

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухов Татьяна Александровна

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

Дата подписания: 12.09.2023 16:47:34

Уникальный программный ключ:

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

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

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Приемники и потребители электроэнергии в системах
электрообеспечения»

для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и
электротехника Передача и распределение электрической энергии в системах
электрообеспечения

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

Оглавление

Введение

Лабораторная работа №1. Выбор параметров основного электрооборудования и нагрузочная способность.

Лабораторная работа №2. Регулирование напряжения в системе электроснабжения промышленного предприятия и компенсация реактивной мощности.

Лабораторная работа №3. Изменений напряжения, фликер, несинусоидальность и несимметрия напряжений в распределительных электрических сетях 10-0,4 кВ

Лабораторная работа №4. Регулирование уровней напряжения в промышленных электросетях.

Лабораторная работа №5. Регулирование потерь по электропитанию в промышленных электросетях.

Лабораторная работа №6. Выбор параметров основного электрооборудования и нагрузочная способность.

Введение

Формирование набора общенаучных, профессиональных компетенций будущего бакалавра по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника. Цель дисциплины является

- формирование у студентов систематических знаний по вопросам проектирования и эксплуатации комплексных систем электроснабжения городов и промышленных предприятий.

Реализуемые компетенции	ПК-1 Способен участвовать в проектировании систем электроснабжения объектов
Индикаторы достижения компетенций	ИД-1 _{ПК-1} Выполняет сбор и анализ данных для проектирования систем электроснабжения объектов ИД-2 _{ПК-1} Выбирает типовые проектные решения систем электроснабжения объектов

Ее освоение происходит в 6 семестре.

Определим вводные требования к изучению данной дисциплины. В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Код компетенции ПК-1	Знать: типовые проектные решения систем электроснабжения объектов;
	Уметь: обосновывать выбор параметров электрооборудования систем электроснабжения объектов, учитывая технические ограничения
	Владеть: навыками сбора и анализа данных для проектирования систем электроснабжения объектов.
	Знать: методы и практические приемы расчета электрических нагрузок отдельных элементов и систем электроснабжения в целом

Лабораторная работа №1

Тема занятия Выбор параметров основного электрооборудования и нагрузочная способность.

Цель занятия. Приобрести навыки выполнения расчета электрических нагрузок в электроустановках напряжением выше 1 кВ методом упорядоченных диаграмм.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции. Знает закономерности формирования величины расчетной нагрузки на различных уровнях системы электроснабжения и практические методы ее расчета. Владеет способностью к самоорганизации и самообразованию

Формируемые компетенции: готовностью определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности

Теоретическая часть

1.1. Нагрузочная способность и выбор параметров основного электрооборудования.

1.2. Цель работы

Изучение конструкции лабораторной установки, принципа ее работы и параметров моделируемых элементов СЭПП.

Исследование режима работы моделируемой СЭПП на суточном интервале времени и определение параметров режимов.

1.3. Введение

Основные номинальные параметры моделируемых элементов СЭПП приведены в табл.1. Для трехфазных силовых трансформаторов в практических расчетах используются следующие параметры при замещении трансформатора Г – образной однолинейной эквивалентной схемой:

U_1, U_2 — фазные напряжения, приведенные к одной ступени напряжения;

I_1, I_2 — токи первичной и вторичной обмоток трансформатора;

$I_{xx} = I_a - jI_p$ — ток холостого хода трансформатора;

$X_\mu = \frac{3U_1^2}{Q_{xx}}$ — индуктивная составляющая сопротивления ветви намагничивания;

$r_a = \frac{3U_1^2}{\Delta P_{xx}}$ — активная составляющая сопротивления ветви намагничивания;

$R = \frac{\Delta P_{кз} \cdot 10^3}{3I_H^2} = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_H^2}{S_H^2}$ — активное сопротивление трансформатора, Ом;

$X = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_k \cdot U_H}{100}\right)^2 - (I_H R)^2}}{I_H}$ — индуктивное сопротивление трансформатора, Ом;

$\Delta \dot{S} = 3I_2^2 R - j3I_R^2 X = \Delta P_{кз} \cdot K_3^2 - j\Delta Q_{кз} K_3^2$ — нагрузочные потери в трансформаторе ($K_3 = \frac{I_2}{I_H}$ — коэффициент загрузки), кВт;

$\Delta \dot{U} = \dot{I}_2 R + j\dot{I}_2 X$ - потери напряжения в трансформаторе, В.

Оборудование

Основной особенностью режимов работы СЭПП на длительных циклах времени (сутки, неделя, год) является их изменчивость, что обусловлено изменчивостью электрических нагрузок. Режимы СЭПП характеризуются параметрами двух типов: текущие и интегральные за время T . К текущим параметрам относятся значение токов, напряжений, мощностей в узлах сети, изменяющиеся во времени. К интегральным за время T — средние значения токов, напряжений, мощностей, их дисперсии, потери электроэнергии и др.

На суточных интервалах времени текущие значения параметров режимов СЭПП принято представлять в форме суточных графиков (тока, напряжения, мощности и др.) их осредненных значений на последовательных интервалах θ ($\theta = 30$ или 60 мин).

Интегральные параметры, например, для графика тока

$$I_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i; \quad \sigma_I^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (I_i - I_{cp})^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i^2 - I_{cp}^2 = I_{\sigma}^2 - I_{cp}^2,$$

где n — число интервалов θ в суточном графике тока;

I_{σ} — среднеквадратическое значение графика тока.

Потери электроэнергии в линии с сопротивлением R за время T :

$$\Delta W = 3I_{cp}^2 RT + 3\sigma_I^2 RT = \theta \sum_{i=1}^n 3I_i^2 R.$$

Потери электроэнергии в трансформаторе за время T :

$$\Delta W = \Delta P_{xx} T + \left(\frac{I_{cp}}{I_H} \right)^2 \Delta P_{кз} T + \frac{\sigma_I^2}{I_H^2} \Delta P_{кз} T = \Delta P_{xx} T + \theta \sum_{i=1}^n \left(\frac{I_i}{I_H} \right)^2 \Delta P_{кз}.$$

1.4. (задание)

1.3.1. Изучить конструкцию лабораторной установки. Рассчитать все сопротивления эквивалентной схемы для трансформаторов Т2 и Т4.

1.3.2. Подготовиться к регистрации графиков активных и реактивных нагрузок, заготовить табл.3 в двух экземплярах (для трансформаторов Т2 и Т4).

Таблица 3

Регистрация и расчет текущих параметров режима СЭПП напряжение суточном интервале времени для трансформатора Т2(Т4)

Но- мер часа суток	Показания счетчиков		Графики нагрузки			
	Активного	Реактивного	Ак- тивная	Реак- тивная	Пол ная	То $tg \phi$ к, А

	Показание	Разность	Показание	Разность	мощность, кВт	мощность, кВАр	мощность, кВА		
0									
1									
2									
...									
3									
Среднее значение									
Среднеквадратическое отклонение									

1.3.3. Подготовить установку и самопишущий прибор для регистрации текущих параметров режима работы моделируемой СЭПП на суточном интервале времени; включить трансформатор Т4, обобщенную нагрузку S_1 на шинах 10,5 кВ ГПП, синхронный электродвигатель; отключить трансформатор Т3, конденсаторные батареи БК1, БК2 и БК3, а также силовой фильтр ФКУ; установить РПН трансформатора Т2 и ПБВ трансформатора Т4 в нулевое положение; подготовить к работе самопишущий прибор и подключить его с помощью соединительных проводов к соответствующему трансформатору тока (рис.2) для регистрации графика тока в трансформаторе Т4.

1.3.4. Запустить установку нажатием кнопки «Пуск» и произвести регистрацию графиков активной и реактивной мощностей нагрузок трансформаторов Т2 и Т4 путем считывания и записи в табл.3 (графы 2, 4) показаний соответствующих счетчиков. График тока трансформатора Т4 записать с помощью самопишущего прибора.

Содержание отчета

1.3.5. Произвести расчет графиков активной, реактивной и полной мощностей путем умножения разности показаний счетчиков на соответствующий масштабный коэффициент (табл.2). Рассчитать средние значения и среднеквадратические отклонения графиков нагрузки. Для Т4 значения тока (графа 10) определить расчетным путем или по регистрограмме, разбив ее на 24 равных интервала, измерив среднее значение на каждом интервале линейкой (в миллиметрах и умножив их на соответствующий масштабный коэффициент). Для самоконтроля рекомендуется сопоставить полученные значения тока со значениями, рассчитанными по полной мощности.

1.3.6. Рассчитать потери электроэнергии за сутки в трансформаторах Т2, Т4 и в кабельной линии (в киловатт – часах и в процентах). В величине потерь выделить составляющую, обусловленную неравномерностью графиков нагрузок.

