

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.15 ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ**

**Направление подготовки 35.03.06. Агроинженерия**

**Профиль образовательной программы «Электрооборудование и электротехнологии»**

**Форма обучения очная**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. Конспект лекций .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 Лекция № 1 Введение в электрификацию процессов сельскохозяйственного производства .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Лекция № 2 Основные электротехнические материалы, провода и кабели .....</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Лекция № 3 Электроизмерительные приборы .....</b>	<b>8</b>
<b>1.4 Лекция № 4 Электронагревательные устройства .....</b>	<b>12</b>
<b>1.5 Лекция № 5 Источники оптического излучения .....</b>	<b>17</b>
<b>1.6 Лекция № 6 Электрические машины .....</b>	<b>19</b>
<b>1.7 Лекция № 7 Релейно – контактная аппаратура управления и защиты .....</b>	<b>22</b>
<b>1.8 Лекция № 8 Радиоэлектронные компоненты .....</b>	<b>23</b>
<b>1.9 Лекция № 9 Оборудование для электроснабжения с.х. предприятий .....</b>	<b>28</b>
<b>2. Методические материалы по выполнению лабораторных работ .....</b>	<b>30</b>
<b>2.1 Лабораторная работа № 1 Устройство и работа регулирующего сопротивления в режиме реостат и потенциометр .....</b>	<b>30</b>
<b>2.2 Лабораторная работа № 2 Определение удельной проводимости воды .....</b>	<b>38</b>
<b>2.3 Лабораторная работа № 3 Измерение тока .....</b>	<b>41</b>
<b>2.4 Лабораторная работа № 4 Измерение напряжения .....</b>	<b>43</b>
<b>2.5 Лабораторная работа № 5 Определение коэффициента полезного действия электроплитки .....</b>	<b>46</b>
<b>2.6 Лабораторная работа № 6 Изучение устройства и принципа действия электрокалорифера .....</b>	<b>49</b>
<b>2.7 Лабораторная работа № 7 Изучение устройства и принципа действия люминесцентной лампы .....</b>	<b>53</b>
<b>2.8 Лабораторная работа № 8 Изучение устройства и принципа действия лампы накаливания .....</b>	<b>56</b>
<b>2.9 Лабораторная работа № 9 Изучение двигатель-генераторной установки .....</b>	<b>58</b>
<b>2.10 Лабораторная работа № 10 Изучение конструкции и исследование лабораторного автотрансформатора .....</b>	<b>61</b>
<b>2.11 Лабораторная работа № 11 Изучение электромагнитных аппаратов управления .....</b>	<b>64</b>
<b>2.12 Лабораторная работа № 12 Изучение реле времени .....</b>	<b>68</b>
<b>2.13 Лабораторная работа № 13 Исследование простейшего выпрямителя и простейшего стабилизатора напряжения .....</b>	<b>73</b>
<b>2.14 Лабораторная работа № 14 Исследование биполярного транзистора .....</b>	<b>77</b>
<b>2.15 Лабораторная работа № 15 Изучение конструкции и исследование характеристик линии электропередачи .....</b>	<b>79</b>
<b>2.16 Лабораторная работа № 16 Учёт электрической энергии в сетях переменного тока .....</b>	<b>82</b>

## **1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**

### **1. 1 Лекция №1( 2 часа).**

**Тема: «Введение в электрификацию процессов сельскохозяйственного производства»**

#### **1.1.1 Вопросы лекции:**

1. Роль электрификации и история электрификации с.х.
2. Преимущества электрической энергии перед другими видами энергии. Производство и распределение энергии.
3. Преобразование электрической энергии в другие виды энергии, непосредственно используемой в технологических процессах.

#### **1.1.2 Краткое содержание вопросов:**

##### **1. Роль электрификации и история электрификации с.х.**

Большинство стационарных сельскохозяйственных процессов выполняется с использованием электрической энергии. Все чаще электрооборудование применяется в мобильных сельскохозяйственных машинах.

В сельском хозяйстве наибольшее распространение получили электропривод машин и механизмов, электрическое освещение помещений, облучение и инфракрасный обогрев животных, электротермические и электротехнологические установки. До 60 % потребляемой энергии в сельском хозяйстве приходится на электропривод. В большинстве сельскохозяйственных процессов используются простые нерегулируемые механизмы, такие как вентиляторы, насосы, транспортеры, измельчители и дробилки кормов. В состав этих машин входит, как правило, простой электропривод с асинхронным электродвигателем и простейшая система управления.

В настоящее время интенсивно развиваются энергосберегающие технологии, требующие применения регулируемых приводов. Такие электроприводы оснащаются силовыми преобразователями энергии, выполняющими различные функции управления, в том числе регулирование частоты, автоматическую защиту и самодиагностику.

На процессы освещения помещений, облучения животных и растений сельскохозяйственные предприятия расходуют до 15...20 % потребляемой электроэнергии. Рациональное освещение повышает производительность труда, а искусственная компенсация недостаточности ультрафиолетового излучения в помещениях увеличивает продуктивность животноводства, птицеводства и овощеводства в защищенном грунте.

Расширение электрификации процессов привело к качественным изменениям в технологиях, способствует автоматизации, улучшению условий и повышению производительности труда.

Для успешного функционирования современных электрифицированных установок должны применяться системы управления, в которых используются современные достижения автоматизации и микропроцессорной техники. На смену релейно-контактным системам управления приходят микропроцессорные контроллеры, позволяющие реализовывать сложные законы управления, быстро перенастраивать оборудование, обеспечивать его эффективную защиту от аварийных режимов.

Современное оборудование требует квалифицированного обслуживания, понимания техническим Персоналом процессов, происходящих не только в технологических машинах, но и в электрооборудовании, что приводит к возрастанию значения дисциплины «Электрооборудование сельскохозяйственных предприятий » в учебном процессе подготовки инженеров-электриков для сельского хозяйства.

## **2. Преимущества электрической энергии перед другими видами энергии. Производство и распределение энергии.**

Электроснабжение сельскохозяйственных потребителей имеет свои особенности по сравнению с электроснабжением городов и промышленных объектов. Основные из них — разбросанность сравнительно маломощных электропотребителей на значительной

территории, большая протяженность электрических сетей, что снижает надежность электроснабжения.

К сельским относятся электрические сети, от которых снабжается электроэнергией более 50 % сельскохозяйственных потребителей, в том числе коммунально-бытовые, объекты мелиорации и водного хозяйства, а также сети садоводческих товариществ и индивидуальных застройщиков вблизи городов.

Для расчета сельских электрических сетей необходимо определять нагрузки отдельных электропотребителей и их групп. За расчетную нагрузку принимается наибольшее из средних значений полной мощности за промежуток 0,5 ч (получасовой максимум), которая может возникнуть в расчетном году на вводе к потребителю или в питающей сети. Различают дневной и вечерней максимумы нагрузки. Расчетный период принимают равным 5... 10 лет.

### **3 Преобразование электрической энергии в другие виды энергии, непосредственно используемой в технологических процессах.**

Производство электроэнергии — это процесс перехода первичной природной энергии, содержащейся в ископаемом топливе, напоре воды, ветра, солнечной радиации, радиоактивных элементах, во вторичную энергию — электричество. В каждый момент времени вырабатывается столько электроэнергии, сколько ее потребляется. Электроэнергия вырабатывается на электростанциях с помощью электрических генераторов. Генератор получает энергию от первичного двигателя, который, в свою очередь, приводится в движение первичной энергией.

Преимущества электрической энергии перед другими видами энергии (передача на большие расстояния, возможность преобразования в месте потребления в другие виды энергии — механическую, тепловую, световую, химическую) заставляет ученых искать новые решения по преобразованию первичной энергии в электрическую.

В зависимости от вида энергии, потребляемой первичным двигателем, электрические станции могут быть разделены на следующие основные типы: тепловые, атомные, гидроэлектростанции, гидроаккумулирующие, газотурбинные.

К маломощным электрическим станциям, используемым в качестве местного или резервного источника питания, можно отнести дизельные, ветряные, солнечные, геотермальные, морских приливов и отливов и др. Электростанции такого типа работают, как правило, в локальных условиях и иногда не имеют связи с системами электроснабжения, в которых работают мощные электростанции.

Процесс выработки электроэнергии на тепловых электрических станциях (ТЭС) заключается в последовательном преобразовании химической энергии сгораемого топлива в тепловой турбине, соединенной с генератором, что позволяет превращать механическую энергию вращения генератора в электрическую.

В зависимости от характера обслуживания ТЭС подразделяют на конденсационные (КЭС) и теплоэлектроцентрали (ТЭЦ). Крупные КЭС, обслуживающие потребителей большого района и приближенные к району энергетических запасов (угля, газа, торфа и т.д.), называют государственными районными электростанциями (ГРЭС).

Тепловые электростанции, использующие газовые турбины и работающие на естественном горючей газе или газе, приготовленном в специальных газогенераторах путем сжигания различных видов твердого топлива, называются газотурбинными электростанциями (ГТУЭС).

Отличие ТЭЦ от КЭС заключается в специфике пароводяного контура и способе выдачи электроэнергии. ТЭЦ, снабжающие потребителей электрической и тепловой энергией, располагаются в районе ее потребления. Пар, получаемый на ТЭЦ и вращающий турбину, используется также для нужд промышленного производства, отопления, кондиционирования воздуха и горячего водоснабжения. КЭС снабжают потребителей только электроэнергией.

