


# МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
\_\_\_\_\_ Лоскунова  
«15» \_\_\_\_\_ 2017 г.



## СИСТЕМЫ КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Методические указания к практическим занятиям  
для студентов направления подготовки 13.04.02  
Электроэнергетика и электротехника

Курск 2017

УДК 621.31

Составители: В.И. Бирюлин, А.Н.Горлов, Д.В. Куделина

Рецензент:

Кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Электроснабжение» *В.Н. Алябьев*

**Системы коммерческого учета энергоресурсов:**  
методические указания к практическим занятиям / Юго-Зап. гос.  
ун-т; сост.: В.И. Бирюлин, А.Н. Горлов, Д.В. Куделина. – Курск,  
2017. – 25 с.: – Библиогр.: с.25.

Содержат сведения по организации коммерческого учета энергетических ресурсов, принципам построения и использования автоматизированных систем коммерческого учета энергоресурсов. Рассматриваются способы обмена данными между различными уровнями автоматизированных систем коммерческого учета энергоресурсов.

Предназначены для направления подготовки 13.04.02  
Электроэнергетика и электротехника всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 15.12.17 . Формат 60x84 1/16.

Усл.печ.л.14. Уч.–изд.л.13. Тираж 100 экз. Заказ 2912. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г.Курск, ул.50 лет Октября, 94

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1

### АНАЛИЗ И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ГРАФИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

*Цель работы:* ознакомление с показателями качества электроэнергии, формулами для их расчета, нормативными значениями этих показателей.

#### Краткие методические указания

График электрических нагрузок представляет зависимости потребляемой мощности, записанные по показаниям счетчиков активной и реактивной энергии, снятым через определенные одинаковые интервалы времени.

Форма суточного графика нагрузок определяется режимом работы предприятия. Для предприятий с односменным режимом работы наблюдается один ярко выраженный максимум, соответствующий началу работы (8-9 часов утра). При двух- и трехсменном режиме появляется второй максимум (в районе 16-17 часов), который может быть больше или меньше первого в зависимости от продолжительности светового дня.

При этом электрическая нагрузка потребителей и генерация источников зависят от большого числа случайных факторов. Поэтому они являются случайными величинами.

Для анализа и сжатия информации о нагрузках, представленных суточными графиками, используются выборочные точечные и интервальные оценки случайных величин.

Выборочная средняя мощность (математическое ожидание) нагрузки:

$$P_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}; \quad (1)$$

$$Q_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}; \quad (2)$$

где  $P_i$ ,  $Q_i$  – активная и реактивная мощности на  $i$ -й ступени графика, МВА;

$n$  – количество ступеней графика нагрузки.

Среднее квадратическое (стандартное) отклонение для активной и реактивной мощности:

$$S_P = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{n}\right)^2}{n-1}}; \quad (3)$$

$$S_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n Q_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{n}\right)^2}{n-1}}. \quad (4)$$

Дисперсия случайной величины:

$$\begin{aligned} D_P &= S_P^2; \\ D_Q &= S_Q^2. \end{aligned} \quad (5)$$

Для определения достоверности точечных оценок, полученных с использованием ограниченного массива данных, в математической статистике рассматриваются доверительные интервалы:

- доверительный интервал средней величины:

$$\begin{aligned} P_{cp} \pm t_{n-1,\alpha} \cdot \sigma_P / \sqrt{n}; \\ Q_{cp} \pm t_{n-1,\alpha} \cdot \sigma_Q / \sqrt{n}; \end{aligned} \quad (6)$$

где  $t_{n-1,\alpha}$  - коэффициенты распределения Стьюдента с  $(n - 1)$  степенями свободы и уровнем достоверности  $\alpha$  (обычно принимается равным 0,95 или 0,9);

- доверительный интервал стандартного отклонения или дисперсия:

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_P^2 \cdot (n-1)}{\chi_{n-1,\beta/2}^2} \leq \sigma_P^2 \leq \frac{\sigma_P^2 \cdot (n-1)}{\chi_{n-1,1-\beta/2}^2}; \\ \frac{\sigma_Q^2 \cdot (n-1)}{\chi_{n-1,\beta/2}^2} \leq \sigma_Q^2 \leq \frac{\sigma_Q^2 \cdot (n-1)}{\chi_{n-1,1-\beta/2}^2}; \end{aligned} \quad (7)$$

где  $\chi_{n-1,\beta/2}^2$  – коэффициенты распределения Пирсона при  $(n - 1)$  степенях свободы и статистической надежности  $\beta$ .

Параметры  $t_{n-1,\alpha}$  и  $\chi_{n-1,\beta/2}^2$  определяются по справочным таблицам или рассчитываются на вычислительной технике.

## **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с точечными и интервальными оценками случайных величин.
2. Изучить формулы для их расчета.
3. По заданным графикам электрической нагрузки определить значения точечных и интервальных оценок случайных величин.
4. Сделать выводы о допустимости найденных значений показателей КЭ.

## **Контрольные вопросы**

1. Как определяется график нагрузки?
2. Чем определяется форма суточного графика нагрузок?
3. Почему электрическая нагрузка потребителей является случайной величиной?
4. Как определяется математическое ожидание нагрузки?
5. Что относится к случайным событиям при рассмотрении графиков нагрузки?

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

### ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО УЧЕТУ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

*Цель работы:* ознакомление с общими или типовыми положениями по учету электрической энергии.

#### Краткие методические указания

Основной целью учета электроэнергии является получение достоверной информации о производстве, передаче, распределении и потреблении электрической энергии на оптовом и розничном рынках электроэнергии для решения основных технико-экономических задач:

- финансовых расчетов за электроэнергию и мощность между субъектами рынка (энергоснабжающими организациями, потребителями электроэнергии) с учетом ее качества;

- определения и прогнозирования технико-экономических показателей производства, передачи и распределения электроэнергии в энергетических системах;

- определения и прогнозирования технико-экономических показателей потребления электроэнергии на предприятиях промышленности, транспорта, сельского хозяйства, коммунально-бытовым сектором и др.;

- обеспечения энергосбережения и управления электропотреблением.