1.3.7. Оформить отчет по лабораторной работе, который должен содержать:

- мнемосхему установки, краткое описание и параметры моделируемых элементов типовой СЭПП, цель работы;
- расчет сопротивлений эквивалентной схемы трансформаторов Т2 и Т4;
- результаты регистрации и расчета графиков нагрузки и их параметров для трансформаторов Т2 и Т4 (табл.3);
- графики нагрузок Т2 и Т4 (активной, реактивной, полной мощности и тока);
- расчет потерь электроэнергии в трансформаторах Т2, Т4 и в кабельной линии, питающей трансформатор Т4;
- оценку (в % к полным потерям) потерь в указанных элементах схемы, обусловленных реактивными нагрузками;
- выводы по полученным результатам работы.

1.5. Подготовка к работе

Самостоятельная подготовка к лабораторной работе должна включать:

- изучение теоретического материала курса ЭСПП по разделу «Режимы электропотребления промышленных предприятий»;
- выполнение п.1.3.1 и 1.3.2 задания.

1.6. Контрольные вопросы

1.5.1. Каковы причины изменчивости параметров режимов работы СЭПП во времени?

- 1.5.2. Какие потери имеются в трансформаторах и от чего они зависят?
1.5.3. Как определяются потери электроэнергии в промышленных электросетях?
1.5.4. Неравномерность режимов электропотребления осложняет и ухудшает работу электроэнергетических систем. Почему?

Список литературы

1. Суворин А.В. Приемники и потребители электрической энергии систем электро-снабжения: учебное пособие / А.В. Суворин. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 354 с. Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=364591
2. Шлейников В. Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия: учебное пособие \ Шлейников В. Б., Сазонова Т.В. Оренбургский гос. Ун-т. – Оренбург ОГУ, 2012 – 110с. Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=270272>
3. Рекус Г.Г. Электрооборудование производств. Справочное пособие. – М.: Директ-Медиа, 2014. – 710 с. Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=229238

Лабораторная работа №2

Тема занятия Регулирование напряжения в системе электроснабжения промышленного предприятия и компенсация реактивной мощности.

Цель занятия. Приобрести навыки выполнения расчета электрических нагрузок в электроустановках напряжением выше 1 кВ методом упорядоченных диаграмм.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции. Знает закономерности формирования величины расчетной нагрузки на различных уровнях системы электроснабжения и практические методы ее расчета. Владеет способностью к самоорганизации и самообразованию

Формируемые компетенции: готовностью определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности

Теоретическая часть

Компенсация реактивной мощности и регулирование напряжения в системе электроснабжения промышленного предприятия.

2.1. Цель работы

Изучение основных принципов компенсации реактивных нагрузок (КРН) в промышленных электрических сетях (ПЭС). С этой целью в работе предусмотрено: вычисление общей мощности компенсирующих устройств (КУ) для потребителя, реализация расчетного режима реактивной мощности на лабораторной модели, оценка влияния КРН на режим напряжения и расчет экономического эффекта.

2.2. Введение

Обмен реактивной мощностью между системой электроснабжения предприятия и электроэнергетической системой (ЭЭС) регламентирован «Правилами пользования электрической и тепловой энергией». Установление конкретных требований к режиму реактивной мощности каждого из предприятий осуществляется при ежегодном заключении договора на поставку электроэнергии от электроснабжающей организации. Экономически обоснованные входные реактивные мощности ($Q_{Э1}$ и $Q_{Э2}$) [4] задаются предприятием дифференцированно, в зависимости от потребляемой мощности и электрической удаленности предприятия от основных источников энергии (электростанций). Числовые значения $Q_{Э1}$ и $Q_{Э2}$ определяются в результате расчетов оптимальных режимов работы энергосистемы в периоды ее максимальных ($Q_{Э1}$) и минимальных ($Q_{Э1}$) нагрузок.

В работе исследуется узел нагрузки, схема замещения которого показана на рис.7.

Схема содержит только одну из секций ГПП (правую секцию), поскольку вторая условно считается аналогичной. Граница балансовой принадлежности находится на

уровне высоковольтных вводов трансформаторов ГПП. На границе сводятся контрольные балансы активной и реактивной мощностей. Контроль осуществляется на последовательных получасовых интервалах времени при помощи счетчиков энергии с фиксированием максимумов или при помощи специальных автоматизированных информационно-измерительных систем.

В лабораторной модели источниками реактивной мощности являются: электроэнергетическая система ($Q_{э1}, Q_{э2}$), синхронный электродвигатель ($Q_{д}$), конденсаторные установки БК1, БК2 напряжением 10 кВ ($Q_{кв}$) и БК3 напряжением 0,4 кВ ($Q_{кн}$); потребителями – нагрузка на шинах 10,5 кВ (Q_1) и нагрузка ТП (Q_2).

Рис.7. Схема замещения узла нагрузки

Наилучшим (оптимальным) режимом компенсации реактивных нагрузок будет режим, соответствующий минимальной величине годовых расчетных затрат и удовлетворяющий требованиям электроэнергетической системы [4]. Для нахождения этого режима составляется функция расчетных затрат (целевая функция) и записываются ограничения [4,5]. Оптимальными считаются такие мощности компенсирующих устройств, при которых целевая функция принимает минимальное значение в области допустимых решений. Область допустимых решений определяется ограничениями, накладываемыми на мощности КУ. Расчет оптимальных мощностей КУ, в описанной выше постановке задачи, производится с помощью методов математического программирования.

В лабораторной установке моделируется не вся ПЭС, а только ГПП и одна из цеховых подстанций с питающей ее кабельной линией. Нагрузка Q_1 представляет собой суммарную реактивную мощность, потребляемую остальными ТП, число и мощность которых не известны. В этих условиях задачу оптимизации размещения КУ можно решать без применения оптимизационных методов, разделив ее на два этапа.

Этап первый. Рассматривается ТП (рис.8) и определяется $Q_{кн}$

Рис.8. Расчетная схема замещения для первого этапа расчетов

Для определения $Q_{кн}$ записывается функция годовых расчетных затрат.

$$z(Q_{кн}) = E \cdot \Delta K_{кн} \cdot Q_{кн} + C_o \left[\Delta P_{кн} Q_{кн} + \frac{R_{ТЛ}}{U^2 \cdot 10^3} (Q_2^m - Q_{кн})^2 \right] \quad (5.1)$$

где E – коэффициент отчислений от капиталовложений (нормативные отчисления, отчисления на эксплуатацию и восстановление оборудования). Численные значения E следует принять по указанию преподавателя в пределах (0,2 — 0,4);

$\Delta K_{кн}$ – Удельная стоимость конденсаторных установок низкого напряжения (150 руб/кВАр);

C_o – удельная стоимость потерь активной мощности (задается преподавателем в пределах от 800 до 1200 руб/кВт);

ΔP – удельные потери активной мощности в конденсаторных установках напряжения (0,003 кВт/кВАр);

$R_{ТЛ}$ – приведенное к напряжению 10 кВ сопротивление трансформатора цеховой ТП и питающей его линии электропередачи, Ом.

Величина этого сопротивления определяется по данным табл.1 описания лабораторной установки;

U – среднее напряжение на шинах ГПП (10 кВ);

Q_2^m – наибольшая реактивная мощность нагрузки трансформатора Т4 в период максимальной активной мощности нагрузки энергосистемы (для упрощения работы считаем, что трансформатор Т3 отключен и в расчетах не учитывается). Определяется по графику нагрузки Т4, полученному в работе №1. Период максимума задается преподавателем.

$$R_{ТЛ} = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U^2}{S_{НТ}^2} \cdot 10^3 + R_o \cdot l \quad (5.2)$$

где $\Delta P_{кз}$ – потери короткого замыкания в трансформаторе, кВт (табл.1.1);

$S_{НТ}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА;

R_o – удельное активное сопротивление линии электропередачи, Ом/км;

l – длина линии электропередачи, км.

Мощность конденсаторной батареи определяется из уравнения

$$\frac{\partial z(Q_{KH})}{\partial Q_{KH}} = 0, \quad (5.3)$$

Расчетное выражение имеет вид

$$Q_{KH} = Q_2^m - \frac{E \cdot \Delta K_H + C_o \cdot \Delta P_H}{2 \cdot C_o \cdot R_{ТЛ}} \cdot U^2 \cdot 10^3 \quad (5.4)$$

Этап второй. На этом этапе рассматривается задача нахождения оптимальных значений Q_{KB} и Q_{∂} (рис.9). Величина некомпенсированной мощности, передаваемой через трансформатор Т4, показана на схеме как Q_T .

