 с. Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=438343

8.1.2. Перечень дополнительной литературы:

1. Рекус Г.Г. Электрооборудование производств. Справочное пособие. – М.: Ди-рект-Медиа, 2014.- 710 с. Режим доступа:
http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=229238

8.2. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические рекомендации для подготовки к практическим занятиям.
2. Методические рекомендации для выполнения контрольной работы.
3. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов.

8.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания
по выполнению контрольной работы
по дисциплине «ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2026 г.

№ п/п	Содержание	Стр.
	Введение	
1.	Цель и задачи изучения дисциплины	
2.	Оборудование и материалы	
3.	Наименование контрольных работ	
4.	Список контрольных работ	
5.1	Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины	

Введение

Контрольная работа создаёт оптимальные дидактические условия для деятельностного освоения студентами содержания и методологии изучаемой дисциплины «Энергосбережение в системах электроснабжения». Контрольные работы проводятся с целью выработки практических умений и приобретения навыков в решении задач, отработки упражнений, выполнении чертежей, производстве расчётов и т.п.

Целью контрольных работ является формирование практических умений – профессиональных (выполнять определённые действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных, необходимых в последующей учебной деятельности по общепрофессиональным и профессиональным дисциплинам.

Библиографический список содержит сведения о справочной литературе и дополнительных изданиях, необходимых для углубленного изучения отдельных вопросов.

1. Цель и задачи изучения дисциплины

Целью дисциплины является получение необходимых знаний в области расчета, анализа и нормирования потерь мощности и электроэнергии и мероприятий по их снижению.

Задачи изучения дисциплины:

- определять величины расчетных нагрузок,
- проектировать систему технического обслуживания и ремонта энергетических объектов;
- рассчитывать параметры режима сети и определением показателей качества электроэнергии в ее расчетных узлах.

"ПОТЕРИ МОЩНОСТИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ"

ЗАДАЧА № 1

Задан вариант линии электропередачи (табл. 1) и годовые графики активной и полной нагрузки по продолжительности (табл. 2). Построить годовой график нагрузки по продолжительности и определить величину нагрузочных потерь электрической энергии следующими методами:

- 1) методом графического интегрирования (по заданному графику нагрузки);
- 2) методом среднеквадратичной мощности (тока);
- 3) методом времени наибольших потерь;

Среднеквадратичную мощность и время наибольших потерь вычислить двумя способами:

- 1) на основе годового графика нагрузки по продолжительности;
- 2) приближенным способом, через понятие времени использования наибольшей нагрузки.

Вычислить различия в потерях энергии (в процентах) по различным методам, приняв за эталонный метод графического интегрирования.

Результаты расчетов свести в таблицу 3.

Таблица 1

Параметры линий электропередачи

Номер варианта	Номинальное напряжение, кВ	Марка провода АС	Длина линии, км	Наибольшая передаваемая мощность, МВт
1	35	70/11	10	3
2	35	95/16	10	4
3	35	95/16	15	5
4	35	120/19	20	7
5	35	120/19	30	6
6	35	150/24	25	9
7	110	70/11	30	15
8	110	95/16	40	12
9	110	95/16	35	20
10	110	120/19	40	25
11	110	120/19	20	40
12	110	150/24	45	30
13	110	185/29	50	35
14	110	240/32	55	40
15	220	240/32	150	100
16	220	240/32	190	80
17	220	300/39	170	120
18	220	400/51	190	140
19	220	500/64	200	160
20	220	500/64	180	190

Количество параллельных линий принять равным 1, 2 или 3 по согласованию с преподавателем.

Таблица 2

Характеристика годового графика нагрузки по продолжительности

Номера ступеней графика нагрузки	1	2	3	4
Величина нагрузки в долях от наибольшей передаваемой активной мощности	1,0	0,8	0,6	0,4
Длительность ступеней, час	1000	2000	3000	2760
Коэффициент мощности	0,9	0,85	0,82	0,79

Таблица 3

Результаты расчета потерь электроэнергии в линии

Метод		Потери энергии, МВт·ч	Потери энергии в процентах от передаваемой энергии	Погрешность расчета, %
Графического интегрирования				
Среднеквадратичной мощности	Способ 1			
	Способ 2			
Времени наибольших потерь	Способ 1			
	Способ 2			

ЗАДАЧА № 2

1. Для заданного варианта трансформатора (трансформаторов) (табл. 4) и годового графика нагрузки по продолжительности (табл. 2) определить годовые потери электроэнергии холостого хода и нагрузочные потери. Расчеты нагрузочных потерь энергии выполнить:

а) методом графического интегрирования (по заданному графику нагрузки);

б) метод времени наибольших потерь по заданному годовому графику нагрузки по продолжительности.