Качество подаваемой энергоснабжающей организацией энергии должно соответствовать требованиям, установленным государственными стандартами и иными обязательными правилами или предусмотренным договором энергоснабжения.

Учет активной электроэнергии должен обеспечивать определение количества электроэнергии (и в необходимых случаях средних значений мощности):

- выработанной генераторами электростанций;

- потребленной на собственные и хозяйственные нужды (раздельно) электростанций и подстанций, а также на производственные нужды энергосистемы;

- отпущенной потребителям по линиям, отходящим от шин электростанций непосредственно к потребителям;
- переданной в сети других собственников или полученной от них;
- отпущенной потребителям из электрической сети;
- переданной на экспорт и полученной по импорту.

Организация учета активной электроэнергии должна обеспечивать возможность:

- определения поступления электроэнергии в электрические сети различных классов напряжения энергосистем;
- составления балансов электроэнергии для хозрасчетных подразделений энергосистем и потребителей;
- контроля за соблюдением потребителями заданных им режимов потребления и балансов электроэнергии;
- расчетов потребителей за электроэнергию по действующим тарифам, в том числе многоставочным и дифференцированным;
- управления электропотреблением.

Учет реактивной электроэнергии должен обеспечивать возможность определения количества реактивной электроэнергии, полученной потребителем от электроснабжающей организации или переданной ей, если по этим данным производятся расчеты или контроль соблюдения заданного режима работы компенсирующих устройств.

Учет электроэнергии производится на основе измерений с помощью счетчиков электрической энергии и информационно-измерительных систем.

Для учета электроэнергии должны использоваться средства измерений, типы которых утверждены Госстандартом России и внесены в Государственный реестр средств измерений.

Государственный метрологический контроль и надзор за средствами измерений, применяемыми при проведении учета электроэнергии, осуществляется органами Госстандарта России и аккредитованными им метрологическими службами на основе действующей нормативной документации.

Организация учета электроэнергии на действующих, вновь сооружаемых, реконструируемых электроустановках должна осуществляться в соответствии с требованиями действующих нормативно-технических документов в части:

- мест установки и объемов средств учета электроэнергии на электростанциях, подстанциях и у потребителей;
- классов точности счетчиков и измерительных трансформаторов;
- размещения счетчиков и выполнения электропроводки к ним.

Учет активной и реактивной энергии и мощности, а также контроль качества электроэнергии для расчетов между энергоснабжающей организацией и потребителем производится, как правило, на границе балансовой принадлежности электросети.

Для повышения эффективности учета электроэнергии в электроустановках рекомендуется применять автоматизированные системы учета и контроля электроэнергии, создаваемые на базе электросчетчиков и информационно-измерительных систем.

### **Порядок выполнения работы**

1. Изучить основные требования к организации учета электрической энергии.
2. Изучить основные технико-экономические задачи, решаемые применением учета электрической энергии
3. Изучить назначение учета электрической энергии.
4. Определить для заданной преподавателем схемы электрической сети места установки счетчиков.

### **Контрольные вопросы**

1. Назначение электрической энергии.
2. Различия между учетом активной и реактивной электроэнергии.
3. Требования к средствам измерения электрической энергии.
4. Где должны размещаться средства измерения электрической энергии?



## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

### УЧЕТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ЕЕ ПРОИЗВОДСТВЕ, ПЕРЕДАЧЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИИ

*Цель работы:* ознакомление с типовыми методами учета электроэнергии при ее производстве, передачи и распределении.

#### Краткие методические указания

Учет активной электроэнергии на электростанциях. Расчетные счетчики электроэнергии на электростанциях должны устанавливаться для учета электроэнергии, выработанной генераторами, потребленной на собственные и хозяйственные нужды, отпущенной в сети других собственников, а также для учета средних значений мощности, отпускаемой электростанциями в сети за установленный интервал текущего времени по соответствующим присоединениям электростанций.

Классы точности и количество расчетных счетчиков электроэнергии должны соответствовать указанному в ПУЭ.

На электростанциях расчетные счетчики должны обеспечивать учет выработанной и переданной электроэнергии через станционную электросеть за границу балансовой принадлежности и устанавливаться: на генераторах; на трансформаторах собственных нужд; на линиях, присоединенных к шинам основного напряжения собственных нужд; у потребителей электроэнергии на хозяйственные нужды; на межсистемных линиях электропередачи; на линиях, принадлежащих потребителям, присоединенных непосредственно к шинам электростанций; на резервных возбудителях. Расход электроэнергии на резервное возбуждение исключается одновременно из выработки данного генератора и расхода электроэнергии на собственные нужды электростанции.

Для учета электроэнергии, расходуемой на хозяйственные нужды

электростанции, расчетные счетчики должны устанавливаться: при питании

группы потребителей от отдельного трансформатора, как правило, на стороне

высшего напряжения трансформатора; при питании от различных

трансформаторов или секций шин собственных нужд - на каждой линии,

отходящей к потребителю в соответствии с ПУЭ (п. 1.5.7).

Места установки и классы точности счетчиков технического учета электроэнергии, а также измерительных трансформаторов должны соответствовать требованиям, изложенным в ПУЭ (гл. 1.5), и требованиям разд. 9 Типовой инструкции (РД 34.09.101-94).

Потери электроэнергии в станционной электросети электростанции, являющейся филиалом АО-энерго, включаются в технологический расход электроэнергии на ее транспорт по сетям АО-энерго.