Функция годовых расчетных затрат для этого этапа расчетов имеет вид $z(Q_{KB}, Q_{\partial}) = E \cdot \Delta K_B \cdot Q_{KB} + C_o \cdot (\Delta P_{KB} \cdot Q_{KB} + K_1 \cdot Q_{\partial} + K_2 \cdot Q_{\partial}^2)$, руб/год, (5.5)

где E, C_o – см. выражение (5.1);

ΔK_B – удельная стоимость конденсаторных батарей высокого напряжения (120 руб/кВАр);

Рис.9. Расчетная схема замещения

для второго этапа расчетов

ΔP_{KB} – удельные потери активной мощности в конденсаторных установках высокого напряжения (0,002 кВт/кВАр);

K_1, K_2 – коэффициенты, характеризующие потери активной мощности в СД, зависящие от Q_{∂} ($K_1 = 0,011$ кВт/кВАр, $K_2 = 0,00019$ кВт/кВАр²).

Функция Лагранжа

$$L(Q_{KB}, Q_{\partial}, \lambda) = z(Q_{KB}, Q_{\partial}) + \lambda(Q_1^m + Q_T - Q_{Э1} - Q_{KB} - Q_{\partial}), \quad (5.6)$$

где Q_1^m – реактивная мощность нагрузки на шинах 10 кВ ГПП в период максимальной активной мощности нагрузки ЭЭС.

Мощности Q_{KB} и Q_{∂} определяются решением системы уравнений

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial Q_{KB}} &= 0, \\ \frac{\partial L}{\partial Q_{\partial}} &= 0, \quad (5.7) \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} &= 0 \end{aligned}$$

Из (5.7) можно получить выражение для расчета Q_{KB}, Q_{∂} в общем виде:

$$Q_{\partial} = \frac{1}{K_2} \left(\frac{E \cdot \Delta K_B}{C_o} + \Delta P_{KB} - K_1 \right), \quad \text{кВАр} \quad (5.8)$$

$$Q_{KB} = Q_1^m + Q_T - Q_{Э1} - Q_{\partial}, \quad \text{кВАр} \quad (5.9)$$

С помощью (5.4), (5.8), (5.9) вычисляются необходимые установленные мощности конденсаторных батарей и наибольшая реактивная мощность СД. Отрицательные значения расчетных мощностей свидетельствуют об отсутствии экономической целесообразности использования соответствующего источника реактивной мощности. Его значение принимается равным нулю. Величина Q_{∂} не должна превышать допустимых значений по условиям нагрева статора и ротора СД с учетом его загрузки по активной мощности. Проверка СД по условиям нагрева в лабораторной работе не предусмотрена.

Оборудование

Полное использование всех КУ экономически обосновано только в период максимальной нагрузки ЭЭС. При существенно изменяющемся графике реактивной мощности нагрузки требуется регулирование КУ. В лабораторной установке предусмотрено ручное дискретное регулирование Q_{∂} и автоматическое регулирование конденсаторных батарей. Графики регулирования Ку строятся на основании оптимизационных расчетов с учетом требований ЭЭС ($Q_{Э1}, Q_{Э2}$). Регулирование КУ

должно обеспечить минимальные потери электроэнергии и требуемый уровень качества напряжения.

Для отдельного узла нагрузки, который исследуется в данной работе, оптимизация не требуется. Графики регулирования КУ в этом случае могут быть построены без расчетов. Основой для их построения являются графики реактивной нагрузки на шинах 10 кВ и 0,4 кВ. При построении графиков регулирования следует учесть:

1. В период максимальной активной мощности нагрузки ЭЭС потребление реактивной мощности не должно превосходить величину $Q_{Э1}$.

2. В период минимальной нагрузки потребляемая реактивная мощность должна быть меньше, чем $Q_{Э2}$.

2.3. Порядок выполнения работы

2.3.1. Получить у преподавателя следующую исходную информацию:

а) $Q_{Э1}$, $Q_{Э2}$;

б) интервалы времени, соответствующие периодам максимума и минимума активной мощности нагрузки ЭЭС;

в) удельную стоимость потерь активной мощности C_o

2.3.2. По формулам (5.4), (5.8), (5.9) определить мощности КУ (два этапа). Полученные значения округлить до ближайших возможных величин, указанных на мнемосхеме лабораторной установки.

Мощность нагрузки взять по графику, полученному в лабораторной работе №1, прочую необходимую информацию следует взять из табл.1.

2.3.3. Проверить баланс реактивной мощности на шинах ГПП в часы максимума активной нагрузки ЭЭС. В случае необходимости выполнить корректировку мощностей КУ с целью обеспечения баланса.

2.3.4. Построить графики регулирования мощностей конденсаторных батарей ($Q_{КН}$, $Q_{КВ}$) и синхронного двигателя (Q_d). При построении графиков рекомендуется обратить внимание на технико-экономические характеристики и эффективность располагаемых КУ.

2.3.5. Проверить баланс реактивной мощности на шинах ГПП в часы минимума активной нагрузки ЭЭС.

5.3.6. Собрать схему автоматического управления анцапфами Т2 (работа №5) и мощностями конденсаторных батарей в соответствии с построенными графиками их регулирования. Привести лабораторную модель в исходное рабочее состояние (включить S_1 , Т4, СД; отключить Т3, БК1, БК2, БК3).

2.3.7. Включить лабораторный стенд и выполнить следующее:

а) по показаниям счетчиков записать графики изменения активной и реактивной мощностей нагрузок трансформаторов Т2 и Т4 с учетом расчетных мощностей КУ и их регулирования;

б) записать с помощью СП напряжение на шинах 0,4 кВ ТП с учетом реализации мероприятий по их улучшению (см. работу №4).

Запись графиков нагрузок и напряжений (п.«а» и «б») необходимо производить одновременно.

2.3.8. Построить графики нагрузки (P и Q) с учетом КУ и сравнить их с графиками, полученными в работе №1.

5.3.9. Построить гистограммы, вычислить математические ожидания и дисперсии напряжений на шинах 10 и 0,4 кВ с учетом КРН. Оценить влияние КУ на режим напряжения, сравнив полученные результаты с соответствующими данными работы №4.

2.3.10. Оценить экономический эффект КРН на суточном интервале времени в киловатт-часах сэкономленной электроэнергии. Оценку эффекта выполнить сравнением потерь энергии в трансформаторах Т2, Т4 и кабельной линии, вычисленных в работе №1 по графикам нагрузки, не учитывающим КУ и потерь в тех же элементах, но с учетом КУ и их регулирования.

Содержание отчета

2.3.11. Оформить отчет о лабораторной работе, который должен содержать:

а) таблицу исходных данных для выполнения работы, включая параметры, полученные у преподавателя;

б) расчет мощностей КУ;

в) графики регулирования КУ;

г) графики активной и реактивной мощностей нагрузки Т2 и Т4 с учетом КУ;

д) графики изменения напряжений на шинах 0,4 кВ ТП, полученные с помощью самопишущего вольтметра СП;

- е) гистограммы напряжений на шинах 0,4 кВ ТП;
- ж) расчет экономического эффекта;
- з) выводы по результатам работы.

5.4. Подготовка к работе

В процессе подготовки к работе необходимо ознакомиться с ее описанием, изучить рекомендованную литературу и соответствующие разделы конспекта лекций. Заготовить бланки для записи показаний приборов и продумать ответы на контрольные вопросы.

2.5. Контрольные вопросы

2.5.1. Дать понятие реактивной мощности, пояснить ее физический смысл и особенности в сравнении с активной.

2.5.2. Чем определяются предельные значения реактивной мощности, которую может выдать в сеть синхронная машина?

2.5.3. Дать сравнительную характеристику источников реактивной мощности, используемых в СЭПП.

2.5.4. Каким образом реактивная мощность влияет на режим напряжения электрической сети?

2.5.5. Требования, предъявляемые ЭЭС к режиму реактивной мощности СЭПП.

2.5.6. Как оценивается экономический эффект внедрения расчетного оптимального режима компенсации нагрузок предприятия?

2.5.7. С какой целью выполняется регулирование мощностей компенсирующих устройств?

2.5.8. Перечислить и пояснить принципы построения графиков регулирования КУ.

2.5.9. Почему входные реактивные мощности задаются предприятием индивидуально?

2.5.10. Что понимается под оптимизацией режима компенсации реактивных мощностей нагрузок?

2.5.11. Пояснить преимущества и недостатки индивидуальной компенсации реактивной мощности.

Список литературы

1. Суворин А.В. Приемники и потребители электрической энергии систем электро-снабжения: учебное пособие / А.В. Суворин. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 354 с. Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=364591
2. Шлейников В. Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия: учебное пособие \ Шлейников В. Б., Сазонова Т.В. Оренбургский гос. Ун-т. – Оренбург ОГУ, 2012 – 110с. Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=270272>
3. Рекус Г.Г. Электрооборудование производств. Справочное пособие. – М.: Директ-Медиа, 2014. – 710 с. Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=229238

Лабораторная работа №3

Тема занятия Изменений напряжения, фликер, несинусоидальность и несимметрия напряжений в распределительных электрических сетях 10-0,4 кВ

Цель занятия. Приобрести навыки выполнения расчета электрических нагрузок в электроустановках напряжением выше 1 кВ методом упорядоченных диаграмм.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции. Знает закономерности формирования величины расчетной нагрузки на различных уровнях системы электроснабжения и практические методы ее расчета. Владеет способностью к самоорганизации и самообразованию

Формируемые компетенции: готовностью определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности

Теоретическая часть

Отклонения напряжения, размах изменений напряжения, фликер, несинусоидальность и несимметрия напряжений в распределительных электрических сетях 10-0,4 кВ

. Цель работы

Изучить методику оценки уровней напряжения в сети и способы их улучшения на суточном интервале времени.