Атомные электростанции (АЭС) — это, по сути, те же тепловые электростанции. АЭС отличаются от обычной паротурбинной станции тем, что в ней в качестве источника энергии используется процесс ядерной реакции расщепления урана, плутония, тория и т.п. Во многих странах для этих целей используют уран U-235, расщепляемый под действием тепловых нейтронов в атомном реакторе. Кроме топлива (U-235) в реакторе должны находиться замедлитель нейтронов и теплоноситель, отводящий теплоту из реактора. В качестве замедлителя используется вода под большим давлением или графит (в зависимости от типа реактора). Теплоносителем является обычная вода.

На гидроэлектростанциях (ГЭС) энергия водного потока преобразуется в электрическую энергию с помощью гидравлической турбины и соединенного с ней генератора. Мощность гидроэлектростанции пропорциональна напору и расходу воды. Для получения напора и накопления энергии водяных потоков по всему створу реки строят плотину и создают водохранилище. Чем выше разность уровней воды перед плотиной (верхний бьеф) и после нее (нижний бьеф), тем больше напор. Гидравлические турбины устанавливают на уровне нижнего бьефа. По проводящему каналу или трубопроводу вода направляется на лопасти гидротурбины, которая связана с ротором электрогенератора. Таким образом, энергия воды в гидротурбине превращается сначала в механическую, а затем в электрическую энергию.

## **1. 2 Лекция №2( 2 часа).**

### **Тема: «Основные электротехнические материалы, провода и кабели»**

#### **1.2.1 Вопросы лекции:**

1. Силовые кабели
2. Потери при передаче напряжения
3. Проводники для воздушных линий электропередач
4. Сверхпроводящие кабели для линий электропередачи- кабели будущего

#### **1.2.2 Краткое содержание вопросов:**

##### **1. Силовые кабели**

Силовые кабели предназначены для передачи на расстояние электрической энергии. Кабели любых типов имеют общие конструктивные элементы: токопроводящие жилы, изоляцию и оболочку.

Классификацию силовых кабелей принято проводить по значению напряжения электрических сетей, в которых они используются

Широко применяются в трёхфазных системах с заземлённой нейтралью при напряжении 220/380 В

Изготавливаются в основном в четырёхжильном исполнении (три фазных проводника и один нулевой для соединения с заземлённой нейтралью)

В качестве электрической изоляции жил и защитных оболочек применяются пластмассы преимущественно на основе поливинилхлоридных (ПВХ) пластиков.

Показатель удельной повреждаемости кабелей с пропитанной бумажной изоляцией с 1972 года имеет тенденцию к росту, этот факт предопределил переход к более современным материалам для изготовления кабельной продукции.

Наиболее широко используемым полиолефином в кабельной технике является полиэтилен (ПЭ). Создание трёхмерной молекулярной структуры, путём образования поперечных связей между макромолекулами полиэтилена позволяет значительно улучшить свойства этого материала, соответственно улучшаются характеристики кабеля выполненного с изоляцией из сшитого ПЭ.

Полиэтилен образуется путём полимеризации этилена – газообразного продукта состоящего из атомов углерода и водорода. Молекулы представляют отдельные нити образующие беспорядочную структуру

За счет повышения рабочих температур изоляции из сшитого ПЭ, допустимые нагрузки кабелей увеличиваются на 17% при прокладке в земле и на 20% при прокладке в воздухе, по сравнению с кабелями в пропитанной бумажной изоляции

## **2. Потери при передаче напряжения**

Зарядный ток  $I_3$  (ток утечки через изоляцию кабеля) уменьшает передаваемую мощность, причём значение  $I_3$ , а значит, и отбираемой мощности пропорционально длине  $L$  кабельной линии

$$I_3 = U \cdot \omega \cdot C_0 \cdot L$$

Где:  $U$  – фазное напряжение

$\omega$  – угловая частота

$C_0$  – электрическая ёмкость

фазы кабеля на единицу длины

По достижении некоторой, критической длины  $L_{кр}$  ток  $I_3$  окажется равным допустимому току нагрузки на кабель, что сделает передачу энергии невозможной

Значение  $L_{кр}$  для кабелей передающих переменное напряжение, ориентировочно составляет несколько десятков километров.

Для кабелей постоянного тока потери энергии  $I_3 = 0$ , что делает их привлекательными и часто единственно возможным техническим решением для передачи энергии на большие расстояния, в первую очередь - при пересечении больших водных преград.

## **3. Проводники для воздушных линий электропередач**

Для воздушных линий электропередач на 35 – 1150кВ применяются неизолированные алюминиевые и сталеалюминиевые провода. Алюминиевые и сталеалюминиевые провода являются многопроволочными, причем алюминиевые проволоки определяют электрические характеристики провода, а стальной сердечник обеспечивает механические характеристики.

СИП применяются для воздушных распределительных сетей низкого и среднего напряжения, взамен неизолированных алюминиевых и сталеалюминиевых проводов

СИП представляет собой пучок скрученных изолированных фазных проводников с несущим нулевым проводом и проводом меньшего сечения для уличного освещения

Несущий нулевой провод выполняется из алюминиевого сплава на базе Al-Mg-Si с высокой разрывной прочностью (не менее 295 МПа)

Эксплуатационные преимущества изолированных самонесущих проводов:

Повышенная надежность в эксплуатации за счет значительно меньшей вероятности короткого замыкания

Увеличение стойкости к атмосферным воздействиям (обледенение, ветровые нагрузки)

Снижение индуктивного сопротивления в 3,5 раза, что позволяет сократить потери электроэнергии и увеличить токи нагрузки

Меньше страдают зеленые насаждения (не требуется производить вырубку деревьев по трассе прокладки)

## **4. Сверхпроводящие кабели для линий электропередачи- кабели будущего**

Сверхпроводимость- свойство многих проводников состоящее в том, что их электрическое сопротивление скачком падает до нуля при их охлаждении ниже определённой критической температуры, характерной для данного материала.

Впервые явление сверхпроводимости наблюдал Камерлинг-Оннес в 1911 году. Охладив ртуть до температуры 4,15K (-269 °C) Камерлинг-Оннес обнаружил, что сопротивление образца резко упало до нуля, позднее он обнаружил, что электрическое сопротивление восстанавливается при включении достаточно мощного магнитного поля (его называют критическим магнитным полем).

Идея передавать электроэнергию с помощью сверхпроводящих кабелей, обрела реальность в 1986г. После открытия высокотемпературной сверхпроводимости.

В 1987 году были получены первые образцы высокотемпературных сверхпроводников. Материал на основе  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-8}$  представляет собой неупорядоченную систему мелких кристаллов находящихся в слабом электрическом контакте между собой. Такой проводник переходил в состояние сверхпроводимости при 90К (-183С°)

В начале 90-х годов во многих развитых странах были начаты и удачно продвигаются работы по созданию сверхпроводящих кабелей. Для охлаждения таких кабелей применяется жидкий азот, который на порядок дешевле жидкого гелия.

### **1. 3 Лекция №3( 2 часа).**

#### **Тема: «Электроизмерительные приборы»**

##### **1.3.1 Вопросы лекции:**

1. Назначение. Классификация
2. Измерительные системы. Расширение пределов измерения. Классы точности.
3. Электрические механизмы и измерения некоторых неэлектрических величин.

##### **1.3.2 Краткое содержание вопросов:**

###### **1. Назначение. Классификация**

Электроизмерительные приборы можно классифицировать по следующим признакам:

- методу измерения;
- роду измеряемой величины;
- роду тока;
- степени точности;
- принципу действия.

Существует два метода измерения. Классификация электроизмерительных приборов по методу измерения:

1. Метод непосредственной оценки, заключающийся в том, что в процессе измерения сразу оценивается измеряемая величина.
2. Метод сравнения, или нулевой метод, служащий основой действия приборов сравнения: мостов, компенсаторов.

Классификация электроизмерительных приборов по роду измеряемой величины:

- для измерения напряжения (вольтметры, милливольтметры, гальванометры);
- для измерения тока (амперметры, миллиамперметры, гальванометры);
- для измерения мощности (ваттметры);
- для измерения энергии (электрические счетчики);
- для измерения угла сдвига фаз (фазометры);
- для измерения частоты тока (частотомеры);
- для измерения сопротивлений (омметры).

Классификация электроизмерительных приборов по роду тока:

- постоянного;
- переменного однофазного;
- переменного трехфазного тока.

Классификация электроизмерительных приборов по степени точности: по степени точности приборы подразделяются на следующие классы точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; и 4,0. Класс точности не должен превышать приведенной относительной погрешности прибора, которая определяется по формуле:

где  $A$  — показания поверяемого прибора;  $A_0$  — показания образцового прибора;  
 $A_{\max}$  — максимальное значение измеряемой величины (предел измерения).

## **2. Измерительные системы. Расширение пределов измерения. Классы точности.**

В условиях сельскохозяйственного производства при помощи электроизмерительных приборов измеряют и электрические величины (например, напряжение, ток, мощность, сопротивление) и некоторые неэлектрические величины (температура, давление, перемещение, уровень и т. п.).

К электроизмерительным приборам предъявляется ряд общих технических требований.

**Точность.** Всякий измерительный прибор из-за относительного несовершенства конструкции, а также из-за нестабильности измерительной цепи имеет погрешность, то есть его показания всегда отличаются от действительного значения измеряемой величины.

Точность (и класс) прибора тем выше, чем меньше отличаются его показания от действительного значения измеряемой величины.

**Стабильность.** Физико-механические, электрические, магнитные и другие свойства электроизмерительных приборов в процессе их эксплуатации под действием различных факторов могут изменяться и тем самым влиять на погрешность прибора, то есть сказываться на стабильности, неизменности результатов измерений.

**Устойчивость** к влияниям внешних факторов способствует более точной и качественной работе электроизмерительных приборов. Чем меньше влияния внешних факторов, тем достовернее результаты измерений.

**Чувствительность** — это отношение линейного или углового перемещения указателя (стрелки) прибора к изменению значения измеряемой величины.