2. Вычислить потери энергии холостого хода и нагрузочные в процентах от суммарных потерь. Результаты расчетов свести в таблицу 5.

3. Определить потери реактивной мощности холостого хода и нагрузочные потери реактивной мощности.

Таблица 4

Данные по трансформаторам

Номер варианта	Тип трансформатора	Номинальная мощность, МВ·А	Наибольшая передаваемая мощность, МВт
1	ТМ – 100/10	0,1	0,08
2	ТМ – 250/10	0,25	0,2
3	ТМ – 400/10	0,4	0,35
4	ТМН – 1000/35	1,0	0,8
5	ТМН – 2500/35	2,5	2,0
6	ТМН – 4000/35	4,0	3,8
7	ТМН – 4000/35	4,0	2,3
8	ТДН – 10000/35	10,0	9,0
9	ТМН – 63000/110	6,3	5,7

10	ТДН – 10000/110	10,0	9,2
11	ТДН – 16000/110	16,0	15,0
12	ТДН – 16000/110	16,0	12,0
13	ТРДН – 25000/110	25,0	23,0
14	ТРДН – 40000/110	40,0	36,0
15	ТДТН – 40000/110	40,0	37,0
16	ТРДН – 40000/220	40,0	35,0
17	ТРДЦН – 63000/220	63,0	60,0
18	ТДТН – 25000/220	25,0	22,0
19	ТДТН – 40000/220	40,0	38,0
20	ТДТН – 40000/220	40,0	34,0

Количество трансформаторов на подстанции можно принять равным 1, 2.

Таблица 5

Результаты расчетов потерь электроэнергии в трансформаторах

Метод	Потери электроэнергии, МВт·ч			Потери электроэнергии в процентах от суммарных потерь	
	Холостого хода	Нагрузочные	Суммарные	Холостого хода	Нагрузочные
Графическое интегрирование					
Времени наибольших потерь					

Контрольные вопросы:

1. Что понимается под временем использования наибольшей полной, активной и реактивной мощностей?
2. Что понимается под временем наибольших потерь полной, активной и реактивной мощностей?
3. Как определить среднеквадратичные ток и мощность?
4. Какова физическая природа потерь активной и реактивной мощности в линиях и трансформаторах?
5. Как определить КПД линии электропередачи?
6. Будут ли иметь место потери реактивной мощности в линии при передаче по ней только активной мощности? Почему?
7. Будут ли иметь место потери активной мощности при передаче по ней только реактивной мощности? Почему?
8. Будут ли в линии электропередачи потери активной мощности, если она включена с одной стороны, а с другой стороны - разомкнута? Почему?
9. Каково может быть наибольшее значение времени использования наибольшей нагрузки и наибольшее значение времени потерь?
10. От чего зависит соотношение нагрузочных потерь активной и реактивной мощностей в линиях электропередачи?

11. Как изменятся потери активной мощности при неизменной нагрузке потребителя, если к питающему ее трансформатору подключить параллельно второй трансформатор с такими же параметрами?

. Перечень дополнительной литературы:

1. Рекус Г.Г. Электрооборудование производств. Справочное пособие. – М.: Ди-рект-Медиа, 2014.- 710 с. Режим доступа:

http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=229238

8.2. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Методические рекомендации для подготовки к практическим занятиям.
2. Методические рекомендации для выполнения контрольной работы.
3. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов.

8.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания
по организации самостоятельной работы обучающихся
по дисциплине «ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ»
для студентов направления подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Пятигорск 2026 г.

Содержание

Введение

- 1 Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ»
- 2 План-график выполнения самостоятельной работы
- 3 Контрольные точки и виды отчетности по ним
- 4 Методические рекомендации по изучению теоретического материала
- 5 Список рекомендуемой литературы.

Введение

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Общая характеристика самостоятельной работы обучающегося при изучении дисциплины «Энергосбережение в системах электроснабжения»

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в ВУЗе является важным видом учебной и научной деятельности студента. Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. В связи с этим, обучение в ВУЗе включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРС должна стать эффективной и целенаправленной работой студента.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента – подготовкой специалиста и бакалавра с высшим образованием. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для приобретения знаний, навыков и возможности организации учебной и научной деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. В соответствии с рабочей программой дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы студента:

- самостоятельное изучение литературы;
- самостоятельное решение задач.