3.2. Введение

Имеются две основные причины, обуславливающие изменчивость напряжения в электрических сетях: изменчивость нагрузок, вызывающая изменчивость потерь напряжения, и регулирование напряжения с целью поддержания его в заданных пределах.

Уровни напряжения принято оценивать отклонениями напряжения от номинального V [1], которые также изменчивы во времени по указанным выше причинам.

Наилучшим напряжением на зажимах электроприемников, с точки зрения технико-экономической эффективности их работы, является $U(t) = U_n = const$, т.е. $V = 0$. Обеспечить такой режим напряжения для всей массы электроприемников в сети практически невозможно, поэтому всегда $V \neq 0$. Причем чем больше величина V , тем хуже напряжение. Из этого правила имеется ряд исключений, например, для слабо загруженного асинхронного электродвигателя наилучшим является напряжение, меньшее номинального. Величина допустимых значений V нормируется ГОСТ [2] в целом для электрических сетей в зависимости от их напряжения. Наиболее жесткие требования к величине V в ГОСТ предъявляются, естественно, к тем сетям, которые питают основную массу электроприемников (сети до 1000 В).

Таблица 3

Допустимые значения отклонений напряжения по ГОСТ 13109—97

Напряжение сети	Допустимые значения	
	нормальные	максимальные
До 1 кВ	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$
6...20 кВ	—	$\pm 10\%$
35 кВ и выше	—	—

Оборудование

Для сетей напряжением до 1000 В с интегральной вероятностью 0,95 допустимы отклонения напряжения $\pm 5\%$, с вероятностью 0,05 допустимы большие отклонения, но они не должны превышать $\pm 10\%$.

Оценку максимальных отклонений напряжения обычно проводят для режимов максимальных и минимальных нагрузок с помощью построения диаграммы отклонений напряжения в сети.

Для моделируемой сети расчетная схема и диаграмма V показаны на рис. 6.

На этом рисунке:

$V_{цп}$ – отклонения напряжения в центре питания;

ΔU_1 – потеря напряжения в воздушной линии 110 кВ, питающей трансформатор ГПП;

V_0 – отклонение напряжения на линии раздела балансовой принадлежности сетей энергоснабжающей организации и сетей потребителя электроэнергии;

V_1 – отклонение напряжения на шинах РУ 10 кВ ГПП;

ΔU_2 – потеря напряжения в трансформаторе ГПП;

E_1 – добавка напряжения трансформатора ГПП;

ΔU_3 — потеря напряжения в кабельной линии, питающей трансформатор Т4 цеховой ТП;

E_2 – добавка напряжения трансформатора цеховой ТП;

V_2 – отклонение напряжения на шинах РУ 380 / 220 В цеховой ТП;

ΔU_4 – потеря напряжения в цеховой сети (например, в шинной магистрали ШМ);

V_3 – отклонение напряжения в сети в точке присоединения наиболее удаленного электроприемника.

В условиях эксплуатации все потребители рассчитывают требуемые значения V_0 для режимов максимальных и минимальных нагрузок с учетом своих средств регулирования

напряжения. Если энергоснабжающая организация не выдерживает эти значения, то к ней предъявляются экономические санкции. Поэтому выполнение настоящей лабораторной работы ориентировано на исследование отклонений напряжения в промышленной электросети, проводимое с целью решения данной задачи – расчет требуемых значений V_0 для режимов максимальных и минимальных нагрузок.

Потеря напряжения в элементе сети с сопротивлением $z=R+jX$ и током $\dot{I} = I' - jI''$ определяются по формуле

$$\Delta U = \frac{I'R + I''X}{U_H} 100\%$$

Все необходимые параметры элементов моделируемой сети приведены в табл.1, а параметры трансформатора Т2 рассчитаны в п.1.3.1. лабораторной работы №1.

3.3. задание)

3.3.1. Подготовить установку к работе:

1) для измерения напряжения на шинах 10 кВ ГПП и 380 / 220 В цеховой ТП в суточном цикле времени подключить самопишущие приборы в соответствии со схемой рис 2;

2) включить питание установки и трансформатор Т4, отключить Т3, включить обобщенную нагрузку на шинах 10 кВ S_I , включить СД, отключить конденсаторные батареи БК1, БК2, БК3 и фильтрокомпенсирующее устройство ФКУ;

3) переключатель анцапф трансформатора Т2 и переключатель ПБВ трансформатора Т4 установить в нулевое положение;

4) переключатель задания уровня напряжения в сети 110 кВ установить в положение, указанное преподавателем.

3.3.2. Запустить установку нажатием кнопки «Пуск» и произвести регистрацию графиков $U(t)$ на шинах 10 кВ ГПП и на шинах 380 /220 В цеховой ТП на суточном цикле времени с помощью самопишущих приборов. При невозможности использовать самопишущие приборы провести регистрацию графиков $U(t)$ по щитовым приборам.

3.3.3. Обработать результаты измерений:

1) построить графики $V(t)$ для шин 10 кВ ГПП и для шин 380/220 В цеховой ТП;

2) построить гистограммы отклонений напряжения и вычислить их средние значения и дисперсии.

3.3.4. Проанализировать полученные результаты. Определить оптимальную ступень ПБВ трансформатора Т4 и разработать график переключения анцапф РПН трансформатора Т2. При этом возможность регулирования напряжения с помощью КБ в данной работе не учитывать.

3.3.5. Установить переключателем, расположенным на лицевой панели, необходимую ступень ПБВ трансформатора Т4 и на наборном поле с помощью перемычек программу переключения анцапф РПН трансформатора Т2. Подключить и подготовить к работе самопишущие приборы.

3.3.6. Запустить установку и провести регистрацию напряжений на суточном цикле аналогично п.4.3.2.

3.3.7. Обработать результаты измерений в соответствии с п.4.3.3. и оценить соответствие напряжения в моделируемой сети требованиям ГОСТ [2].

3.3.8. По полученным в пункте 4.3.7. результатам построить для режимов максимальных и минимальных нагрузок диаграммы отклонений напряжения для моделируемой сети (аналогично рис.4.1). Отклонения V_1 и V_2 определяются при этом экспериментально, V_0 — расчетным путем по формуле (4.1). Так как на модели не представлена цеховая сеть 380/220 В (ШМ на рис.5), то потери в этой сети (ΔU_4) не учитываются и V_3 не оценивается.

3.3.9. Приняв для шин 380/220 В цеховой ТП допустимые значения отклонений $V^{(+)}_{2 доп} = 5\%$, $V^{(-)}_{2 доп} = 0$, определить соответствующие отклонения V_0 , которые должна обеспечить энергоснабжающая организация на линии раздела балансовой принадлежности сетей для режимов максимума и минимума нагрузок.

Принять время максимума с 8 до 12 часов утра, минимума – с 2 до 5 часов ночи. При этом необходимо помнить, что в реальной практике расчета требуемых значений V_0 необходим учет работы компенсирующих устройств, что в настоящей лабораторной

работе не производится для упрощения ее выполнения и еще в связи с тем, что вопросы компенсации реактивных нагрузок рассматриваются в следующей лабораторной работе.

Содержание отчета 3.3.10. Оформить отчет по лабораторной работе, который должен содержать:

- формулировку задач исследований;
- результаты оценки отклонений напряжений в моделируемой сети по п.4.3.3.;
- суточный график переключения анцапф трансформатора Т2;
- результаты по п.4.3.7, полученные после реализации мероприятий;
- напряжения по п.4.3.8 и 4.3.9;
- выводы по работе.

3.4. Подготовка к работе

Самостоятельная подготовка к работе состоит в следующем:

- 1) повторение теоретического материала [1];
- 2) подготовка к ответам на контрольные вопросы;
- 3) расчет потерь напряжения в трансформаторе Т2 для режимов максимальных и минимальных нагрузок, необходимых для выполнения п.4.3.8 и 4.3.9 задания.

3.5. Контрольные вопросы

3.5.1. Какие допускаются отклонения напряжения в промышленных электросетях по ГОСТ 13109—97 и почему?

3.5.2. Как зависит работа различных электроприемников от величины напряжения в сети?

3.5.3. Какие способы улучшения напряжения используются в промышленных электросетях и в сетях энергосистем?