Электроизмерительный прибор должен наряду с точным показанием числового значения измеряемой величины остро реагировать на самое малое изменение этой величины.

Собственное потребление электроэнергии — важный показатель качества электроизмерительного прибора.

С увеличением потребляемой прибором электроэнергии возрастает его влияние на исследуемую цепь и увеличиваются погрешности измерений.

**Перегрузочная способность** характеризует свойство электроизмерительных приборов противостоять в процессе эксплуатации кратковременным незначительным перегрузкам. Электроизмерительные приборы рассчитаны на определенную перегрузочную способность.

**Изоляция токоведущих частей.** Надежность работы электроизмерительных приборов в значительной мере зависит от состояния изоляции их токоведущих частей. При пониженном сопротивлении изоляции токоведущих частей прибора возможны токи утечки, приводящие к увеличению погрешности измерений.

**Механическая добротность** показывающих электроизмерительных приборов зависит чаще всего от уравновешенности подвижной системы. При хорошо уравновешенной подвижной системе и малом моменте трения прибор отличается более высокой механической добротностью.

Точность измерений характеризуется погрешностью измерений. Принято различать абсолютную, относительную и приведенную относительную погрешности.

**Абсолютная погрешность**

**Приведенная относительная погрешность прибора**

где  $A_n$  — номинальное значение шкалы прибора, то есть его верхний предел измерений.

В соответствии с приведенной относительной погрешностью все электроизмерительные приборы подразделяют на восемь классов точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Эти числа приводятся на шкалах приборов и показывают, какую наибольшую погрешность (в процентах от номинального значения шкалы) может дать прибор при измерениях. Следовательно, наибольшие допустимые погрешности,

определяющие классы точности приборов, таковы:  $\pm 0,05$ ;  $\pm 0,1$ ;  $\pm 0,2$ ;  $\pm 0,5$ ;  $\pm 1,0$ ;  $\pm 1,5$ ;  $\pm 2,5$ ;  $\pm 4,0\%$ .

Обратимся к конкретному примеру. Если, судя по показаниям амперметра, номинальное значение шкалы которого 10А, ток в электрической цепи 4,9 А, а действительное значение тока (по показаниям эталонного прибора) 5,0 А, то абсолютная погрешность

### **3.Электрические механизмы и измерения некоторых неэлектрических величин.**

Измерительные механизмы приборов могут быть отнесены к различным системам, основные из которых охарактеризованы ниже.

Измерительные механизмы магнитоэлектрической системы состоят из двух основных частей: обычно это неподвижный постоянный магнит 1 и подвижная проволочная рамка 8, расположенная между его полюсами 2 и укрепленная на полуосях (кернах) 3.

В результате взаимодействия магнитных полей магнита 1 и постоянного тока, пропускаемого по обмотке рамки 8, возникает электромагнитный момент, поворачивающий рамку и связанную с ней стрелку 3 на некоторый угол, который определяют по выражению

постоянная и, следовательно,

при некотором номинальном предельном значении тока рамка отклоняется на максимальный угол.

Иногда в приборах магнитоэлектрической системы применяют подвижный постоянный магнит и неподвижную проволочную катушку.

Электромагнитная система находит наибольшее применение для технических измерений. Принцип действия измерительных механизмов этой системы основан на свойстве неподвижной катушки 1 (рис. 51), включенной в цепь тока, втягивать якорь — стальной сердечник 6, связанный с указательной стрелкой 9. Противодействующий механический момент создается спиральной пружиной 8.

Угол поворота, подвижного механизма и стрелки пропорционален квадрату силы тока, проходящего по обмотке катушки 1.

В измерительных механизмах электродинамической системы в результате взаимодействия токов, проходящих по обмоткам неподвижной и подвижной катушек, возникает электромагнитный момент, поворачивающий на определенный угол подвижную катушку вместе с указательной стрелкой. Противодействующий механический момент создается, спиральными пружинами.

В такой системе угол поворота подвижной части (катушки с осью и указательной стрелкой) пропорционален произведению значений токов неподвижной и подвижной катушек.

Методы электрических измерений неэлектрических величин находят чрезвычайно широкое применение в сельскохозяйственном производстве.

Особенность подобных методов заключается в том, что искомая неэлектрическая величина (температура, влажность, давление, скорость и т. д.) преобразуется в зависимую от нее электрическую величину (напряжение, ток), по измерениям которой судят о значении соответствующей неэлектрической величины. Это характерное для данного вида измерений преобразование неэлектрической величины в электрическую происходит в специальных устройствах — измерительных преобразователя (датчик  $x$ ). В зависимости от физических явлений и принципов действия, которые положены в основу работы датчиков, различают следующие типы применяемых в практике сельскохозяйственных измерений датчиков: реостатные (для измерения объема, уровня жидкости, перемещения деталей и т. д.), контактного сопротивления и проволочные (для измерения давления, деформации и т. п.); термосопротивления (для измерения температуры, скорости движения газов, состава газов и др.); электролитические (для измерения концентрации и

количественного анализа жидкостей и газов); магнитоупругие (для измерения механических величин); индуктивные (для измерения силы, давления и линейного перемещения); емкостные (для измерения силы, давления, линейного перемещения, угла поворота, количества вещества, содержания влаги); фотоэлектрические (для измерения линейных размеров, температуры, прозрачности и мутности жидкости и газовой среды); ионизационные (для анализа газа, определения плотности газа, а также геометрических размеров изделий).

Ниже в общем виде охарактеризованы методы и средства, применяемые в практике электрических измерений некоторых неэлектрических величин.

Измерения температуры почвы, воздуха, растений, животных, зерна и других объектов выполняются при помощи термометров сопротивления, термисторных и термоэлектрических термометров.

Принцип действия термометров сопротивления основан на том, что используемые в них проволоочные термосопротивления из материала, который обладает большим температурным коэффициентом сопротивления, например меди (до 150° С), никеля (до 300° С), платины (до 600 °С), помещенные в контролируемую среду, изменяют свое сопротивление с изменением ее температуры. Измеряя электрическое сопротивление этих материалов, определяют температуру контролируемой среды.

В термисторных термометрах в качестве воспринимающего элемента применяют полупроводниковые термосопротивления (термисторы, например типа ММТ), температурный коэффициент сопротивления которых намного (примерно в 10 раз) больше, чем у металлов.

Термоэлектрические термометры преобразуют измеряемую неэлектрическую величину (температура) в электрическую — э.д.с. Таким термоэлектрическим преобразователем является термопара, состоящая из двух специально подобранных проволок, одни концы которых спаяны или сварены, а другие подключены к измерительному прибору. Если место соединения проволок нагреть, то на свободных концах появляется термо-э.д.с., значение которой пропорционально температуре и зависит от материала проволок. В термопарах используют сочетания различных металлов: медь — константам

(до 300° С), Медь — копель (до 600°), железо — копель (до 800° С), хромель — копель (до 800° С), хром — алюмель (до 1300 С), платина — платинородий (до 1600° С).

Измерение влажности твердых тел (дерева, ткани, кожи и др.) и сыпучих тел (почвы, зерна, крупы, муки и др.) выполняют, используя метод электропроводности или метод диэлектрической проницаемости.

В приборах для измерения влажности твердых и сыпучих материалов применяют емкостные преобразователи (конденсаторы). При заполнении испытуемым материалом пространства между электродами изменяется емкость такого конденсатора, которая определяется диэлектрической проницаемостью материала, зависящей, в свою очередь, от содержания влаги в нем.

Измерение давлений, усилий и деформаций проводят посредством электрических датчиков с проволоочными или индуктивными преобразователями, соединенными по мостовой схеме.

Преобразователи (датчики) из тонкой (например, из константановой или нихромовой) проволоки приклеивают к поверхности исследуемой машины, установки или детали. Во время испытаний деформации воспринимаются преобразователем, в результате чего его размеры, удельное и общее сопротивление соответственно изменяются. Измеряя электрическое сопротивление, определяют давления и механические напряжения, возникающие в исследуемом объекте.

Измерение частоты вращения выполняют при помощи электрических тахометров. В индукционных тахометрах скорость вращения преобразуется посредством генератора постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов в напряжение, измеряемое

вольтметром, шкала которого проградуирована непосредственно в единицах искомой величины (об/мин).

Измерение крутящих моментов при испытании тракторов и сельскохозяйственных машин проводят при помощи ротационных динамометров и динамографов (торсиометров).

Лабораторная работа 6. Электроизмерительные приборы и электрические измерения неэлектрических величин

Цель работы. Ознакомиться с устройством, принципом действия и схемами включения электроизмерительных приборов — вольтметра и амперметра и датчиков температуры. Проведи сравнительные измерения температуры термометром сопротивления, электротермометром с термистором и ртутным термометром.

Оборудование и приборы. Электрическая термокамера или сушильный шкаф, термометр сопротивления, электротермометр с термисторами, образцы электроизмерительных приборов (вольтметр, амперметр), источники переменного и постоянного тока.

#### **1. 4 Лекция №4( 2 часа).**

##### **Тема: «Электронагревательные устройства»**

##### **1.4.1 Вопросы лекции:**

1. Классификация.
2. Устройство и принцип действия элементных, электродных, индукционных и дуговых нагревательных устройств.
3. Водонагреватели. Нагреватели воздуха, почвы.

##### **1.4.2 Краткое содержание вопросов:**

##### **1. Классификация.**

Преобразование электрической энергии в тепловую осуществляется путем возбуждения внешним электрическим полем в нагреваемых объектах различных форм движения свободных или связанных электрических зарядов.