Оборудование и внутростанционные линии, потери электроэнергии в которых относятся к потерям в станционной электросети, включают: главные (повышающие) трансформаторы и автотрансформаторы связи; распределительные устройства; линии электропередачи и шинопроводы; отдельно стоящие подстанции (находящиеся на балансе электростанции).

Потери электроэнергии в главных трансформаторах электростанции, находящейся на самостоятельном балансе, и блок - станции относятся к потерям в станционной электросети как при отдаче, так и при получении электроэнергии от электрической сети других собственников.

При наличии на электростанции, находящейся на самостоятельном балансе (блок - станции), шин нескольких классов напряжения и транзита электроэнергии через главные трансформаторы и автотрансформаторы связи появляются дополнительные потери электроэнергии в трансформаторах (автотрансформаторах) от этих перетоков.

Учет активной электроэнергии в электрических сетях. Учет активной электроэнергии в электрических сетях должен организовываться применительно к подстанциям, а также к структурным подразделениям:

районам электрических сетей (РЭС), предприятиям электрических сетей (ПЭС), АО-энерго в целом, РАО «ЕЭС России».

На подстанции РАО «ЕЭС России» расчетные счетчики устанавливаются для учета электроэнергии, поступившей на ее шины от АО-энерго и отпущенной в сети АО-энерго и других собственников по линиям, не принадлежащим РАО «ЕЭС России», а также для учета расхода электроэнергии на хозяйственные нужды подстанции.

На подстанции АО-энерго расчетные счетчики должны устанавливаться для учета электроэнергии, поступившей на ее шины из сетей РАО «ЕЭС России», от других АО-энерго, а также для учета электроэнергии, отпущенной в сети других собственников, и для учета расхода электроэнергии на хозяйственные нужды подстанции.

Счетчики технического учета на подстанциях АО-энерго и РАО «ЕЭС России» должны устанавливаться для учета электроэнергии, поступившей (отпущенной) на их шины (с шин) из сети (в сеть) собственника подстанции (АО-энерго или РАО «ЕЭС России»), а также для учета расхода электроэнергии на производственные и собственные нужды подстанций.

На подстанциях 330 кВ и выше счетчики технического учета, учитывающие поступившую (переданную) электроэнергию, должны соответствовать классу точности расчетных счетчиков.

Для контроля достоверности учета электроэнергии на подстанции назначается комиссия, которая ежемесячно составляет баланс и оформляет акт поступления и отпуска электроэнергии по показаниям счетчиков на 24.00 ч местного времени последних суток отчетного месяца, снятым персоналом подстанции. Состав комиссии утверждается приказом.

Особенности учета межсистемных перетоков электроэнергии. Под межсистемными перетоками понимаются перетоки электрической энергии и мощности по межсистемным линиям электропередачи.

Учет межсистемных перетоков электроэнергии производится в целях финансовых расчетов за нее, а также для определения потерь электроэнергии от этих перетоков и оптимизации режимов электрических сетей.

На межсистемных линиях напряжением 110 кВ и выше следует устанавливать расчетные счетчики на обоих концах линии в целях более полного обеспечения договорных интересов субъектов рынка, точного определения потерь и обеспечения взаимного резервирования счетчиков.

Счетчики должны быть одного класса точности и иметь погрешность одинакового знака, и быть, как правило, однотипными.

Расчетные счетчики, установленные на межсистемных линиях электропередачи, должны подвергаться периодической калибровке совместно представителями сторон. Сроки и порядок калибровки определяются договором сторон.

### **Порядок выполнения работы**

1. Для заданной преподавателем схемы электрической станции определить места установки расчетных счетчиков.
2. Определить для выбранных счетчиков классы точности.
3. Для заданной преподавателем схемы электрической сети определить места установки расчетных счетчиков.
4. Определить для выбранных счетчиков классы точности.

### **Контрольные вопросы**

1. Для чего производится учет межсистемных перетоков электроэнергии?
2. Когда счетчики технического учета должны соответствовать классу точности расчетных счетчиков?
3. Требования к расчетным счетчикам, установленным на межсистемных линиях электропередачи.
4. Как контролируется достоверность учета электроэнергии на подстанции?

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

### АВТОМАТИЗАЦИЯ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ

*Цель работы: ознакомление с методами автоматизации учета электроэнергии и мощности.*

#### Краткие методические указания

Для автоматизации учета электроэнергии и мощности в электрических сетях рекомендуется внедрять системы АСКУЭ, которые обеспечивают решение следующих задач:

- сбор и формирование данных на энергообъекте для использования их при коммерческих расчетах;
- сбор и передача информации на верхний уровень управления и формирование на этой основе данных для проведения коммерческих расчетов между субъектами рынка (в том числе по сложным тарифам);
- формирование баланса производства и потребления электроэнергии по отдельным узлам, районам, АО-энерго в целом, а также по РАО «ЕЭС России»;
- оперативный контроль и анализ режимов потребления мощности и электроэнергии основными потребителями; формирование статистической отчетности; оптимальное управление нагрузкой потребителей;
- автоматизация финансово - банковских операций и расчетов с потребителями;
- контроль достоверности показаний приборов учета электроэнергии.

Системы АСКУЭ должны выполняться по проектам, как правило, на базе серийно выпускаемых технических средств и программного обеспечения.

В состав комплекса технических средств АСКУЭ, устанавливаемого на энергообъекте, должны входить: счетчики электроэнергии, оснащенные датчиками - преобразователями, преобразующими измеряемую энергию в пропорциональное количество выходных импульсов (при использовании электронных реверсивных счетчиков - отдельно на каждое

направление); аттестованные устройства сбора информации от счетчиков и передачи ее на верхние уровни управления (УСПД); каналы связи; средства обработки информации (как правило, персональные ЭВМ).

Для повышения точности учета средних значений мощности рекомендуется применять электронные счетчики.