3.5.4. Постройте векторную диаграмму токов и напряжений для простейшей сети с сопротивлением $R+jX$ и током $I-jI''$.

3.5.5. Какие имеются оценки отклонений напряжения и как они вычисляются?

Список литературы

1. Суворин А.В. Приемники и потребители электрической энергии систем электро-снабжения: учебное пособие / А.В. Суворин. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 354 с. Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=364591
2. Шлейников В. Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия: учебное пособие \ Шлейников В. Б., Сазонова Т.В. Оренбургский гос. Ун-т. – Оренбург ОГУ, 2012 – 110с. Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=270272>
3. Рекус Г.Г. Электрооборудование производств. Справочное пособие. – М.: Директ-Медиа, 2014. – 710 с. Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=229238

Лабораторная работа № 4

Тема занятия Регулирование уровней напряжения в промышленных электросетях.

Цель занятия. Приобрести навыки выполнения расчета электрических нагрузок в электроустановках напряжением выше 1 кВ методом упорядоченных диаграмм.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции. Знает закономерности формирования величины расчетной нагрузки на различных уровнях системы электроснабжения и практические методы ее расчета. Владеет способностью к самоорганизации и самообразованию

Формируемые компетенции: готовностью определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности

Теоретическая часть

Исследование и регулирование уровней напряжения в промышленных электросетях

4.1. Цель работы

Изучить методику оценки уровней напряжения в сети и способы их улучшения на суточном интервале времени.

4.2. Введение

Имеются две основные причины, обуславливающие изменчивость напряжения в электрических сетях: изменчивость нагрузок, вызывающая изменчивость потерь напряжения, и регулирование напряжения с целью поддержания его в заданных пределах.

Уровни напряжения принято оценивать отклонениями напряжения от номинального V [1], которые также изменчивы во времени по указанным выше причинам.

Оборудование

Наилучшим напряжением на зажимах электроприемников, с точки зрения технико-экономической эффективности их работы, является $U(t) = U_n = const$, т.е. $V=0$. Обеспечить такой режим напряжения для всей массы электроприемников в сети практически невозможно, поэтому всегда $V \neq 0$. Причем чем больше величина V , тем хуже напряжение. Из этого правила имеется ряд исключений, например, для слабо загруженного асинхронного электродвигателя наилучшим является напряжение, меньшее номинального. Величина допустимых значений V нормируется ГОСТ [2] в целом для электрических сетей в зависимости от их напряжения. Наиболее жесткие требования к величине V в ГОСТ предъявляются, естественно, к тем сетям, которые питают основную массу электроприемников (сети до 1000 В).

Таблица 4

Допустимые значения отклонений напряжения по ГОСТ 13109—97

Напряжение сети	Допустимые значения	
	нормальные	максимальные
До 1 кВ	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$
6...20 кВ	—	$\pm 10\%$
35 кВ и выше	—	—

Для сетей напряжением до 1000 В с интегральной вероятностью 0,95 допустимы отклонения напряжения $\pm 5\%$, с вероятностью 0,05 допустимы большие отклонения, но они не должны превышать $\pm 10\%$.

Оценку максимальных отклонений напряжения обычно проводят для режимов максимальных и минимальных нагрузок с помощью построения диаграммы отклонений напряжения в сети.

Для моделируемой сети расчетная схема и диаграмма V показаны на рис. 6.

На этом рисунке:

$V_{цп}$ – отклонения напряжения в центре питания;

ΔU_1 – потеря напряжения в воздушной линии 110 кВ, питающей трансформатор ГПП;

V_0 – отклонение напряжения на линии раздела балансовой принадлежности сетей энергоснабжающей организации и сетей потребителя электроэнергетики;

V_1 – отклонение напряжения на шинах РУ 10 кВ ГПП;

ΔU_2 – потеря напряжения в трансформаторе ГПП;

E_1 – добавка напряжения трансформатора ГПП;

ΔU_3 — потеря напряжения в кабельной линии, питающей трансформатор Т4 цеховой ТП;

E_2 – добавка напряжения трансформатора цеховой ТП;

V_2 – отклонение напряжения на шинах РУ 380 / 220 В цеховой ТП;

ΔU_4 – потеря напряжения в цеховой сети (например, в шинной магистрали ШМ);

V_3 – отклонение напряжения в сети в точке присоединения наиболее удаленного электроприемника.

В условиях эксплуатации все потребители рассчитывают требуемые значения V_0 для режимов максимальных и минимальных нагрузок с учетом своих средств регулирования

напряжения. Если энергоснабжающая организация не выдерживает эти значения, то к ней предъявляются экономические санкции. Поэтому выполнение настоящей лабораторной работы ориентировано на исследование отклонений напряжения в промышленной электросети, проводимое с целью решения данной задачи – расчет требуемых значений V_0 для режимов максимальных и минимальных нагрузок.

Потеря напряжения в элементе сети с сопротивлением $z=R+jX$ и током $\dot{I} = I' - jI''$ определяются по формуле

$$\Delta U = \frac{I'R + I''X}{U_H} 100\%$$

Все необходимые параметры элементов моделируемой сети приведены в табл.1, а параметры трансформатора Т2 рассчитаны в п.1.3.1. лабораторной работы №1.

4.3 (задание)

4.3.1. Подготовить установку к работе:

5) для измерения напряжения на шинах 10 кВ ГПП и 380 / 220 В цеховой ТП в суточном цикле времени подключить самопишущие приборы в соответствии со схемой рис 2;

6) включить питание установки и трансформатор Т4, отключить Т3, включить обобщенную нагрузку на шинах 10 кВ S_I , включить СД, отключить конденсаторные батареи БК1, БК2, БК3 и фильтрокомпенсирующее устройство ФКУ;

7) переключатель анцапф трансформатора Т2 и переключатель ПБВ трансформатора Т4 установить в нулевое положение;

8) переключатель задания уровня напряжения в сети 110 кВ установить в положение, указанное преподавателем.

4.3.2. Запустить установку нажатием кнопки «Пуск» и произвести регистрацию графиков $U(t)$ на шинах 10 кВ ГПП и на шинах 380 / 220 В цеховой ТП на суточном цикле времени с помощью самопишущих приборов. При невозможности использовать самопишущие приборы провести регистрацию графиков $U(t)$ по щитовым приборам.

4.3.3. Обработать результаты измерений:

3) построить графики $V(t)$ для шин 10 кВ ГПП и для шин 380/220 В цеховой ТП;

4) построить гистограммы отклонений напряжения и вычислить их средние значения и дисперсии.

4.3.4. Проанализировать полученные результаты. Определить оптимальную ступень ПБВ трансформатора Т4 и разработать график переключения анцапф РПН трансформатора Т2. При этом возможность регулирования напряжения с помощью КБ в данной работе не учитывать.

4.3.5. Установить переключателем, расположенным на лицевой панели, необходимую ступень ПБВ трансформатора Т4 и на наборном поле с помощью перемычек программу переключения анцапф РПН трансформатора Т2. Подключить и подготовить к работе самопишущие приборы.

4.3.6. Запустить установку и провести регистрацию напряжений на суточном цикле аналогично п.4.3.2.

4.3.7. Обработать результаты измерений в соответствии с п.4.3.3. и оценить соответствие напряжения в моделируемой сети требованиям ГОСТ [2].

4.3.8. По полученным в пункте 4.3.7. результатам построить для режимов максимальных и минимальных нагрузок диаграммы отклонений напряжения для моделируемой сети (аналогично рис.4.1). Отклонения V_1 и V_2 определяются при этом экспериментально, V_0 — расчетным путем по формуле (4.1). Так как на модели не представлена цеховая сеть 380/220 В (ШМ на рис.5), то потери в этой сети (ΔU_4) не учитываются и V_3 не оценивается.

4.3.9. Приняв для шин 380/220 В цеховой ТП допустимые значения отклонений $V^{(+)}_{2\text{дон}} = 5\%$, $V^{(-)}_{2\text{дон}} = 0$, определить соответствующие отклонения V_0 , которые должна обеспечить энергоснабжающая организация на линии раздела балансовой принадлежности сетей для режимов максимума и минимума нагрузок.

Принять время максимума с 8 до 12 часов утра, минимума – с 2 до 5 часов ночи. При этом необходимо помнить, что в реальной практике расчета требуемых значений V_0 необходим учет работы компенсирующих устройств, что в настоящей лабораторной

работе не производится для упрощения ее выполнения и еще в связи с тем, что вопросы компенсации реактивных нагрузок рассматриваются в следующей лабораторной работе.

Содержание отчета

4.3.10. Оформить отчет по лабораторной работе, который должен содержать:

- формулировку задач исследований;
- результаты оценки отклонений напряжений в моделируемой сети по п.4.3.3.;
- суточный график переключения анцапф трансформатора Т2;
- результаты по п.4.3.7, полученные после реализации мероприятий;
- напряжения по п.4.3.8 и 4.3.9;
- выводы по работе.