Электрический ток в зависимости от природы зарядов (свободные или связанные) и способа их возбуждения может быть током проводимости (в проводниках), электрического смещения (в диэлектриках), током электронного луча (при электронно-лучевом нагреве) и др. В нагреваемом теле движению (свободных) или смещению (связанных) зарядов препятствуют (оказывают сопротивление) электрически нейтральные частицы вещества. Энергия внешнего электромагнитного поля, расходуемая на преодоление этого сопротивления, выделяется в виде теплоты.

В зависимости от класса нагреваемых материалов (проводники, полупроводники, диэлектрики) и способов возбуждения в них электрического тока или поля различают электрический нагрев сопротивлением (резистивный), электродуговой, индукционный, диэлектрический, электронный, лазерный.

Основной способ нагрева, используемый в животноводстве, коммунальном секторе и быту, — электронагрев сопротивлением. Он основан на выделении теплоты в твердых или жидких электропроводящих материалах при прохождении по ним электрического тока. Количество выделенной в проводнике теплоты (в джоулях) определяется законом Джоуля - Ленца:

$$Q = I^2 R t,$$

где  $I$  — сила тока, А;  $R$  — сопротивление проводника, Ом;  $t$  — время нагрева, с.

Если проводником является сам нагреваемый материал, то такой нагрев называют прямым. Прямой электронагрев сопротивлением подразделяется на электроконтактный (применяется

для нагрева металлических изделий при электроконтактной сварке) и электродный (применяется для нагрева проводников второго рода, например воды, влажных кормов).

Косвенный электронагрев основан на использовании электрических нагревателей сопротивления, теплота от которых передается нагреваемой среде путем теплопроводности, конвекции, излучения или комбинацией этих способов.

## **2. Устройство и принцип действия элементных, электродных, индукционных и дуговых нагревательных устройств.**

При электродном нагреве проводником является вещество с ионной проводимостью (вода, влажный корм, тепличный грунт и т.п.). Нагрев осуществляется электрическим током, проходящим через материал от электрода к электроду. Электродный нагрев является наиболее простым и экономичным способом прямого нагрева материалов. Электроды изготавливают из металлов или графита. Для исключения явления электролиза используют только переменный ток.

В сельском хозяйстве электродный нагрев наиболее распространен в водонагревателях и паровых котлах. Электропроводность сред и материалов зависит от содержания в них воды, проводимость которой обусловлена наличием растворенных солей, кислот, щелочей (их молекулы в воде диссоциируют на ионы). При малых концентрациях зависимость проводимости воды от содержания солей может быть принята линейной

Основным элементом установки косвенного нагрева является электрический нагреватель, преобразующий, электрическую энергию в тепловую. Теплопередача от резистивных нагревателей нагреваемой среде может осуществляться теплопроводностью, конвекцией и излучением.

К материалам, из которых изготавливают тело нагрева, предъявляются следующие требования: жаростойкость (устойчивость к окислению при высоких температурах); жаропрочность (способность выдерживать механические нагрузки при высоких температурах); большое удельное электрическое сопротивление; малый температурный коэффициент сопротивления. Перечисленным требованиям отвечают хромоникелевые сплавы — нихромы.

По исполнению различают открытые, закрытые и герметичные электронагреватели. В открытых нагревателях нагревательные сопротивления доступны для воздуха или другой среды, в закрытых они размещены в защитном кожухе, предохраняющем тело нагрева от механических воздействий, в герметичных исключается доступ воздуха к нагревательному сопротивлению. Наиболее распространены герметичные ТЭНы. Они применяются в водонагревателях, калориферах, установках лучистого нагрева, бытовых электроприборах.

Для косвенного резистивного нагрева применяются нагревательные провода и кабели, которые имеют токопроводящую жилу из материала с повышенным или высоким сопротивлением и теплостойкую изоляцию (провода ПОСХВ, ПОСХП и др.). Нагревательные провода и кабели используются для обогрева почвы и воздуха в теплицах, для обогрева трубопроводов, а также при устройстве электрообогреваемых полов в животноводческих и жилых помещениях.

Электрические водонагреватели и котлы применяют в технологических процессах животноводства, в системах горячего водоснабжения, отопления и вентиляции. Их классифицируют по способу нагрева, принципу нагрева (прямой, косвенный), принципу действия (периодического, непрерывного), рабочей температуре, давлению, напряжению питания. Водонагреватели работают обычно под атмосферным давлением и предназначены для получения горячей воды с температурой до 95 °С. Водогрейные котлы работают под избыточным давлением (до 0,6 МПа). Электрические паровые котлы производят насыщенный пар давлением до 0,6 МПа.

Элементные водонагреватели работают по принципу косвенного электронагрева воды с помощью ТЭНов. Они характеризуются достаточной электробезопасностью при обслуживании и широко применяются для нагрева воды непосредственно в местах ее

потребления. Основная особенность этих водонагревателей — сравнительно небольшая производительность при высокой электробезопасности и простоте обслуживания. В элементных водонагревателях электрический ток не влияет на качество воды, мощность водонагревателей за время нагрева практически не меняется. К недостаткам этих водонагревателей относятся сравнительно низкая эксплуатационная надежность из-за ограниченного срока службы ТЭНов и большой удельный расход электроэнергии на нагрев воды (более низкий КПД).

Емкостные водонагреватели имеют теплоизолированный резервуар для воды. Они малопроизводительны, но, имея малую установленную мощность, не перегружают подстанции и сети. Благодаря хорошей теплоизоляции такие водонагреватели способны длительное время (8...10 ч) поддерживать температуру нагретой воды, поэтому их можно включать в ночное время, запастись горячей водой и затем отдавать ее потребителям по мере необходимости.

Емкостные электрические водонагреватели типа УАП, из которых наиболее распространен водонагреватель УАП-200.0,9 (рис. 5.1), предназначены для нагрева воды на животноводческих фермах, предприятиях бытового и коммунального назначения, в гаражах, мастерских. В маркировке водонагревателя: 200 — вместимость резервуара в литрах, 0,9 — температура

электрическая дуга — устойчивый самостоятельный электрический разряд в газах или парах металлов, характеризующийся высокой плотностью тока и низким падением напряжения между электродами. Горение дуги сопровождается интенсивным нагревом электродов и газового промежутка. Температура тела дуги достигает 6000... 10 000 °С и более, что достаточно для плавления и испарения самых тугоплавких металлов и сплавов. В сельскохозяйственном производстве основная область применения электродугового нагрева — дуговая электросварка.

Возбуждение дуги осуществляют путем первоначального касания электродов, вызывая термическую ионизацию паров металла и молекул газа между электродами, или с помощью специальных устройств бесконтактного поджига дуги, создающих между электродами импульсы высокого напряжения.

Горение электрической дуги сопровождается следующими эффектами, обуславливающими области ее применения:

1) большим выделением теплоты на электродах (на этом основана электродуговая сварка и плавка металлов в электродуговых печах прямого нагрева);

высокоинтенсивным инфракрасным излучением (это свойство используется в электродуговых печах косвенного нагрева);

• мощным потоком видимого излучения (это свойство дуги используется в электродуговых осветительных приборах);

• интенсивным ультрафиолетовым излучением (как генератор ультрафиолетовых лучей электрическая дуга не используется из-за низкого энергетического КПД).

В электрической дуге переменного тока катод и анод периодически (с частотой тока) меняются местами. При каждом переходе тока через нуль другого участка снижается температура дугового промежутка, происходит частичная деионизация газовой смеси. Повторное зажигание дуги в начале следующего полу- периода происходит при достижении напряжения, достаточного для зажигания дуги, поэтому дуга переменного тока горит прерывисто и неустойчиво. Чтобы повысить устойчивость, необходимо более высокое напряжение питания, чем для дуги постоянного тока. Устойчивость дуги возрастает при включении индуктивности в сварочную цепь.

Источники питания для дуговой сварки классифицируют по роду тока (постоянного и переменного тока); числу фаз (однофазные и трехфазные); виду внешних характеристик (с падающей, жесткой, возрастающей характеристикой); техническому исполнению (вращающиеся, статические); числу сварочных постов (однопостовые,

многопостовые); способу снабжения энергией (зависимые, т.е. питаемые от электрической сети, и автономные).

К источникам питания для дуговой сварки предъявляют следующие требования: обеспечение устойчивого горения дуги; возможность настройки режимов сварки; безопасность обслуживания; высокие энергетические и экономические показатели. Выполнение этих требований достигается выбором основных параметров источников питания (внешней характеристики, напряжения холостого хода, способа регулирования сварочного тока).

### **3. Водонагреватели. Нагреватели воздуха, почвы.**

В сельскохозяйственном производстве применяют элементные (косвенного нагрева) и электродные (прямого нагрева) электроводонагреватели. Элементные водонагреватели просты по устройству и в эксплуатации, имеют высокий КПД и  $\cos\phi = 1$ . Их комплектуют стандартными нагревательными элементами типа ТЭН и выпускают на мощность до 40 кВт. Наибольшее применение получили аккумуляционные (емкостные) элементные водонагреватели, имеющие слой теплоизоляции, благодаря которому снижение температуры воды при отключении электронагревателя не превышает  $0,8...1^\circ$  в час. Это дает возможность включать водонагреватель в часы провала суточного графика электрических нагрузок хозяйства и иметь круглосуточно горячую воду даже в случаях перерывов электроснабжения.

Кроме емкостных, применяют проточные электроводонагреватели, в которых воду нагревают непосредственно перед употреблением. Они дешевле и компактнее, позволяют получать большое количество горячей воды за короткий срок. Но в проточных водонагревателях трудно регулировать температуру воды на выходе, невозможна их работа по принудительному графику. Для подогрева большого количества воды до высокой температуры требуется большая мощность, и при перерывах электроснабжения хозяйство лишается горячей воды. Поэтому проточные электронагреватели лучше использовать там, где требуется длительная непрерывная подача горячей воды, например при поливе растений в парниках и теплицах, в системе электроводяного отопления и т. п.