Устройства УСПД должны обеспечивать одновременность снятия показаний со всех контролируемых счетчиков, для чего должны быть оснащены встроенной системой точного астрономического времени с индикацией года, месяца, числа, часа, минут и секунд с автоматической его коррекцией по сигналам точного времени.

Устройства УСПД должны быть защищены от несанкционированного доступа и изменения констант и данных учета.

Устройства УСПД должны обеспечивать хранение необходимой информации по энергообъектам: до 5 сут. - с круглосуточным дежурством и дежурством «на дому», до 45 сут. - с обслуживанием оперативно - выездными бригадами (ОВБ).

При перерыве основного питания УСПД должны обеспечивать сохранность накопленных данных и ход часов.

Установленные на энергообъекте УСПД совместно со счетчиками должны быть при вводе в эксплуатацию метрологически аттестованы.

Система сбора и передачи информации в АСКУЭ должна иметь иерархическую структуру, в основном совпадающую со структурой передачи информации в АСДУ с использованием коммутируемых и выделенных каналов связи (высокочастотные по линиям электропередачи, АТС, радио, проводные).

Каждый элемент системы учета должен быть аттестован, а система в целом должна быть принята в эксплуатацию в установленном порядке.

Система учета электроэнергии должна иметь выходы на общий для электроустановки или индивидуальный независимый регистратор событий, фиксирующий все отклонения от нормального режима работы, возникающие в ее первичной цепи, во вторичных цепях тока и напряжения и каналах связи.

Система учета электроэнергии должна выполнять заданные функции при нормальных, аварийных и послеаварийных

режимах работы электрической сети. При этом должна обеспечиваться работа входящих в нее элементов с погрешностями, не превышающими предельные, установленные заводскими техническими условиями (ТУ) на указанные элементы.

Система учета электроэнергии должна быть защищена от воздействия (сверх установленных ТУ на элементы) электромагнитных полей, механических повреждений и от несанкционированного доступа.

Для межсистемных линий электропередачи напряжением 500 кВ и выше рекомендуются счетчики класса точности 0,2.

Класс точности счетчиков реактивной электроэнергии может быть на одну ступень ниже класса точности соответствующих счетчиков активной электроэнергии.

Учет активной электроэнергии трехфазного тока на генераторах, присоединениях 110 кВ и выше, как правило, должен производиться с помощью трехфазных трехэлементных счетчиков, имеющих измерительные блоки в каждой фазе.

### **Порядок выполнения работы**

1. Для заданной преподавателем схемы электрической сети определить примерную структуру АСКУЭ.
2. Выбрать для составленной структуры АСКУЭ комплектующие элементы.
3. Составить примерный список мероприятий по защите от электромагнитных полей, механических повреждений и от несанкционированного доступа.
4. Выбрать оптимальные каналы связи.

### **Контрольные вопросы**

1. Назначение системы АСКУЭ?
2. Состав системы АСКУЭ.
3. Какую структуру должна иметь система АСКУЭ?
4. Назначение независимого регистратора событий ?

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5

### УЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ НА ЭНЕРГООБЪЕКТАХ

*Цель работы: ознакомление с методами учета электрической энергии на энергообъектах.*

#### Краткие методические указания

За погрешность измерений в точке учета электроэнергии принимают относительную погрешность измерительного комплекса (инструментальную погрешность).

Погрешность измерений электроэнергии должна соответствовать нормам, указанным в РД 34.11.321-96.

Средства измерений. При выполнении измерений электроэнергии в соответствии с РД 34.09.101-94 применяют измерительные комплексы, в состав которых в общем случае в качестве технических средств могут входить:

- измерительные трансформаторы тока (далее — ТТ);
- измерительные трансформаторы напряжения (далее — ТН);
- счетчики электроэнергии индукционные и/или электронные; линии присоединения счетчиков к ТН.

Типы средств измерений (далее — СИ) и схемы их подключения определяются числом фаз, уровнем напряжения и тока контролируемой сети в точке учета и должны соответствовать технической документации на энергообъект, требованиям Главгосэнергонадзора РФ и ведомственной технической документации.

При выполнении измерений в цепях с реверсивным режимом работы применяют электронные счетчики электроэнергии двух направлений потока или два индукционных счетчика со стопорами против обратного хода.

Классы точности счетчиков и измерительных трансформаторов, а также потери напряжения в линиях присоединения счетчиков к ТН должны соответствовать требованиям ПУЭ.

1. В соответствии с ПУЭ допускается: подключение



расчетных счетчиков класса точности 2,0 к ТН класса точности 1,0; подключение счетчиков технического учета к встроенным ТТ класса точности ниже 1,0, если для получения класса точности 1,0 требуется установка дополнительных комплектов ТТ; подключение счетчиков технического учета класса точности 2,0 к ТН класса точности ниже 1,0.

2. В соответствии с РД 34.09.101-94 для межсистемных линий электропередачи напряжением 500 кВ и выше рекомендуются счетчики активной электроэнергии класса точности 0,2, подключаемые к измерительным трансформаторам класса точности выше 0,5.

Метод измерений. Измерения электроэнергии выполняют методом интегрирования по времени электрической мощности контролируемой сети при помощи индукционного или электронного счетчика электроэнергии и периодического считывания непрерывно нарастающих показаний счетчика.

Значение электроэнергии за учетный период определяют по разности показаний счетчика в конце и начале этого периода.

Выполнение измерений. При выполнении измерений электроэнергии производят следующие операции.

1. Снимают показания счетчика  $N_i$  — число, зафиксированное отсчетным устройством счетчика в заданный момент времени.

2. Выполняют операцию по п.1 на всех контролируемых присоединениях (объектах учета).

При наблюдении в процессе измерений записывают: календарную дату выполнения измерений; наименование (обозначение) объекта учета электроэнергии; астрономическое время выполнения измерений (моменты времени отсчитывания показаний счетчика); номер счетчика; коэффициент счетчика, указанный на его щитке; показания счетчика по всем разрядам отсчетного устройства.