4.4. Подготовка к работе

Самостоятельная подготовка к работе состоит в следующем:

- 4) повторение теоретического материала [1];
- 5) подготовка к ответам на контрольные вопросы;
- 6) расчет потерь напряжения в трансформаторе Т2 для режимов максимальных и минимальных нагрузок, необходимых для выполнения п.4.3.8 и 4.3.9 задания.

4.5. Контрольные вопросы

4.5.1. Какие допускаются отклонения напряжения в промышленных электросетях по ГОСТ 13109—97 и почему?

4.5.2. Как зависит работа различных электроприемников от величины напряжения в сети?

4.5.3. Какие способы улучшения напряжения используются в промышленных электросетях и в сетях энергосистем?

4.5.4. Постройте векторную диаграмму токов и напряжений для простейшей сети с сопротивлением $R+jX$ и током $I-jI''$.

4.5.5. Какие имеются оценки отклонений напряжения и как они вычисляются?

Список литературы

1. Суворин А.В. Приемники и потребители электрической энергии систем электро-снабжения: учебное пособие / А.В. Суворин. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 354 с. Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=364591
2. Шлейников В. Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия: учебное пособие \ Шлейников В. Б., Сазонова Т.В. Оренбургский гос. Ун-т. – Оренбург ОГУ, 2012 – 110с. Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=270272>
3. Рекус Г.Г. Электрооборудование производств. Справочное пособие. – М.: Директ-Медиа, 2014. – 710 с. Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=229238

Лабораторная работа № 5

Тема занятия Регулирование потерь по электропитанию в промышленных электросетях.

Цель занятия. Приобрести навыки выполнения расчета электрических потерь в электроустановках напряжением выше 1 кВ.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции. Знает закономерности формирования величины расчетной нагрузки на различных уровнях системы электроснабжения и практические методы ее расчета. Владеет способностью к самоорганизации и самообразованию

Формируемые компетенции: готовностью определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности

Теоретическая часть

Исследование и регулирование уровней напряжения в промышленных электросетях

6.1. Цель работы

Изучить методику оценки уровней напряжения в сети и способы их улучшения на суточном интервале времени.

6.2. Введение

Имеются две основные причины, обуславливающие изменчивость напряжения в электрических сетях: изменчивость нагрузок, вызывающая изменчивость потерь напряжения, и регулирование напряжения с целью поддержания его в заданных пределах.

Уровни напряжения принято оценивать отклонениями напряжения от номинального V [1], которые также изменчивы во времени по указанным выше причинам.

Оборудование

Наилучшим напряжением на зажимах электроприемников, с точки зрения технико-экономической эффективности их работы, является $U(t) = U_n = const$, т.е. $V=0$. Обеспечить такой режим напряжения для всей массы электроприемников в сети практически невозможно, поэтому всегда $V \neq 0$. Причем чем больше величина V , тем хуже напряжение. Из этого правила имеется ряд исключений, например, для слабо загруженного асинхронного электродвигателя наилучшим является напряжение, меньшее номинального. Величина допустимых значений V нормируется ГОСТ [2] в целом для электрических сетей в зависимости от их напряжения. Наиболее жесткие требования к величине V в ГОСТ предъявляются, естественно, к тем сетям, которые питают основную массу электроприемников (сети до 1000 В).

Таблица 6

Допустимые значения отклонений напряжения по ГОСТ 13109—97

Напряжение сети	Допустимые значения	
	нормальные	максимальные
До 1 кВ	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$
6...20 кВ	—	$\pm 10\%$
35 кВ и выше	—	—

Для сетей напряжением до 1000 В с интегральной вероятностью 0,95 допустимы отклонения напряжения $\pm 5\%$, с вероятностью 0,05 допустимы большие отклонения, но они не должны превышать $\pm 10\%$.

Оценку максимальных отклонений напряжения обычно проводят для режимов максимальных и минимальных нагрузок с помощью построения диаграммы отклонений напряжения в сети.

Для моделируемой сети расчетная схема и диаграмма V показаны на рис. 6.

На этом рисунке:

$V_{цп}$ – отклонения напряжения в центре питания;

ΔU_1 – потеря напряжения в воздушной линии 110 кВ, питающей трансформатор ГПП;

V_0 – отклонение напряжения на линии раздела балансовой принадлежности сетей энергоснабжающей организации и сетей потребителя электроэнергетики;

V_1 – отклонение напряжения на шинах РУ 10 кВ ГПП;

ΔU_2 – потеря напряжения в трансформаторе ГПП;

E_1 – добавка напряжения трансформатора ГПП;

ΔU_3 — потеря напряжения в кабельной линии, питающей трансформатор Т4 цеховой ТП;

E_2 – добавка напряжения трансформатора цеховой ТП;

V_2 – отклонение напряжения на шинах РУ 380 / 220 В цеховой ТП;

ΔU_4 – потеря напряжения в цеховой сети (например, в шинной магистрали ШМ);

V_3 – отклонение напряжения в сети в точке присоединения наиболее удаленного электроприемника.

В условиях эксплуатации все потребители рассчитывают требуемые значения V_0 для режимов максимальных и минимальных нагрузок с учетом своих средств регулирования напряжения. Если энергоснабжающая организация не выдерживает эти значения, то к ней предъявляются экономические санкции. Поэтому выполнение настоящей лабораторной

работы ориентировано на исследование отклонений напряжения в промышленной электросети, проводимое с целью решения данной задачи – расчет требуемых значений V_0 для режимов максимальных и минимальных нагрузок.

Потеря напряжения в элементе сети с сопротивлением $z=R+jX$ и током $\dot{I} = I' - jI''$ определяются по формуле

$$\Delta U = \frac{I'R + I''X}{U_H} 100\%$$

Все необходимые параметры элементов моделируемой сети приведены в табл.1, а параметры трансформатора Т2 рассчитаны в п.1.3.1. лабораторной работы №1.

6.3 (задание)

6.3.1. Подготовить установку к работе:

9) для измерения напряжения на шинах 10 кВ ГПП и 380 / 220 В цеховой ТП в суточном цикле времени подключить самопишущие приборы в соответствии со схемой рис 2;

10) включить питание установки и трансформатор Т4, отключить Т3, включить обобщенную нагрузку на шинах 10 кВ S_I , включить СД, отключить конденсаторные батареи БК1, БК2, БК3 и фильтрокомпенсирующее устройство ФКУ;

11) переключатель анцапф трансформатора Т2 и переключатель ПБВ трансформатора Т4 установить в нулевое положение;

12) переключатель задания уровня напряжения в сети 110 кВ установить в положение, указанное преподавателем.

4.3.2. Запустить установку нажатием кнопки «Пуск» и произвести регистрацию графиков $U(t)$ на шинах 10 кВ ГПП и на шинах 380 /220 В цеховой ТП на суточном цикле времени с помощью самопишущих приборов. При невозможности использовать самопишущие приборы провести регистрацию графиков $U(t)$ по щитовым приборам.

4.3.3. Обработать результаты измерений:

5) построить графики $V(t)$ для шин 10 кВ ГПП и для шин 380/220 В цеховой ТП;

6) построить гистограммы отклонений напряжения и вычислить их средние значения и дисперсии.

6.3.4. Проанализировать полученные результаты. Определить оптимальную ступень ПБВ трансформатора Т4 и разработать график переключения анцапф РПН трансформатора Т2. При этом возможность регулирования напряжения с помощью КБ в данной работе не учитывать.

6.3.5. Установить переключателем, расположенным на лицевой панели, необходимую ступень ПБВ трансформатора Т4 и на наборном поле с помощью переключателей программу переключения анцапф РПН трансформатора Т2. Подключить и подготовить к работе самопишущие приборы.

6.3.6. Запустить установку и провести регистрацию напряжений на суточном цикле аналогично п.4.3.2.

6.3.7. Обработать результаты измерений в соответствии с п.4.3.3. и оценить соответствие напряжения в моделируемой сети требованиям ГОСТ [2].

6.3.8. По полученным в пункте 4.3.7. результатам построить для режимов максимальных и минимальных нагрузок диаграммы отклонений напряжения для моделируемой сети (аналогично рис.4.1). Отклонения V_1 и V_2 определяются при этом экспериментально, V_0 — расчетным путем по формуле (4.1). Так как на модели не представлена цеховая сеть 380/220 В (ШМ на рис.5), то потери в этой сети (ΔU_4) не учитываются и V_3 не оценивается.

6.3.9. Приняв для шин 380/220 В цеховой ТП допустимые значения отклонений $V^{(+)}_{2\text{дон}} = 5\%$, $V^{(-)}_{2\text{дон}} = 0$, определить соответствующие отклонения V_0 , которые должна обеспечить энергоснабжающая организация на линии раздела балансовой принадлежности сетей для режимов максимума и минимума нагрузок.