При нагреве воды до температуры выше допускаемой датчик температуры ВК1 замыкает свои контакты в цепи катушки промежуточного реле КЛ1, которое срабатывает и размыкает свои контакты в цепи катушки магнитного пускателя КМ1, что вызывает отключение первой группы нагревательных элементов. Если температура воды и далее повышается, то замыкаются контакты температурного датчика ВК2, что вызывает отключение второй группы нагревательных элементов (через промежуточное реле КЛ2 и магнитный пускатель КМ2), при этом электроводонагреватель оказывается полностью отключенным. При снижении температуры воды сначала размыкает свои контакты температурный датчик ВК2 и подает импульс на включение второй группы нагревателей; если температура воды и далее понижается, размыкает свои контакты датчик ВК1 и включается первая группа электронагревателей. Ручное управление осуществляется тумблерами S1 и S2.

В электродных водонагревателях вода нагревается проходящим через нее током. Они просты по устройству, требуют значительно меньших капитальных затрат по сравнению с огневыми водогрейными установками, могут быть полностью автоматизированы. Однако они имеют повышенную электроопасность, вызывающую необходимость специальных мер защиты от поражения электрическим током; их мощность зависит от свойств местной воды и в процессе нагрева возрастает за счет резкого уменьшения сопротивления воды. В сельском хозяйстве применяют электроводонагреватели типа ЭПЗ-100, КЭВ.

ЭПЗ-100 мощностью 25, 60 и 100 кВт рассчитаны на напряжение 380/220 В и имеют устройство для регулирования мощности в пределах от 100 до 10%. Номинальный режим рассчитан на воду с удельным сопротивлением 30 Ом-м при температуре  $20^\circ\text{C}$ . На-

именное допустимое сопротивление воды при 20°C — 10 Ом-м. Температура воды при номинальном режиме на входе 70 °C, на выходе 95 °C.

Электроводонагреватели выбирают по следующему условию

$$P_{\Sigma} \geq P_{\text{расч}}, \quad (9-1)$$

где  $P_{\Sigma}$ ,  $P_{\text{расч}}$  — соответственно суммарная установленная и расчетная мощности электроводонагревателей, кВт.

Расчетная мощность (кВт) емкостных водонагревателей

$$P_{\text{расч}} = k_3 mc (\vartheta_{\text{г}} - \vartheta_{\text{х}}) / (3,6 T \eta_{\text{в}} \eta_{\text{т.с}}), \quad (9-2)$$

где  $k_3$  — коэффициент запаса мощности (1,1...1,2);  $m$  — масса нагреваемой воды, кг;  $c$  — теплоемкость воды [4,19 кДж/(кг\*°C)];  $\vartheta_{\text{г}}$  — температура горячей воды, °C;  $\vartheta_{\text{х}}$  — температура холодной воды (7...10°);  $T$  — число часов работы электроводонагревателя;  $\eta_{\text{в}}$  — КПД водонагревателя (0,85...0,95);  $\eta_{\text{т.с}}$  — КПД тепловой сети (для емкостных и проточных электроводонагревателей  $\eta_{\text{т.с}} = 0,8...0,9$ , для циркуляционной системы автопоения  $\eta_{\text{т.с}} = 0,5...0,7$ ).

Для проточных электроводонагревателей

$$P_{\text{расч}} = k_3 Qc (\vartheta_{\text{г}} - \vartheta_{\text{х}}) / (3,6 \eta_{\text{в}} \eta_{\text{т.с}})$$

где  $Q$  — производительность установки, дм<sup>3</sup>/ч.

Расчетная мощность электроводонагревателя для циркуляционной системы автопоения животных \*

$$P_{\text{расч}} = k_4 k_{\text{ч}} qcn (\vartheta_{\text{г}} - \vartheta_{\text{х}}) / (3,6 \cdot 24 \eta_{\text{в}} \eta_{\text{т.с}})$$

где  $k_4$  — коэффициент суточной неравномерности водопотребления (1,2...1,3);  $k_{\text{ч}}$  — коэффициент часовой неравномерности водо\* потребления (1,6...2);  $q$  — суточная норма поения на одну голову, дм<sup>3</sup>/гол (табл. 9.2);  $n$  — число голов.

Температуру воды для поения животных принимают в следующих пределах: для коров — 8...12 °C, телят — 14...16, свиней — 10...16, для поросят — 16'...20°C. Температуру горячей йоды для производственных нужд принимают: для мойки молокопроводов, молочной посуды, шлангов — 55...65°C; для подмывания вымени у коров — 37...38, для приготовления кормов — 40...65, для отопления вспомогательных и подсобных помещений — 70...95 °C.

Нормы расхода пара на приготовление 1 кг корма: варка корнеклубнеплодов — 0,15...0,20 кг, запаривание измельченных концентратов — 0,2...0,25, запаривание соломы — 0,3...0,35, нагрев воды от 7 до 87 °C — 0,2...0,25 кг.

Для создания молодняку животных и птицы оптимальных условий наряду с общим отоплением помещения применяют дополнительные средства обогрева в местах расположения животных и птицы. Одно из этих средств, дающих большой биологический и экономический эффект, — это применение обогреваемых полов, плит и ковров. При обогреве бетонных полов нет необходимости покрывать пол асфальтом или деревянными щитами, почти полностью исключается из употребления подстилка, уменьшается расход теплоты на общее отопление помещения. Благодаря теплоаккумулирующей способности пола вблизи животных длительное время поддерживается оптимальная температура или близкая к ней даже при прекращении подачи электроэнергии.

В качестве нагревательных элементов применяют изолированные провода с токоведущей жилой из оцинкованной стали марки ПОСХВ, ПОСХП, ПОСХВТ, ПНВСВ и неизолированную стальную оцинкованную проволоку диаметром 2...5 мм, отрезки которой закладывают в бетон пола.

Провод ПНВСВ, изготавливаемый по ТУ 16-705- 268—83, по сравнению с проводами ПОСХВ и ПОСХП имеет значительно большую нагрузочную способность, примерно

вдвое больший срок службы, более надежен и безопасен в эксплуатации. По данным исследований ВИЭСХ, экономический эффект при применении провода ПНВСВ по сравнению с проводом ПОСХВ составляет 99 руб/км за счет отсутствия экранирующей сетки при укладке провода в почву, полы, плиты, панели, меньшей его общей длины при одинаковом тепловом эффекте и большего срока службы.

### **1. 5 Лекция №5( 2 часа).**

#### **Тема: «Источники оптического излучения»**

##### **1.5.1 Вопросы лекции:**

1. Источники оптического излучения
2. Лампы накаливания. Люминисцентные лампы. Дуговые-ртутно-люминисцентные. Светильники. Инфракрасные излучатели. Источники ультрафиолетовых лучей. Прожекторы.

##### **1.5.2 Краткое содержание вопросов:**

###### **1. Источники оптического излучения**

Освещение — это использование световой энергии Солнца и искусственных источников света для обеспечения зрительного восприятия окружающего мира.

Свет является естественным условием жизни человека, необходимым для здоровья и высокой производительности труда, основанной на работе зрительного анализатора — самого тонкого и универсального органа чувств. Достаточное освещение действует тонизирующе, улучшает протекание основных процессов высшей нервной деятельности, стимулирует обменные и иммунобиологические процессы, оказывает влияние на формирование суточного ритма физиологических функций человека.

Основная информация об окружающем мире (около 90 %) поступает через зрительное восприятие. Именно поэтому гигиенически рациональное производственное освещение имеет огромное значение.

С точки зрения физики свет — это видимые глазом электромагнитные волны оптического диапазона длиной 380...780 нм, воспринимаемые сетчатой оболочкой зрительного анализатора. Лучше всего глазом воспринимаются лучи с длиной волны 555 нм (желто-зеленого цвета).

Электрическими источниками оптического излучения называются устройства, преобразующие электрическую энергию в лучистую энергию оптического спектра. По способу генерирования или излучения они делятся на температурные и люминесцентные. Первую группу составляют лампы накаливания, вторую — газоразрядные лампы низкого, высокого или сверхвысокого давления, использующие эффект электролюминесценции в газе и парах металлов, в том числе и различные люминесцентные лампы, использующие эффект электрофотолюминесценции.

Основные параметры электрических источников — номинальная мощность, напряжение, световая отдача, измеряемая числом люменов на 1 Вт (лм/Вт), световой поток и средняя продолжительность горения. Они регламентируются соответствующими стандартами.

В качестве электрических источников света в сельском хозяйстве используют лампы накаливания и люминесцентные лампы низкого и высокого давления.

###### **2. Лампы накаливания. Люминисцентные лампы. Дуговые-ртутно-люминисцентные. Светильники. Инфракрасные излучатели. Источники ультрафиолетовых лучей. Прожекторы.**

Лампы накаливания. Они представляют собой источники света, работающие по принципу температурного излучения.

В стеклянной колбе помещена спираль из нити накала, нагреваемая электрическим током. Нить накала может быть мо-носпиральной (односпиральной), биспиральной, а в некоторых лампах — состоять из трех спиралей.

В лампе накаливания используется эффект нагревания (нити накала) при прохождении через него электрического тока. Температура вольфрамовой нити накала резко возрастает после включения тока. Нить испускает электромагнитное излучение в соответствии с законом Планка. Функция Планка имеет максимум, положение которого на шкале длин волн зависит от температуры. Этот максимум сдвигается с повышением температуры в сторону меньших длин волн (закон смещения Вина). Для получения видимого излучения необходимо, чтобы температура была порядка нескольких тысяч градусов, в идеале 6000 К (температура поверхности Солнца). Чем меньше температура, тем меньше доля видимого света и тем более «красным» кажется излучение.