Цель самостоятельного изучения литературы – самостоятельное овладение знаниями, опытом исследовательской деятельности.

Задачами самостоятельного изучения литературы являются:

- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов.

Цель самостоятельного решения задач - овладение профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю будущей деятельности.

Задачами самостоятельного решения задач являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Целью самостоятельного выполнения контрольной работы по дисциплине является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности.

Задачами данного вида самостоятельной работы студента являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании контрольной работы.

В результате освоения дисциплины формируются следующий перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы:

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1 Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения	ИД-ЗПК-1 Обосновывает выбор параметров электрооборудования систем электроснабжения, учитывая технические ограничения	Знает основные критерии оценки эффективности энергоснабжения и потребления энергетических ресурсов; методы снижения потерь электроэнергии при установившемся режиме электроснабжения Умеет определять удельные показатели нормирования энергопотребления Владеет навыками проведения энергетических обследований.

План-график выполнения самостоятельной работы

Коды реализуемых компетенций, индикатора(ов)	Вид деятельности студентов	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе		
			СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
7 семестр ОФО					
ПК-1 ИД-1ПК-1	Самостоятельное изучение литературы по темам №1-9	Собеседование	43,11	4,79	47,9
	Подготовка к лекциям	Собеседование	3,24	0,36	3,6
	Подготовка к практическим занятиям	Собеседование	6,48	0,72	7,2
	Выполнение контрольной работы	Собеседование	11,97	1,33	13,3
Итого за 7 семестр:			64,8	7,2	72
Итого:			64,8	7,2	72
7 семестр ЗФО					
ПК-1 ИД-1ПК-1	Самостоятельное изучение литературы по темам №1-9	Собеседование	95,4	10,6	106
	Подготовка к лекциям	Собеседование	7,2	0,8	8
	Подготовка к практическим занятиям	Собеседование	13,5	1,5	15
	Выполнение контрольной работы	Собеседование	27	3	30
Итого за 7 семестр:			143,1	15,9	159

Контрольные точки и виды отчетности по ним

№ п/п	Вид деятельности студентов	Сроки выполнения	Количество баллов
7 семестр			
1.	Практическое занятие № 2	6 неделя	25
2.	Практическое занятие № 5	10 неделя	15
3.	Практическое занятие № 8	16 неделя	15
	Итого за 7 семестр		55

Максимально возможный балл за весь текущий контроль Максимально возможный балл за весь текущий контроль устанавливается равным 55. Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80
Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

Методические рекомендации по изучению теоретического материала

Самостоятельная работа студента начинается с внимательного ознакомления с содержанием учебного курса.

Изучение каждой темы следует начинать с внимательного ознакомления с набором вопросов. Они ориентируют студента, показывают, что он должен знать по данной теме. Вопросы темы как бы накладываются на соответствующую главу избранного учебника или учебного пособия. В итоге должно быть ясным, какие вопросы темы учебного курса и с какой глубиной раскрыты в конкретном учебном материале, а какие вообще опущены. Требуется творческое отношение и к самому содержанию дисциплины.

Вопросы, составляющие ее содержание, обладают разной степенью важности. Есть вопросы, выполняющие функцию логической связки содержания темы и всего курса, имеются вопросы описательного или разъяснительного характера, а также исторического экскурса в область изучаемой дисциплины. Все эти вопросы не составляют сути понятийного, концептуального содержания темы, но необходимы для целостного восприятия изучаемых проблем.

Изучаемая дисциплина имеет свой категориально-понятийный аппарат. Научные понятия — это та база, на которой строится каждая наука. Понятия — узловые, опорные пункты как научного, так и учебного познания, логические ступени движения в учебе от простого к сложному, от явления к сущности. Без ясного понимания понятий учеба крайне затрудняется, а содержание приобретенных знаний становится тусклым, расплывчатым.

Студент должен понимать, что самостоятельное овладение знаниями является главным, определяющим. Высшая школа создает для этого необходимые условия, помогает будущему высококвалифицированному специалисту овладеть технологией самостоятельного производства знаний.

В самостоятельной работе студентам приходится использовать литературу различных видов: первоисточники, монографии, научные сборники, хрестоматии, учебники, учебные пособия, журналы и др. Изучение курса предполагает знакомство студентов с большим объемом научной и учебной литературы, что, в свою очередь, порождает необходимость выработки у них рационально-критического подхода к изучаемым источникам.