Принять время максимума с 8 до 12 часов утра, минимума – с 2 до 5 часов ночи. При этом необходимо помнить, что в реальной практике расчета требуемых значений V_0 необходим учет работы компенсирующих устройств, что в настоящей лабораторной работе не производится для упрощения ее выполнения и еще в связи с тем, что вопросы компенсации реактивных нагрузок рассматриваются в следующей лабораторной работе.

Содержание отчета

6.3.10. Оформить отчет по лабораторной работе, который должен содержать:

- формулировку задач исследований;
- результаты оценки отклонений напряжений в моделируемой сети.;
- суточный график переключения анцапф трансформатора Т2;
- результаты, полученные после реализации мероприятий;
- напряжения;
- выводы по работе.

6.4. Подготовка к работе

Самостоятельная подготовка к работе состоит в следующем:

- 7) повторение теоретического материала [1];
- 8) подготовка к ответам на контрольные вопросы;
- 9) расчет потерь напряжения в трансформаторе Т2 для режимов максимальных и минимальных нагрузок.

6.5. Контрольные вопросы

6.5.1. Какие допускаются отклонения напряжения в промышленных электросетях по ГОСТ 13109—97 и почему?

6.5.2. Как зависит работа различных электроприемников от величины напряжения в сети?

6.5.3. Какие способы улучшения напряжения используются в промышленных электросетях и в сетях энергосистем?

6.5.4. Постройте векторную диаграмму токов и напряжений для простейшей сети с сопротивлением $R+jX$ и током $I-jI''$.

6.5.5. Какие имеются оценки отклонений напряжения и как они вычисляются?

Список литературы

1. Суворин А.В. Приемники и потребители электрической энергии систем электро-снабжения: учебное пособие / А.В. Суворин. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 354 с. Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=364591
2. Шлейников В. Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия: учебное пособие \ Шлейников В. Б., Сазонова Т.В. Оренбургский гос. Ун-т. – Оренбург ОГУ, 2012 – 110с. Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=270272>
3. Рекус Г.Г. Электрооборудование производств. Справочное пособие. – М.: Директ-Медиа, 2014. - 710 с. Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=229238

Лабораторная работа №5

Тема занятия Выбор параметров основного электрооборудования и нагрузочная способность.

Цель занятия. Приобрести навыки выполнения расчета электрических нагрузок в электроустановках напряжением выше 1 кВ методом упорядоченных диаграмм.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции. Знает закономерности формирования величины расчетной нагрузки на различных уровнях системы электроснабжения и практические методы ее расчета. Владеет способностью к самоорганизации и самообразованию

Формируемые компетенции: готовностью определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности

Теоретическая часть

Исследование помех по электропитанию в промышленных электросетях

5.1. Цель работы

Исследование провалов напряжения в промышленных электросетях, являющихся помехами по электропитанию для цифровых технических средств.

5.2. Введение

В ГОСТ [2] установлены новые показатели качества электроэнергии, характеризующие кратковременные искажения напряжения в сети, возникающие при различных переходных процессах. Это вызвано тем, что кратковременные искажения напряжения являются помехами по электропитанию в наибольшей степени для цифровых технических средств (ЦТС) [3]. Все помехи по электропитанию принято делить на два вида: длительные (провалы и выбросы напряжения длительностью от единиц миллисекунд до нескольких секунд) и импульсные – коммутационные перенапряжения длительностью, измеряемой миллисекундами и микросекундами.

Оборудование

В данной лабораторной работе исследуются только провалы напряжения, для которых ГОСТ [2] устанавливает следующие параметры:

Δt — длительность провала напряжения, с; ΔU — глубина провала напряжения, %.

Причины возникновения провалов напряжения в электрических сетях предприятий рассмотрены в работе [3]. Все множество этих причин можно разделить на два вида. Первый – провалы напряжения «приходящие» из сетей энергосистемы, второй — провалы, вызываемые явлениями в электросетях предприятия (пиковые нагрузки, аварийные переключения и др).

Техника безопасности

В лабораторной установке смоделированы оба указанных вида провалов. Причем провал второго вида вызывается пиковой нагрузкой на стороне 0,4 кВ цеховой ТП и обусловлен потерей напряжения от пиковой нагрузки на сопротивлении трансформатора 10/0,4 кВ.

В лабораторной работе необходимо с помощью электронного осциллографа определить время провалов напряжения, их глубину и длительность, а также среди зафиксированных провалов выделить провалы первого и второго вида. Глубина ΔU провалов второго вида может быть уменьшена при параллельной работе трансформатора Т3 и Т4.

5.3. (задание)

5.3.1. Включить питание лабораторного стенда, включить нагрузку S_1 , отключить трансформатор Т3. Остальные элементы мнемосхемы могут быть в любом состоянии (включено или выключено). Подключить электронный осциллограф для контроля напряжения на шинах 0,4 кВ цеховой ТП (рис.2). Настроить осциллограф таким образом, чтобы можно было оценить глубину и длительность провала наблюдаемого на экране напряжения.

5.3.2. Запустить установку нажатием кнопки « Пуск » и, внимательно наблюдая на экране осциллографа за исследуемым напряжением, зафиксировать провалы напряжения (время, глубину, длительность). Проанализировать результаты наблюдений, выявив среди зафиксированных провалов те, которые вызваны пиковой нагрузкой в сети 0,4 кВ цеховой ТП.

5.3.3. Включить трансформатор Т3 на параллельную работу с трансформатором Т4 и повторить эксперимент в соответствии с п.5.3.2. Оценить степень уменьшения глубины провалов напряжения, обусловленных пиковой нагрузкой в сети 0,4 кВ.

Содержание отчета

5.3.4. Оформить отчет по лабораторной работе, который должен содержать:

- формулировку задачи лабораторного исследования;
- результаты наблюдений по пп.5.3.2 и 5.3.3 в форме таблицы с указанием времени посадки, ее длительности и глубины, а также вида (первый и второй);
- выводы по работе.

5.4. Подготовка к работе

Самостоятельная подготовка к работе состоит в изучении теоретического материала по литературе [3] и в подготовке ответов на контрольные вопросы.

5.5. Контрольные вопросы

5.5.1. Каковы причины провалов напряжения в промышленных электросетях?

5.5.2. Опишите механизм воздействия провалов напряжения на ЦТС.

5.5.3. Какими путями можно обеспечить устойчивость ЦТС к провалам напряжения?

5.5.4. Какие нормы на провалы напряжения установлены в ГОСТ 13109-97 [2]?

Список литературы

1. Суворин А.В. Приемники и потребители электрической энергии систем электро-снабжения: учебное пособие / А.В. Суворин. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 354 с. Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=364591
2. Шлейников В. Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия: учебное пособие \ Шлейников В. Б., Сазонова Т.В. Оренбургский гос. Ун-т. – Оренбург ОГУ, 2012 – 110с. Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=270272>
3. Рекус Г.Г. Электрооборудование производств. Справочное пособие. – М.: Директ-Медиа, 2014.- 710 с. Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=229238

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка является физической моделью системы электроснабжения промышленного предприятия (СЭПП) и предназначена для учебной работы студентов. На установке моделируется суточный цикл работы типовой СЭПП.

Мнемосхема установки, приведенная на ее лицевой панели, включает следующие элементы типовой СЭПП (рис.1):

1) главную понизительную подстанцию (ГПП) 110/10 кВ, состоящую из трансформаторов Т1, Т2 номинальной мощностью по 10000 кВА и распределительного устройства (РУ) 10 кВ. Имеется возможность ручного или автоматического по времени суток переключения анцапф РПН трансформатора Т2;

2) цеховую трансформаторную подстанцию 10/0,4 кВ, состоящую из трансформаторов Т3 и Т4 номинальной мощностью по 1000 кВА. Трансформатор Т4 оснащен устройством переключения отпаек без возбуждения (ПБВ);

3) синхронный двигатель СДН-10-1250, имеющий ручную регулировку возбуждения;

4) батареи силовых конденсаторов на номинальное напряжение 10,5 кВ (БК1 и БК2) и на напряжение 0,4 кВ (БК3). Имеется возможность ручного или автоматического по времени суток включения и отключения батареи. Мощность батарей задается тумблерами, расположенными под их мнемосимволами на схеме;

5) силовой пункт СП в цеховой сети 380/220 В, к которому подключена нелинейная нагрузка S_3 , вызывающая появление на шинах СП высших гармоник напряжения;

б) фильтрокомпенсирующее устройство ФКУ, предназначенное для уменьшения уровня высших гармоник напряжения на шинах СП.

На мнемосхеме размещены следующие измерительные приборы:

V_1 — щитовой киловольтметр для измерения напряжения с высокой стороны трансформатора ГПП Т2 (на линии раздела балансовой принадлежности сетей);

V_2 — киловольтметр для контроля напряжения на шинах РУ 10 кВ;

V_3 — вольтметр для контроля напряжения на шинах РУ 380/220 В цеховой ТП;

V_4 — вольтметр для контроля напряжения на шинах 220 В СП.