Часть потребляемой электрической энергии лампа накаливания преобразует в излучение, часть теряется в результате процессов теплопроводности и конвекции. Только малая доля излучения лежит в области видимого света, основная часть приходится на инфракрасное излучение (ИК-излучение). Для повышения КПД лампы и получения максимально «белого» света необходимо повышать температуру нити накала, которая, в свою очередь, ограничена температурой плавления материала нити. Идеальная температура 6000 К недостижима, поскольку при такой температуре любой материал плавится, разрушается и перестает проводить электрический ток. В современных лампах накаливания применяют материалы с максимальными температурами плавления: вольфрам (3410 °С) и очень редко осмий (3045 °С). При практически достижимых температурах 2300...2900 °С излучается далеко не «белый» и не дневной свет. По этой причине лампы накаливания испускают свет, который кажется более «желто-красным», чем дневной свет. Для характеристики качества света используется так называемая цветовая температура.

В обычном воздухе при указанных температурах вольфрам мгновенно превратился бы в оксид. В связи с этим вольфрамовая нить защищена колбой, заполненной нейтральным газом (обычно аргоном). Первые лампы накаливания изготавливали с вакууми-рованными колбами. Однако в вакууме при высоких температурах вольфрам быстро испаряется, затемняя стеклянную колбу при осаждении на ней, нить истончается. Позднее колбы стали заполнять химически нейтральными газами. Вакуумные колбы сейчас используют только для ламп малой мощности — до 40 Вт (лампы типа НВ). Лампы некоторых типов наполняют инертным газом (азот, аргон, криптон). Лампы большей мощности изготавливают газополнымимоноспиральными (тип НГ) и биспираль-ными (тип НБ). В вакуумной лампе мощностью 40 Вт в видимое излучение превращается всего 7 % потребляемой мощности, 70 % идет на образование инфракрасного излучения, треть потребляемой мощности переходит в тепловые потери.

Лампы изготавливают для различных рабочих напряжений. При мощности 60 Вт и рабочем напряжении 230 В через нить накала лампы должен проходить ток силой 0,26 А, т.е. сопротивление нити накала должно составлять 882 Ом. Металлы имеют малое удельное сопротивление, поэтому для достижения необходимого сопротивления нужна длинная тонкая нить. Толщина провода в обычных лампах составляет 40...50 мк.

Так как при включении нить накала находится при комнатной температуре, ее сопротивление меньше рабочего сопротивления. Поэтому при включении проходит повышенный ток (в 2—3 раза больше рабочего). По мере нагревания нити ее сопротивление увеличивается и сила тока уменьшается.

В настоящее время в сельском хозяйстве применяются в основном лампы накаливания на 220 и 235 В. Лампы типа В220-235 и Б220-235 рассчитаны на повышенное напряжение, срок их службы в два раза больше (2500 ч), чем ламп типа В220, Б220. Лампы накаливания общего назначения снабжаются цоколями Е27.

Люминесцентные лампы низкого давления. Газоразрядные источники света — это приборы, в которых невидимое ультрафиолетовое излучение плазмы (ионизированных паров металла или газа) преобразуется с помощью люминофоров (фторогерманата магния или арсената магния) в излучение, воспринимаемое зрительно. Под воздействием

электрического поля в парах ртути образуется незаметное для человеческого глаза ультрафиолетовое излучение. Чтобы превратить его в видимое, на внутреннюю поверхность трубки наносят особое вещество — люминофор. Меняя виды люминофора, можно варьировать цветовые характеристики ламп.

Люминесцентные лампы бывают различной формы: прямые трубчатые (линейные), фигурные и компактные (КЛЛ). Диаметр трубок может быть в пределах 16...60 мм, но он никак не связан с мощностью лампы, достигающей порой 200 Вт.

Линейные источники света имеют обычно двухштырьковые цоколи для ламп разного диаметра. Как и все газоразрядные источники, люминесцентные лампы требуют для своего питания, зажигания и стабилизации режима работы специального устройства — пускорегулирующего аппарата (ПРА).

Принцип действия люминесцентных ламп сводится к следующему. В стеклянной трубке между двумя расположенными на ее концах электродами происходит электрический разряд в парах ртути. Возникающее при этом ультрафиолетовое излучение вызывает свечение люминофора, которым покрыта внутренняя поверхность трубки. Стеклянная трубка становится источником света, который равномерно распространяется по ее длине. В зависимости от состава люминофора получается различная цветность излучения. Применяются люминесцентные лампы дневного (типа ЛД и ЛДЦ), белого (типа ЛБ), тепло-белого (типа ЛТБ) и холодно-белого (типа ЛХБ) света. Люминесцентные лампы экономичнее ламп накаливания, срок их службы гораздо больше и достигает 12 000 ч. К недостаткам этих ламп относятся необходимость приборов для зажигания и ограничения силы тока, большие габариты, чувствительность к температуре окружающей среды.

## **1. 6 Лекция №6( 2 часа).**

### **Тема: «Электрические машины»**

#### **1.6.1 Вопросы лекции:**

1. Машины постоянного тока
2. Машины переменного тока
3. Трансформаторы

#### **1.6.2 Краткое содержание вопросов:**

##### **1. Машины постоянного тока**

В электроприводах используются двигатели постоянного тока (ДПТ) с независимым (ДПТ НВ), последовательным (ДПТ ПВ) и смешанным (ДПТ СВ) возбуждением, а также с возбуждением от постоянных магнитов (по своим характеристикам эти электродвигатели близки к ДПТ НВ).

Электродвигатели постоянного тока Применяются в регулируемом электроприводе, ДПТ ПВ и ДПТ СВ — в системах электротростартерного пуска двигателей внутреннего сгорания (ДВС), а также в электротранспорте. Двигатели малой мощности с возбуждением от постоянных магнитов применяются для привода вспомогательных механизмов автомобилей и тракторов (электронасосы, стеклоочистители и т.д.).

Принцип действия электродвигателей постоянного тока основан на взаимодействии токов, проходящих по проводникам якоря с неподвижным магнитным потоком, создаваемым обмоткой возбуждения.

В двигательном режиме  $E < U$ , ток  $I = (U - E)/R$  совпадает по направлению с напряжением  $U$  и не совпадает с ЭДС, электрическая энергия поступает из сети, а механическая передается с вала электродвигателя исполнительному органу.

В режиме рекуперативного генераторного торможения  $U < E$ , ток и момент изменяют свои направления на противоположные. Двигатель преобразует механическую энергию рабочей машины в электрическую и отдает ее (рекуперирует) в сеть.

Режим короткого замыкания возникает при  $\cos \phi = 0$  и  $E = 0$ . В этом режиме  $I = I_{K3} = U/R$ , электрическая энергия, поступающая из сети, рассеивается в виде теплоты в резисторах якорной цепи.

Торможение противовключением происходит при  $\cos \phi < 0$ . ЭДС при изменении направления вращения изменяет полярность. При этом ток в якоре совпадает по направлению с напряжением и ЭДС и определяется как  $I = -(U + E)/R$ . В результате этого электроэнергия поступает из сети и вырабатывается самим двигателем за счет механической энергии рабочей машины, а затем рассеивается в виде теплоты на сопротивлении цепи якоря.

Схема включения ДПТ НВ в режиме динамического торможения (или автономного генератора) изображена на рис. 1.8. Электромеханическая и механическая характеристики в этом режиме (при  $U = 0$ )

Механические характеристики ДПТ НВ при двух различных сопротивлениях резисторов динамического торможения показаны на рис. 1.9. В режиме динамического торможения двигатель работает как генератор независимо от сети. Ток в якоре совпадает по направлению с ЭДС, механическая энергия рабочей машины преобразуется в электрическую и рассеивается в виде теплоты на резисторах якорной цепи.

Регулирование скорости ДПТ НВ можно осуществить путем изменения сопротивления цепи якоря, изменения напряжения питания цепи якоря и изменения магнитного потока.

Импульсное регулирование скорости электропривода с ДПТ независимого возбуждения получило распространение благодаря развитию силовой полупроводниковой техники. Этот способ позволяет регулировать скорость ДПТ НВ при питании его от неуправляемого источника постоянного тока (аккумуляторной батареи, нерегулируемого выпрямителя).

Регулирование скорости осуществляется импульсным изменением напряжения, магнитного потока или сопротивления резистора в якорной цепи.

Наиболее часто в качестве изменяемого параметра используют напряжение, подаваемое на якорь двигателя. В момент подключения якоря ДПТ к источнику питания с помощью управляемого ключа двигатель разгоняется, а во время отключения (паузы) — тормозится.

## **2. Машины переменного тока**

Трехфазные асинхронные двигатели (АД) наиболее распространены в промышленности и сельском хозяйстве благодаря простоте, надежности и относительно низкой стоимости по сравнению с электродвигателями других типов. Двигатели основного исполнения предназначены для работы от сети с частотой 50 Гц. В обозначение типа АД всех серий входит буква «А» (асинхронный). В настоящее время наиболее распространенной является серия АИР, которая заменила серию 4А.

Асинхронный двигатель состоит из статора и ротора, который вращается на подшипниках, установленных в цапфах. Магнитопроводы статора и ротора набирают из отдельных листов электротехнической стали толщиной 0,35...0,5 мм. Пакет листов статора устанавливается в чугунном или алюминиевом корпусе, пакет листов ротора закрепляется на стальном валу. В пазах магнитопроводов статора и ротора укладываются обмотки.