В МВИ энергообъекта также указывают: последовательность обхода счетчиков при выполнении измерений; периодичность обхода счетчиков при выполнении измерений; требования о периодичности и форме регистрации параметров контролируемых присоединений и влияющих величин.

Контроль точности результатов измерений. Основной целью контроля точности результатов измерений (далее — контроль

точности) является проверка правильности выполнения операций и соблюдения правил измерений, регламентированных МВИ, а также проверка удовлетворения требований к погрешностям измерений. Контроль точности может быть оперативным и (или) периодическим.

### **Порядок выполнения работы**

1. Для заданной схемы системы электроснабжения определить требования к классам точности измерительных трансформаторов и расчетных счетчиков.

2. Определить для каких мест рассматриваемой схемы требуется установка реверсивных расчетных счетчиков.

3. Выбрать из Реестра средств измерений возможные для установки расчетные счетчики.

4. Повторить п1. и п.3 для другой схемы системы электроснабжения.

### **Контрольные вопросы**

1. Чем нормируется погрешность измерений электроэнергии?

2. Чему должны соответствовать применяемые средства измерения электрической энергии?

3. Чему должны соответствовать потери напряжения в линиях присоединения счетчиков к измерительным трансформаторам?

4. По какому принципу выполняются измерения электроэнергии?

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6

### АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ

*Цель работы:* ознакомление с основными принципами построения автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии и мощности.

#### Краткие методические указания

Современная цивилизованная торговля энергоресурсами основана на использовании автоматизированного приборного энергоучета, сводящего к минимуму участие человека на этапе измерения, сбора и обработки данных и обеспечивающего достоверный, точный, оперативный и гибкий, адаптируемый к различным тарифным системам учет как со стороны поставщика энергоресурсов, так и со стороны потребителя. С этой целью как поставщики, так и потребители создают на своих объектах автоматизированные системы контроля и учета энергоресурсов – АСКУЭ.

При наличии современной АСКУЭ промышленное предприятие полностью контролирует весь свой процесс энергопотребления и имеет возможность по согласованию с поставщиками энергоресурсов гибко переходить к разным тарифным системам, минимизируя свои энергозатраты.

АСКУЭ предназначены для решения следующих задач:

- комплексный автоматизированный коммерческий и технический учет электроэнергии по предприятию;
- контроль электропотребления по точкам и структурам учета в заданных временных интервалах (3, 30 минут, зоны, смены, сутки, декады, месяцы, кварталы и годы) относительно заданных лимитов, режимных и технологических ограничений мощности;
- фиксация отклонений контролируемых величин учета и их оценка в абсолютных и относительных единицах с целью облегчения анализа электропотребления;

- сбор и информирование данных на энергообъекте для использования их при коммерческих расчетах;
- сбор и передача информации на верхний уровень управления и формирование на этой основе данных для проведения коммерческих расчетов между объектами рынка (в том числе по сложным тарифам);
- формирование баланса производства и потребления электроэнергии по отдельным узлам, районам, АО-энерго в целом, а также по РАО «ЕЭС России»;
- оперативный контроль и анализ режимов потребления мощности и электроэнергии основными потребителями;
- формирование статистической отчетности;
- оптимальное управление нагрузкой потребителей;
- автоматизация финансово-банковских операций и расчетов с потребителями;
- контроль достоверности показаний приборов учета электроэнергии.
- сигнализация (цветом, звуком, распечаткой) отклонений контролируемых величин сверх допустимого диапазона значений с целью принятия оперативных решений;
- прогнозирование (кратко-, средне- и долгосрочное) значений величин энергоучета с целью планирования энергопотребления;
- автоматическое управление энергопотреблением на основе заданных критериев и приоритетных схем включения/отключения потребителей-регуляторов с целью экономии ручного труда и обеспечения качества управления;
- обеспечение внутреннего хозрасчета по энергоресурсам между цехами и подразделениями завода с целью экономии энергоресурсов и их рационального расходования на рабочих местах;
- точный расчет с субабонентами предприятия по энергопотреблению с целью справедливого распределения энергозатрат.

Функции АСКУЭ. Всю совокупность функций АСКУЭ можно классифицировать по следующим группам:

- формирование нормативно-справочной базы учета предприятия по каждой точке и структуре учета, тарифам, зонам, сменам, аппаратным и программным средствам АСКУЭ;
- сбор в автоматическом (по заданным периодам времени) и ручном (по запросу оператора) режимах конкретных штатных параметров системы АСКУЭ по каждой точке;
- накопление данных учета в базе данных АСКУЭ на ПК по каждой точке учета с заданной временной дискретностью на требуемую ретроспективу;
- обработка накопленных значений учета в соответствии с действующими тарифами, схемой энергоснабжения и структурой учета предприятия.

### **Порядок выполнения работы**

1. Для заданной преподавателем системы электроснабжения составить матрицы по I и II законам Кирхгофа.
2. Определить элементы матриц, характеризующих рассматриваемую систему электроснабжения.
3. Составить матричные уравнения.
4. Выполнить решение составленных матричных уравнений.

### **Контрольные вопросы**

1. Правила составления матриц схемы по I и II законам Кирхгофа.
2. Как выделяются хорды схемы?
3. Способы решения матричных уравнений.
4. Достоинства и недостатки метода контурных уравнений.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №7

### УРОВНИ АСКУЭ

*Цель работы:* ознакомление с структурными схемами построения систем АСКУЭ.

#### Краткие методические указания

Решение проблем учета на предприятии требует создания автоматизированных систем контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ), которые в общем случае содержат три уровня.