$СП$ — универсальный самопишущий прибор, клеммы подключения которого выведены на гнезда «Измерит. приборы», размещенные на лицевой панели установки;

$A_1 - A_3$ — щитовые амперметры, служащие для контроля токов в моделируемой сети.

Параметры моделируемых элементов приведены в табл. I.

График нагрузки S_2 цеховой ТП моделируется близким к реальному. Он программно задан и всегда один и тот же для конкретной установки (на разных установках графики S_2 отличаются).

Остальные (по отношению к приведенной на мнемосхеме цеховой ТП) потребители 10 кВ ГПП представлены обобщенной нагрузкой S_1 , график которой задается жесткой программой. Нагрузка синхронного двигателя, подключенного к шинам 10 кВ ГПП, неизменна во времени.

В моделируемой сети 0,4/ 0,23 кВ представлен на мнемосхеме один из силовых пунктов СП с нелинейной нагрузкой (однофазный выпрямитель), которая обуславливает наличие в напряжении на шинах СП высших гармоник напряжения. Для компенсации этих гармоник установлено фильтрокомпенсирующее устройство ФКУ, подключение которого производится тумблером, расположенным на лицевой панели. На лицевую панель выведены также клеммы для измерения напряжения на шинах СП, а также токов в НН и ФКУ.

Все органы управления установкой расположены на лицевой панели. В нижнем правом углу панели установлен автомат включения питания. У изображения коммутационных аппаратов установлены кнопки включения (черная кнопка) и отключения (красная

кнопка) этих аппаратов. Сигнальные лампы показывают состояние коммутационного аппарата. Измерительные приборы, размещенные на лицевой панели, служат для измерения токов в линиях и напряжений на шинах 10,5 кВ и 0,4 кВ. Активная и реактивная энергия в цепях Т2 и Т4 измеряются индукционными счетчиками, установленными внутри стенда. Счетчики снабжены датчиками числа оборотов их дисков. Рядом с мнемосимволом трансформатора Т2 расположены кнопки переключения анцапф трансформатора и сигнальные лампы.

Таблица 1

Параметры элементов системы электроснабжения, моделируемой на лабораторной установке

Обозначение на мнемосхеме (рис.1.1)	Тип	Номинальное напряжение	Параметры
Т1, Т2	ТДН – 10000/110	115/11	$S_H = 10000$ кВА, $\Delta P_{xx} = 27$ кВт, $\Delta P_{кз} = 74$ кВт, $U_K = 10,5\%$, $I_{xx} = 0,9\%$; Ступени РПН: +5 %, +2,5%, 0, -2,5%, -5%
Т3, Т4	ТМЗ-1000/10	10/0,4	$S_H = 1000$ кВА, $\Delta P_{xx} = 2,4$ кВт, $\Delta P_{кз} = 12,2$ кВт, $U_K = 5,5\%$, $I_{xx} = 2\%$; $T_o = 1,5$ ч, $V_{\mu} = 55^{\circ}C$; Ступени ПБВ: +5%, +2,5%, 0, -2,5%, -5%
БК1 БК2		10/5	$Q_H = 4 \times 350 = 1400$ кВАр (каждая батарея имеет 4 ступени по 350 кВАр) $\Delta P_o = 0,0025 \frac{кВТ}{кВАр}$
БК3	УКЛ-0,38	0,4	$Q_H = 210 + 105 + 42 + 3 \cdot 21 =$ кВАр; $\Delta P_o = 0,0045$ кВАр
Кабель питающий Т4	АСБ – 10(3·50)	10,5	$I_{\partial\partial} = 140$ А; $R_o = 0,62$ Ом/км; $X_o = 0,04$ Ом/км; $l = 1$ км; $T_o = 15$ мин; $V_{\partial\partial} = 45^{\circ}C$
СД	СДН-10-1250	10	$P_H = 1250$ кВт; $\cos \psi_H = 0,9$; $K_3 = 0,8$; $D_1 = 6,77$ кВт; $D_2 = 6,98$ кВт
ФКУ		0,4	Фильтр 3-ей гармоники

Тумблеры «Мощность БК» и переключатель «Реактивная мощность СД» предназначены для задания величины генерируемой реактивной мощности конденсаторных батарей и синхронного двигателя соответственно (мощность указана в кВАр). Переключателем «Отпайка Т4» производится установка отпайки трансформатора Т4. В центральной части лицевой панели расположены органы управления режимами работы всей установки: кнопка «Пуск» – для запуска установки в работу; кнопка «Сброс» – для возврата установки в работу; кнопка «Остановка» – фиксирование какого-либо режима установки; цифровое табло для контроля модельного времени суток. Коммутационное поле, расположенное в правом верхнем углу, предназначено для задания автоматического режима работы элементов схемы. В лабораторной установке возможно автоматическое по времени суток

переключение анцапф трансформатора Т2, а также включение и отключение трансформатора Т3 и конденсаторных, батарей БК1, БК2, БК3.

Лабораторная установка имеет два режима работы:

1. При включении питания – режим подготовки (исходный режим). В этом режиме задаются начальные условия (включение и отключение соответствующих элементов системы); устанавливается программа работы по времени суток устройства РПН трансформатора Т2; трансформатора Т3 конденсаторных батарей БК1, БК2, БК3 (на коммутационном поле). Подключаются и настраиваются необходимые измерительные приборы, а также проверяется готовность установки к «прогонке» суточного цикла.

2. При нажатии кнопки «Пуск» включается процесс моделирования нагрузок суточного цикла. Загорается цифра 01 на цифровом табло, и происходит подача питания на моделируемую схему, которая до этого была обесточена.

Суточный цикл работы системы электроснабжения моделируется за 12 мин (1 час реальной системы за 30 с установки). Модельное время суток в часах показывается на цифровом табло.

По окончании суточного цикла установка автоматически возвращается в исходный режим. При необходимости установку можно вернуть в исходный режим принудительным нажатием «Сброс». Кнопкой «Остановка» останавливается программа моделирования суточного цикла.

Шкалы всех амперметров и вольтметров на лицевой панели стенда проградуированы в действительных величинах. Эти приборы используются для визуального контроля параметров режима моделируемой системы.

Для проведения необходимых измерений при выполнении лабораторных работ имеется самопишущий прибор СП. Схема подключения измерительных трансформаторов тока, напряжения и самопишущего прибора показана на рис.2. Гнезда «Измерительная аппаратура» (ИА) расположены на лицевой панели установки.

Масштабы всех величин приведены в табл.2.

При выполнении ряда измерений используется дополнительная аппаратура (осциллограф, измеритель нелинейных искажений и др.). Устройство и работа этой аппаратуры изучаются в соответствующих лабораторных работах.

Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ

1. Категорически запрещается:

- трогать руками оголенные провода и части приборов, находящиеся под напряжением, даже если оно невелико; - прикасаться к вращающимся частям электрических машин; - производить изменения в схеме при подключенном источнике питания; - заменять или брать оборудование или приборы с других рабочих мест без разрешения преподавателя или лаборанта; - отходить от приборов и машин, находящихся под напряжением или оставлять схему под напряжением при обработке результатов измерений; - перегружать приборы током или напряжением, превышающим номинальное значение.

2. Проверку наличия подаваемого к схеме или элементам схемы напряжения необходимо производить только контрольной лампочкой или вольтметром, соблюдая правила техники безопасности. При работе в лаборатории следует строго соблюдать меры предосторожности, так как электрический ток, проходящий через тело человека, величиной в 0,025 А уже является опасным для жизни.

Таблица 2
Масштабы модели

Наименование		Обозначение	Единица измерения	Числовые значения
Масштабы модели		μ_t	$\frac{с.действ}{с.модели}$	240
Масштабы счетчиков электроэнергии	Wh1	$\mu_{aэ}$	$\frac{кВт·ч}{импульс}$	250
	Varh1 Wh2 Varh2	$\mu_{рэ}$	$\frac{кВар·ч}{импульс}$	
	Wh2	$\mu_{aэ}$	$\frac{кВт·ч}{импульс}$	35(70)
	Varh2	$\mu_{рэ}$	$\frac{кВАр·ч}{импульс}$	
Масштабы измерительных трансформаторов напряжения (рис.2)	TH1	μ_u	$\frac{В·действ}{В.модели}$	100
	TH2	μ_u	$\frac{В·действ}{В.модели}$	10
	TH3	μ_u	$\frac{В·действ}{В.модели}$	10
	TT1	μ_I	$\frac{А·действ}{А.модели}$	
	TT2	μ_I	$\frac{А·действ}{В.модели}$	
	TT3	μ_I	$\frac{А·действ}{В.модели}$	
Масштаб блока определения температуры перегрева кабеля (рис.2)	БОТ	μ_V	$\frac{°C}{Вмодели}$	