Статор трехфазного АД содержит три обмотки (на каждую фазу по одной). Оси обмоток сдвинуты в пространстве на  $120^\circ$  относительно друг друга. Обмотка ротора может быть короткозамкнутой или трехфазной, как и статорная. Короткозамкнутая обмотка выполняется из алюминиевых стержней, концы которых замкнуты кольцами по краям пакета магнитопровода.

Обмотка фазного ротора выполняется изолированным проводом, уложенным в пазы магнитопровода. Обмотки соединяются в звезду, а выводы подводятся к контактным кольцам, изолированным друг от друга и от вала. Принцип действия АД

основан на электромагнитном взаимодействии вращающегося магнитного поля статора и токов, наведенных этим полем в проводниках ротора (короткозамкнутого или фазного)

Таким образом, ротор всегда вращается медленнее, чем магнитное поле статора. Отсюда и название — асинхронный двигатель. При отсутствии нагрузки на валу частота вращения  $n$  стремится к  $n_0$  — никогда не достигает ее. Это объясняется тем, что при  $n_0 = n$  проводники ротора не пересекают поле и электромагнитный момент  $M = 0$ .

В паспорте электродвигателя указывается частота вращения вала при номинальной (паспортной) мощности. При перегрузке двигателя частота вращения ротора уменьшается, а ток возрастает. Статоры асинхронных двигателей изготавливаются с 2, 4, 6, 8, 10 и 12 полюсами, и при частоте напряжения питания 50 Гц частота вращения магнитного поля статора составляет соответственно 3000, 1500, 1000, 750, 600 и 500 мин<sup>-1</sup>.

### **3. Трансформаторы**

В сельских электрических сетях по стороне номинального высшего напряжения используются следующие ТП: 110/35/10; 110/10; 35/10/0,4; 10/0,4; 10/0,23 кВ.

Подстанции сельских электрических сетей напряжением 110/35/10, 110/10 и 35/10 кВ называются районными. От них отходят распределительные сети, питающие потребительские подстанции. Подстанция 35/0,4 кВ называется подстанцией глубокого ввода. Она обеспечивает подвод электроэнергии при повышенном напряжении в непосредственную близость к центру нагрузки потребителей электроэнергии. Ответвительная подстанция — это подстанция, которая присоединяется глухой отпайкой к одной или двум проходящим линиям.

Проходная подстанция включается в разрыв одной либо двух линий с двусторонним или односторонним питанием. •

Узловая подстанция — наиболее сложная подстанция, к которой подходят две и более линии, питающиеся от двух и более источников.

Пристроенная подстанция — это подстанция, непосредственно примыкающая к производственному или иному зданию либо сооружению.

Встроенная подстанция — это подстанция закрытого типа, находящаяся внутри производственного или иного здания либо сооружения.

Внутрицеховая подстанция — это подстанция, расположенная в производственном здании; при этом она может располагаться открыто (обнесенная ограждением) или в отдельном закрытом помещении.

Подстанции различаются по конструкции распределительных устройств.

#### **1. 7 Лекция №7( 2 часа).**

**Тема: «Релейно – контактная аппаратура управления и защиты»**

##### **1.7.1 Вопросы лекции:**

1. Аппаратура коммутации электрических цепей.
2. Аппараты защиты

##### **1.7.2 Краткое содержание вопросов:**

###### **1. Аппаратура коммутации электрических цепей.**

Аппараты управления и защиты относятся к коммутационным устройствам, которые делятся на аппараты управления силовыми цепями и аппараты для цепей управления. Они различаются силой коммутируемого тока. Кроме того, все электрические аппараты подразделяются на аппараты ручного и дистанционного управления.

К аппаратам ручного управления относятся силовые коммутационные аппараты: рубильники, пакетные выключатели и переключатели, кулачковые контроллеры, автоматические выключатели, а также маломощные устройства — кнопки и ключи управления.

Рубильник представляет собой простейший коммутационный аппарат, предназначенный для нечастого замыкания и размыкания силовых цепей постоянного и

переменного тока напряжением до 600 В. В установках напряжением выше 1000 В Подобные устройства называются разъединителями и предназначены для коммутации высоковольтных цепей без нагрузки (для отключения холостого хода высоковольтных линий и трансформаторов). Рубильники предназначены для коммутации электрических цепей, уже защищенных от сверхтоков другими коммутационными аппаратами.

Разъединители и рубильники используются для создания видимого разрыва, который отделяет выводимое в ремонт оборудование от токоведущих частей, находящихся под напряжением. Таким образом, рубильники предназначены для безопасного производства электротехнических работ.

Рубильники могут быть одно-, двух- и трехполюсными. Рубильники с боковой рукояткой (РБ), с рычажным приводом боковым (РПБ) и с центральным (РПЦ) предназначены для коммутации электрических цепей под нагрузкой в пределах 50... 100 % от номинального тока.

Первая цифра после буквенного обозначения определяет количество полюсов (1, 2, 3), вторая — номинальный ток рубильника: 1 (100 А), 2 (250 А), 4 (400 А), 6 (600 А). Например, РПЦ22 означает: рубильник с центральным рычажным приводом, двухполюсный, номинальный ток 250 А.

Рубильники бывают открытого и закрытого исполнения.

Рубильник открытого исполнения представляет собой электрический коммутационный аппарат с ручным управлением, предназначенный для включения, отключения и переключения электрических цепей либо под нагрузкой (при напряжении до 220 В на постоянном токе и до 380 В на переменном), либо при отсутствии тока. Открытые рубильники выпускаются на различную силу тока (например ВР3231 — на 100 А, ВР3235 — на 250, ВР3237 — на 400, ВР3239 — на 630 А). Они отличаются характерной формой подвижных контактов (ножевидные или «рубящие»).

Рубильник закрытого исполнения представляет собой электрический коммутационный аппарат с ручным управлением, предназначенный для включения, отключения и переключения электрических цепей либо под нагрузкой (при напряжении до 220 В на постоянном токе и до 380 В на переменном), либо при Отсутствии тока.

## **2. Аппараты защиты**

Электрические аппараты защиты служат для отключения электрических цепей в аварийных режимах.

Для защиты проводок и электрооборудования от токов коротких замыканий применяются плавкие предохранители и автоматические выключатели без выдержки времени, а для защиты от перегрузок — автоматические выключатели и электротепловые реле магнитных пускателей.

Плавкие предохранители включаются в каждую фазу электродвигателя или другого электроприемника. Основные элементы предохранителя — плавкая вставка, контактная система и корпус с дугогасящим устройством. При аварийном увеличении тока отключение электрической цепи происходит за счет расплавления калиброванной плавкой вставки.

Для защиты электрических цепей напряжением до 1000 В применяют следующие виды предохранителей: трубчатые без наполнителя (ПР2); трубчатые разборные с закрытыми патронами и наполнителем (ПН2, НПН).

На рис. 2.8 показано устройство плавких предохранителей типа ПН и ПР.

Автоматические выключатели предназначены для коммутации электрических цепей, а также для их защиты от перегрузок и коротких замыканий. Контактная система автоматического выключателя замыкается и размыкается вручную с помощью рукоятки или кнопок. Для отключения цепей при коротких замыканиях служит максимальное токовое реле прямого действия, для отключения при перегрузках — тепловое реле прямого действия (электромагнитный и тепловой расцепители).

Применяемые для коммутации и защиты силовых и осветительных сетей автоматические выключатели типа АЗ700, АЕ2000, ВА и другие различаются количеством контактов (полусов), номинальными значениями силы тока и напряжения, отключающей способностью, временем отключения. Диапазон их номинальных токов — 10... 10 000 А, а предельно коммутируемых токов — до 100 кА. Время срабатывания электромагнитного расцепителя составляет 0,02...0,7 с, а время срабатывания теплового расцепителя зависит от тока перегрузки и изменяется от нескольких секунд до десятков секунд.

Некоторые типы автоматических выключателей содержат дистанционный расцепитель, позволяющий производить отключение нагрузки по внешнему сигналу тока или напряжения. Существуют автоматические выключатели с электромагнитным приводом, обеспечивающим дистанционное включение аппарата. Основные сведения об автоматических выключателях приведены в § 2.1.

Защита электродвигателей от перегрузок может осуществляться также с помощью тепловых реле. Принцип их действия и устройство аналогичны устройству тепловых расцепителей автоматических выключателей. Электротепловые реле бывают двухполюсными (ТРН) и трехполюсными (РТЛ и РТТ). Их применяют вместе с электромагнитными пускателями. Реле типа ТРН используются с пускателями ПМЕ и ПМ, а реле РТЛ, РТТ — с пускателями ПМЛ. Диапазон регулирования тока уставки тепловых реле составляет (0,75...1,25) /ном.

## **1. 8 Лекция №8( 2 часа).**

### **Тема: «Радиоэлектронные компоненты»**

#### **1.8.1 Вопросы лекции:**

1. Резисторы. Варисторы. Терморезисторы. Конденсаторы
2. Диоды, свето – и фото- диоды, стабилитроны.
- 3.Транзисторы полевые и биполярные.Тиристоры. Триаки. Оптроны.

#### **1.8.2 Краткое содержание вопросов:**

##### **1. Резисторы. Варисторы. Терморезисторы. Конденсаторы**

Резистор (англ. resistor, от лат. resisto — сопротивляюсь) — пассивный элемент электрической цепи, в идеале характеризуемый только сопротивлением электрическому току, то есть для идеального резистора в любой момент времени должен выполняться закон Ома для участка цепи: мгновенное значение напряжения на резисторе пропорционально току проходящему через него  $U(t) = R \cdot I(t)$ . На практике же резисторы в той или иной степени обладают также паразитной ёмкостью, паразитной индуктивностью и нелинейностью вольт-амперной характеристики.