#### Обобщенная структурная схема трехуровневой АСКУЭ

а) нижний уровень — первичные измерительные преобразователи (ПИП) с телеметрическими выходами, осуществляющие непрерывно или с минимальным интервалом усреднения измерение параметров учета потребителей по точкам учета (фидеру);

б) средний уровень – контроллеры (специализированные измерительные системы или многофункциональные программируемые преобразователи) со встроенным программным обеспечением учета, осуществляющие в заданном цикле

интервала усреднения круглосуточный сбор измерительных данных с территориально распределенных ПИП, накопление, обработку и передачу этих данных на верхний уровень;

в) верхний уровень — персональный компьютер (ПК) со специализированным программным обеспечением АСКУЭ, осуществляющий сбор информации с контроллера (или группы контроллеров) среднего уровня, итоговую обработку этой информации как по точкам учета, так и по их группам — по подразделениям и объектам предприятия, отображение и документирование данных учета в виде удобном для анализа и принятия решений (управления) оперативным персоналом службы главного энергетика и руководством предприятия.

Нижний уровень АСКУЭ связан со средним уровнем измерительными каналами, в которые входят все измерительные средства и линии связи от точки учета до контроллера, включая его входные цепи (иногда упрощенно под измерительными каналами подразумевают их часть — цепи передачи данных от ПИП до контроллера). Так, например, для электроучета под измерительным каналом подразумевается цепочка от питающего фидера, проходящая через измерительные трансформаторы тока и напряжения, электросчетчик с телеметрическим выходом и двухпроводная линия связи до контроллера.

Средний уровень АСКУЭ связан с верхним уровнем каналом связи, в качестве которого могут использоваться физические проводные линии связи, выделенные или коммутируемые телефонные каналы, радиоканалы (в содержание понятия канала связи входят не только линии связи, но и оборудование связи, обслуживающее эти линии; иногда совокупность каналов связи называют средой связи). Передача данных по этим каналам осуществляется, как правило, по стандартным интерфейсам (интерфейсы типа RS-232, RS-485, ИРПС и т.п.) и определенным стандартным (например M-bus) или оригинальным (протоколы систем ИИСЭ4, СЭМ-1 и т.п.) протоколам обмена.

Понятие АСКУЭ является динамичным понятием, меняющим свое содержание в зависимости от экономического и технического прогресса. С появлением на рынке в начале 90-х годов надежных и сравнительно дешевых зарубежных ПК стало возможным значительную часть функций АСКУЭ снять с

контроллеров и передать программному обеспечению ПК, что привело к рождению рассмотренной трехуровневой структуры АСКУЭ. Такая структура позволяет решать качественно новые задачи учета, а решение прежних задач ставит на несравнимо более высокий уровень, что обеспечивается как колоссальной памятью и вычислительными возможностями ПК, так и их средствами отображения и документирования (цветной монитор, графическая печать, звуковые эффекты).

Дальнейший прогресс в области интегральной технологии позволил функции контроллеров по учету энергоресурсов встраивать непосредственно в первичные преобразователи, получая таким образом «интеллектуальные ПИП».

Для этих преобразователей трехуровневая схема АСКУЭ может быть трансформирована в двухуровневую структуру «ПИП-ПК», в которой сбор данных с точек учета ведется через определенную среду связи непосредственно на ПК (например, все «интеллектуальные» электросчетчики подключаются к компьютеру через коммутируемую телефонную среду).

### **Порядок выполнения работы**

1. Для заданной преподавателем схемы системы электроснабжения выбрать структуру АСКУЭ.
2. Определить состав первичных измерительных преобразователей.
3. Определить состав верхнего уровня АСКУЭ.
4. Выбрать вид интерфейса для передачи данных.

### **Контрольные вопросы**

1. Преимущества трехуровневой структуры АСКУЭ.
2. Преимущества двухуровневой структуры АСКУЭ?
3. Виды стандартных интерфейсов.
4. Виды оригинальных интерфейсов.



## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 8

### ИНТЕРФЕЙСЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ АСКУЭ

*Цель работы: ознакомление с регрессионными методами анализа режимов электропотребления в системах электроснабжения.*

#### Краткие методические указания

В типовой трехуровневой структуре АСКУЭ промышленного предприятия нижний уровень (уровень первичных измерительных преобразователей ПИП) связан со средним уровнем (уровнем контроллеров, или уровнем вторичных измерительных преобразователей НИИ) измерительными каналами. К этим каналам относятся первичные преобразователи и линии связи, подключенные с одной стороны к выходам ПИП, а с другой стороны - к входным цепям вторичных преобразователей. Большинство существующих ПИП измерения различных видов энергоносителей и их параметров имеет токовые аналоговые и/или токовые дискретные выходы. Типичные схемы интерфейсов измерительных каналов представлены на рис. 1.

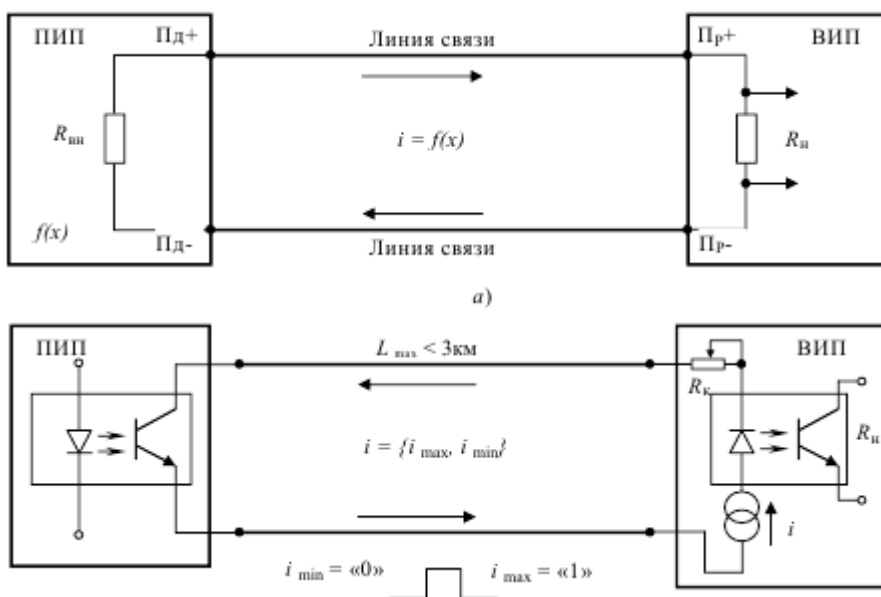


Рисунок 1. Типичные интерфейсы первичных измерительных преобразователей

ПИП с токовым аналоговым выходом имеет встроенный источник тока — генератор тока с некоторым внутренним сопротивлением  $R_{вн}$ , который управляется функцией  $f(x)$  измерения параметра  $x$  энергоносителя.