Чтобы не «утонуть» в огромном объеме рекомендованных ему для изучения источников, студент, прежде всего, должен научиться правильно их читать. Правильное чтение рекомендованных источников предполагает следование нескольким несложным, но весьма полезным правилам.

Предварительный просмотр книги включает ознакомление с титульным листом книги, аннотацией, предисловием, оглавлением. При ознакомлении с оглавлением необходимо выделить разделы, главы, параграфы, представляющие для вас интерес, бегло их просмотреть, найти места, относящиеся к теме (абзацы, страницы, параграфы), и познакомиться с ними в общих чертах.

Научные издания сопровождаются различными вспомогательными материалами — научным аппаратом, поэтому важно знать, из каких основных элементов он состоит, каковы его функции.

Знакомство с книгой лучше всего начинать с изучения аннотации — краткой характеристики книги, раскрывающей ее содержание, идейную, тематическую и жанровую направленность, сведения об авторе, назначение и другие особенности. Аннотация помогает составить предварительное мнение о книге.

Глубже понять содержание книги позволяют вступительная статья, в которой дается оценка содержания книги, затрагиваемой в ней проблематики, содержится информация о жизненной и творческой биографии автора, высказываются полемические замечания, разъясняются отдельные положения книги, даются комментарии и т.д. Вот почему знакомство с вступительной статьей представляется очень важным: оно помогает студенту сориентироваться в тексте работы, обратить внимание на ее наиболее ценные и важные разделы.

Той же цели содействует знакомство с оглавлением, предисловием, послесловием. Весьма полезными элементами научного аппарата являются сноски, комментарии, таблицы, графики, списки литературы. Они не только иллюстрируют отдельные положения книги или статьи, но и сами по себе являются дополнительным источником информации для читателя.

Если читателя заинтересовала какая-то высказанная автором мысль, не нашедшая подробного освещения в данном источнике, он может обратиться к тексту источника, упоминаемого в сноске, либо к источнику, который он может найти в списке литературы, рекомендованной автором для самостоятельного изучения.

Существует несколько форм ведения записей:

— план (простой и развернутый) — наиболее краткая форма записи прочитанного, представляющая собой перечень вопросов, рассматриваемых в книге или статье. Развернутый план представляет собой более подробную запись прочитанного, с детализацией отдельных положений и выводов, с выпиской цитат, статистических данных и т.д. Развернутый план — неоценимый помощник при выступлении с докладом на конкретную тему на семинаре, конференции;

— тезисы — кратко сформулированные положения, основные положения книги, статьи. Как правило, тезисы составляются после предварительного знакомства с текстом источника, при его повторном прочтении. Они помогают запомнить и систематизировать информацию.

Составление конспектов

Большую роль в усвоении и повторении пройденного материала играет хороший конспект, содержащий основные идеи прочитанного в учебнике и услышанного в лекции. Конспект — это, по существу, набросок, развернутый план связного рассказа по основным вопросам темы.

В какой-то мере конспект рассчитан (в зависимости от индивидуальных особенностей студента) не только на интеллектуальную и эмоциональную, но и на зрительную память, причем текст конспекта нередко ассоциируется еще и с текстом учебника или записью лекции. Поэтому легче запоминается содержание конспектов, написанных разборчиво, с подчеркиванием или выделением разрядкой ключевых слов и фраз.

Самостоятельно изученные темы предоставляются преподавателю в форме конспекта, по которому происходит собеседование. Теоретические темы курса (отдельные вопросы), выносимые на самостоятельное изучение, представлены ниже.

Список рекомендуемой литературы

Перечень основной литературы:

1. Гужов Н. П. , Ольховский В. Я. , Павлюченко Д. А. Системы электроснабжения: учебник/ Гужов Н. П. , Ольховский В. Я. , Павлюченко Д. А. Новосибирск: НГТУ, 2015.– 262 с. Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=438343

Перечень дополнительной литературы:

1. Рекус Г.Г. Электрооборудование производств. Справочное пособие. – М.: Ди-рект-Медиа, 2014.- 710 с. Режим доступа:
http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=229238

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. <http://www.biblioclub.ru> -ЭБС "Университетская библиотека онлайн"
2. <http://www.iprbookshop.ru/> - Электронно- библиотечная система IPRbooks
3. <http://elibrary.ru>.