Ток  $i = f(x)$  поступает в линию связи и на входном нагрузочном резисторе  $R_n$  вторичного преобразователя создает соответствующее падение напряжения, которое далее преобразуется в цифровое значение измеряемого параметра  $x$ .

ПИП данного вида имеют, как правило, унифицированные выходные сигналы постоянного тока в диапазонах  $\{0 - 5\}$ ,  $\{0 - 20\}$  или  $\{4 - 20\}$  мА (току  $i = 0$  или  $i = 4$  мА соответствует некоторое минимальное значение измеряемого параметра).

Максимально допустимая длина линии связи между ПИП и ВИП зависит от величины внутреннего сопротивления  $R_{вн}$ , ПИП, активного сопротивления  $R_l$  линии связи, входного сопротивления  $R_n$ , ВИП, ожидаемого уровня помех и обычно не превышает несколько десятков метров.

ПИП с дискретным выходным сигналом имеют, как правило, гальванически развязанный выход с открытым коллектором транзистора или релейным «сухим» контактом, питание которого производится со стороны источника тока, встроенного в ВИП (рис. 1, б). При этом величина тока в линии связи имеет значение  $i_{min}$  или  $i_{max}$ , в зависимости от того, закрыт или открыт выход ПИП, что определяется дискретным характером процесса измерения преобразователем параметра  $x$  энергоносителя.

Последовательность «замыканий — размыканий» выходной цепи ПИП порождает на входе ВИП последовательность токовых двоичных импульсов ( $\langle 0 \rangle$ ,  $\langle 1 \rangle$ ) определенной частоты и длительности, которая используется для цифрового представления измеряемого параметра  $x$ . Как правило, ток в линии связи не превышает 10-20 мА. Максимально допустимая длина линии связи зависит от величины тока ВИП, активного сопротивления линии и может достигать до 3 км.

Из рассмотренного следует, что выбор типов вторичных преобразователей (контроллеров, систем) в АСКУЭ, а также территориально-распределенная структура АСКУЭ (удаленность точек учета первого уровня от второго уровня АСКУЭ) во многом зависят от выходных интерфейсов используемых

первичных преобразователей. Этот фактор является системным, и его необходимо учитывать как при разработке АСКУЭ, так и при покупке конкретного оборудования для развития существующей АСКУЭ предприятия.

### **Порядок выполнения работы**

1. Для заданной преподавателем типовой трехуровневой структуры АСКУЭ выбрать первичные преобразователи и линии связи.
2. Выбрать вторичные преобразователи.
3. Определить максимально допустимую длину линий связи для выбранных первичных и вторичных преобразователей.
4. Повторить п.1 и п.3 для другой типовой трехуровневой структуры АСКУЭ.

### **Контрольные вопросы**

1. Преимущества токовых аналоговых выходов.
2. Преимущества токовых дискретных выходов.
3. Величина тока в линии связи.
4. Чем ограничивается длина линии связи.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №9

### ПРИНЦИПЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

*Цель работы:* ознакомление с принципа размещения измерительных комплексов, осуществляющих учет электрической энергии.

#### Краткие методические указания

Все практические вопросы так называемой «расстановки» счетчиков электрической энергии для целей коммерческого учета у субъектов оптового рынка связаны с сочетанием мест расположения ТТ и ТН относительно точек отчуждения товарной продукции (точек поставки) в распределительных устройствах электрических станций и подстанций. Эти вопросы являются следствием такого известного свойства электрической сети как невозможность в реальных условиях по техническим или экономическим соображениям осуществлять контроль электрических параметров в любой заранее определенной точке на ее элементах (ВЛ, КЛ, трансформаторы, ошиновка).

Установка первичных датчиков (ТТ, ТН) производится в распределительных устройствах электрических станций и подстанций, выполненных по типовым проектам или на их основе. В этих проектах по объективным причинам до последнего времени не учитывались требования к измерениям для целей расчета на оптовом рынке.

В частности, компоновка электротехнического и вспомогательного оборудования не позволяла размещения дополнительных ТТ и ТН. Разрабатываемые же проекты автоматизированных измерительно-информационных систем (АСКУЭ) на действующих энергообъектах вынуждены базироваться на уже существующей схеме расстановки ТТ и ТН.

Рассмотрим некоторые наиболее часто встречающиеся случаи коммерческих измерений, связанных с проблемами мест установки первичных датчиков.

1. Опыт показывает, что до сих пор вызывает затруднение выбор точек коммерческого учета на электрических станциях – субъектах оптового рынка.

Отчасти это объясняется, как отмечено ранее, позицией ПУЭ и других документов в части «пунктов установки средств учета», отчасти – непониманием рыночного подхода к учету оборота товарной продукции.

Здесь следует отметить одну принципиальную разницу при работе электрической станции на ФОРЭМ и на конкурентном рынке.

Если станция является субъектом ФОРЭМ, то, согласно действующим правилам, она участвует в планировании поставок электроэнергии и мощности и в расчетах за них по двухставочному тарифу «целиком», как единый технологический комплекс. В данном случае рабочая мощность станции должна фиксироваться по измерительным приборам, первичные датчики которых установлены вблизи выводов генераторов, а проданная электроэнергия – по измерительным приборам, присоединенным к ТТ и ТН в цепях всех отходящих. Совершенно недопустимо производить расчеты за электроэнергию на основании определения «отпуска с шин» как разности генерации, потребления на собственные нужды и расчетных потерь в блочных трансформаторах и трансформаторах собственных нужд.

Если имеется возможность установить ТТ в цепях присоединений блочных трансформаторов и ТСН от шин ОРУ до их выводов, измерения для расчетов за электроэнергию можно выполнять с помощью счетчиков, подключенных к этим ТТ и к шинным ТН.

Если станция готовится стать субъектом конкурентного рынка, то следует предусмотреть возможность планирования продажи и оплаты электроэнергии «поблочно». Это означает, что отчуждение товарной продукции «брутто» (без учета собственных нужд) будет происходить на высокой стороне блочных трансформаторов. При этом в соответствии с логикой учета затрат на производство товарной продукции необходимо измерять электроэнергию, отпущенную напрямую на собственные нужды энергоблока, и каким-то образом определять долю электроэнергии, приходящейся на энергоблок,

от всей электроэнергии, отпущенной на общестанционные собственные нужды.

Таким образом, исходным для расчета по сути дела является сальдо – переток электроэнергии по всем «границам балансовой принадлежности» энергоблока, включая точки раздела с сетями собственных нужд других энергоблоков на всех уровнях напряжения, без учета перетока через точки раздела с сетью общестанционных собственных нужд. Чтобы получить оплачиваемый объем товарной продукции к этому сальдо - перетоку надо добавить (со знаком «минус») определенную по согласованному между собственниками энергоблоков и собственником станции алгоритму часть электроэнергии, отпущенной на общестанционные собственные нужды.

Точно так же следует договориться о распределении между энергоблоками общестанционных потерь электроэнергии, т.е. потерь в элементах ошиновки распределительных устройств, к которым присоединены линии связи с другими субъектами рынка, потерь в автотрансформаторах (трансформаторах) связи, в резервных трансформаторах собственных нужд (РТСН) и в рабочих трансформаторах общестанционных собственных нужд.

В электроустановках ТЭЦ и на промышленных предприятиях имеет место еще одна нередко встречающаяся ситуация. Речь идет об измерениях электроэнергии на реактированных фидерах 10 – 6 – 0.4 кВ. Причем на напряжении 0.4 кВ часто применяются сдвоенные реакторы, токи в ветвях которых оказывают взаимное влияние на реактивное сопротивление ветвей.

Проблема состоит в том, что при отсутствии ТН в ячейках КРУ, установленных за реактором, счетчик электрической энергии подключается к ТН системы шин. ТТ в ячейке КРУ и ТН оказываются разделенными реактором, на котором образуется падение напряжения из-за реактивного сопротивления, достигающего 0.6 Ом. Потери активной мощности могут составлять до 4 кВт на фазу. Поэтому счетчик показывает результат измерения электроэнергии на фидере завышенный по отношению к действительной величине в точке подключения кабеля к ячейке КРУ (в точке отчуждения товарной

продукции). Очевидно, что выходом здесь может быть только электрическое совмещение точек подключения ТТ и ТН.

Очень часто в практике измерений электроэнергии для коммерческого учета встречаются случаи, когда точка отчуждения товарной продукции (точка поставки) находится на достаточно значительном электрическом удалении от точки учета и отсутствует экономически обоснованная возможность их сближения. В качестве примера можно привести подключение счетчиков к ТТ и ТН на низкой стороне одно – или двухтрансформаторных отпаечных подстанций или подстанций, выполненных по схеме «мостика», когда границы раздела балансовой принадлежности субъекта рынка проходят по высокой стороне этих подстанций или даже за отходящими от них ВЛ. Так же встречаются случаи, когда на высокой стороне ГПП промышленного предприятия отсутствуют ТТ и расчетные счетчики установлены лишь на подстанции энергоснабжающей организации (ЭСО), что заставляет распределять потери в ВЛ и силовых трансформаторах между предприятием и ЭСО расчетным путем.

### **Порядок выполнения работы**

1. Для заданной преподавателем схемы энергетической системы выбрать измерительные комплексы.
2. Выбрать первичные и вторичные преобразователи.
3. Определить максимально допустимую длину линий связи для выбранных первичных и вторичных преобразователей.
4. Повторить п.1 и п.3 для другой схемы энергетической системы.

### **Контрольные вопросы**

1. Преимущества токовых аналоговых выходов.
2. Преимущества токовых дискретных выходов.
3. Величина тока в линии связи.
4. Чем ограничивается длина линии связи.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 32144– 2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 16 с.
2. ГОСТ 30804.4.30– 2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии. – М.: Стандартинформ, 2014. – 52 с.
3. Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок [Электронный ресурс] : учебник / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин, В. А. Яшков. – М.|Берлин : Директ–Медиа, 2014. – 337 с.
4. Электропитающие системы и электрические сети [Текст] : учебное пособие / Н. В. Хорошилов [и др.]. – 2– е изд., перераб. и доп. – Старый Оскол : ТНТ, 2013. – 352 с.
5. Филиппова Т.А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем: учебник [Электронный ресурс] / Т.А. Филиппова. – Новосибирск: Изд– во НГТУ, 2014. – 294с. Режим доступа – URL: [https://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=435976](https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=435976).
6. Железко, Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии [Электронный ресурс]: руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко. – Москва: ЭНАС, 2009. – 456 с.
7. Управление качеством электроэнергии [Текст] : учебное пособие: / И. И. Карташев, В. Н. Тульский, Р. Г. Шамонов; под ред. Ю. В. Шарова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 355 с.