В зависимости от назначения резисторы подразделяются на 2 группы: 1) общего назначения (диапазоны номиналов 1 Ом – 10 МОм, номинальные мощности рассеивания 0,062 – 100 Вт); 2) специального назначения, которые подразделяются на: а) высокоомные резисторы (от десятков мегаом до сотен тераом, рабочее напряжение 100 – 400 В); б) высоковольтные (сопротивления до  $10^{11}$  Ом, рабочее напряжение единицы – десятки кВ); в) высокочастотные (имеют малые собственные емкости и индуктивности); г) прецизионные (повышенная точность – допуск 0,001 – 1%, стабильность, номиналы 0,1 Ом – 10 МОм, номинальные мощности рассеивания до 2 Вт).

Переменные резисторы подразделяются на подстроечные и регулировочные.

Подстроечные резисторы рассчитаны на проведение подстройки электрических режимов и имеют небольшую износостойчивость (до 1000 циклов перемещения подвижной части), а регулировочные – для проведения многократных регулировок. Они отличаются большей износостойчивостью (более 5000 циклов) и в зависимости от характера изменения их сопротивления при перемещении подвижной части делятся на резисторы с линейной А и нелинейной функциональными характеристиками: логарифмической Б, обратнологарифмической В, характеристиками типа И, Е (рис. 1.1).

Проводящий элемент резистора выполняют в виде пленки, осажденной на поверхность изоляционного основания; проволоки или микропроволоки; объемной конструкции.

В зависимости от материала, использованного для создания проводящего элемента, резисторы подразделяют на проволочные, непроволочные, металлофольговые (проводящий элемент выполнен из фольги, нанесенной на непроводящие основания). У проволочных и металлофольговых резисторов в качестве материала проводящего элемента используют манганин и нихром.

Непроволочные резисторы можно подразделить на следующие группы: а) углеродистые и бороуглеродистые (проводящий элемент — пленка пиролитического углерода или его соединений, осажденная на непроводящее основание); б) металлодиэлектрические, металлопленочные или металлооксидные (проводящий элемент — микрокомпозиционный слой из диэлектрика и металла или пленки из металла, оксида металла или его сплавов; в) композиционные (проводящий элемент — гетерогенная система из нескольких компонентов, один из которых проводящий, например графит или сажа); г) полупроводниковые (проводящий элемент выполнен из полупроводникового материала).

По конструктивному исполнению резисторы изготавливают в нормальном и тропическом (всеклиматическом) вариантах и выполняют неизолированными (касание токоведущих частей не допускается), изолированными (касание токоведущих частей допускается), герметизированными, в том числе и вакуумными (герметично изолированными от окружающей среды).

Основные параметры резисторов.

1. Номинальные сопротивления.
2. Допускаемые отклонения сопротивлений от номинальных величин.
3. Номинальные мощности рассеивания (максимальная мощность, которую резистор может рассеивать без изменения своих параметров свыше значений, указанных в технической документации, при непрерывной электрической нагрузке и определенной температуре окружающей среды).
4. Предельное рабочее напряжение (напряжение, которое может быть приложено к резистору без нарушения его работоспособности).
5. Температурный коэффициент сопротивления (характеризует изменение сопротивления резистора при изменении температуры на 1°C)

$$\text{ТКС} = \frac{\Delta R}{R_1 \Delta t} \cdot 100,$$

$R_1$  — сопротивление резистора при нормальной температуре;  $\Delta t$  — предельная разность между предельной положительной (отрицательной) и нормальной температурами;  $\Delta R$  — алгебраическая разность между значениями сопротивлений, измеренными при предельной положительной (отрицательной) и нормальной температурами.

6. Уровень собственных шумов  $D$  (мкВ/В).
7. Максимальная температура окружающей среды для номинальной мощности рассеивания.
8. Влагоустойчивость и термостойкость.

Промышленность выпускает резисторы общего назначения (МЛТ, ОМЛТ, С2-6, С2-8, С2-11, С2-22 и др.), прецизионные (ОМЛТ, МГП, С2-1, С2-13, С2-14, С2-31 и т. д.), высокомегаомные (КВМ, КЛМ, СЗ-10, СЗ-14 и т. п.), высоковольтные (КЭВ, СЗ-9, СЗ-14 и пр.), высокочастотные (С2-10, С2-34, СЗ-8 и др.).

В практике кроме линейных иногда используются термозависимые (терморезисторы) и нелинейные (варисторы) резисторы.

Номинальное сопротивление резистора должно соответствовать одному из шести рядов: Е6, Е12, Е24, Е48, Е96, Е192.

Значение сопротивления находят умножением или делением на  $10^n$  (где  $n$  – целое положительное число или ноль) чисел номинальных величин, входящих в состав ряда. Их количество определяется цифрой, стоящей после буквы Е. Так, например, для ряда Е6 эти числа равны 1,0; 1,5; 2,2; 3,3; 4,7; 6,8.

## **2. Диоды, свето – и фото- диоды, стабилитроны.**

К полупроводникам относятся материалы, которые при комнатной температуре имеют удельное электрическое сопротивление от  $10^{-5}$  до  $10^{10}$  Ом-см (в полупроводниковой технике принято измерять сопротивление  $1\text{ см}^3$  материала). Количество полупроводников превышает количество металлов и диэлектриков. Наиболее часто используются кремний, арсенид галлия, селен, германий, теллур, разные оксиды, сульфиды, нитриды и карбиды.

Полупроводник — материал, который по своей удельной проводимости занимает промежуточное место между проводниками и диэлектриками и отличается от проводников сильной зависимостью удельной проводимости от концентрации примесей, температуры и воздействия различных видов излучения. Основным свойством полупроводника является увеличение электрической проводимости с ростом температуры.

Основные положения теории электропроводности. Атом состоит из ядра, окруженного облаком электронов, которые находятся в движении на некотором расстоянии от ядра в пределах слоев (оболочек), определяемых их энергией. Чем дальше от ядра находится вращающийся электрон, тем выше его энергетический уровень. Свободные атомы имеют дискретный энергетический спектр. При переходе электрона с одного разрешенного уровня на другой, более отдаленный, происходит поглощение энергии, а при обратном переходе — ее выделение. Поглощение и выделение энергии может происходить только строго определенными порциями — квантами. На каждом энергетическом уровне может находиться не более двух электронов. Расстояние между энергетическими уровнями уменьшается с увеличением энергии. «Потолком» энергетического спектра является уровень ионизации, на котором электрон приобретает энергию, позволяющую ему стать свободным и покинуть атом.

Если рассматривать структуру атомов различных элементов, то можно выделить оболочки, которые полностью заполнены электронами (внутренние), и незаполненные оболочки (внешние). Последние слабее связаны с ядром, легче вступают во взаимодействие с другими атомами. Поэтому электроны, расположенные на внешней недостроенной оболочке, называют валентными.

При образовании молекул между отдельными атомами действуют различные типы связей. Для полупроводников наиболее распространенными являются ковалентные связи, образующиеся за счет обобществления валентных электронов соседних атомов. Например, в германии, атом которого имеет четыре валентных электрона, в молекулах возникают ковалентные связи между четырьмя соседними атомами.

Если атомы находятся в связанном состоянии, то на валентные электроны действуют поля электронов и ядер соседних атомов, в результате чего каждый отдельный разрешенный энергетический уровень атома расщепляется на ряд новых энергетических уровней, энергии которых близки друг к другу. На каждом из этих уровней могут также находиться только два электрона. Совокупность уровней, на каждом из которых могут находиться электроны, называют разрешенной зоной (/; 3 на рис. 2.1,б). Промежутки между разрешенными зонами носят название запрещенных зон (2 на рис. 2.1,б). Нижние энергетические уровни атомов обычно не образуют зон, так как внутренние электронные оболочки в твердом теле слабо взаимодействуют с соседними атомами, будучи как бы «экранированы» внешними оболочками. В энергетическом спектре твердого тела можно выделить три вида зон: разрешенные (полностью заполненные) зоны, запрещенные зоны и зоны проводимости.

### **3.Транзисторы полевые и биполярные. Тиристоры. Триаки. Оптроны.**

Из принципа действия биполярных транзисторов следует, что токи эмиттера и коллектора зависят от значения тока базы, который в схемах электронных ключей является током управления. Следовательно, биполярные транзисторы могут рассматриваться как электронные ключи, которые управляются током. Биполярные транзисторы с током 50 А и более обычно рассчитаны на напряжение менее 1000 В и частоту коммутации до 10 кГц. В интегральном исполнении по схеме Дарлингтона, составленной из двух и более транзисторов номинальные токи транзисторов могут достигать нескольких сотен ампер. Применение силовых электронных ключей на основе биполярных транзисторов связано с необходимостью больших затрат мощности на их управление и, кроме того, ограничено относительно низкой рабочей частотой.

Полевые транзисторы (МОП-транзисторы). Принцип действия этих транзисторов основан на изменении электрической проводимости на границе диэлектрика и полупроводника под воздействием электрического поля. В качестве диэлектрика обычно используются оксиды, например диоксид кремния  $\text{SiO}_2$ .

Различают два типа МОП-транзисторов: с индуцированным каналом и встроенным каналом. Оба типа имеют выводы из структуры транзисторов: сток (D), исток (S), затвор (G), а также вывод от подложки (B), соединяемой обычно с истоком. В зависимости от типа электрической проводимости канала различают также транзисторы с n- и p-типами каналов. Изображены структуры и символы МОП-транзисторов с каналами n-типа. Для понижения сопротивления областей, соединенных с выводами транзистора, их выполняют с повышенным содержанием носителей. Такие слои обозначают дополнительным верхним индексом, например  $n^+$ -типа. В МОП-транзисторах с индуцированным каналом последний образуется только при подаче напряжения соответствующей полярности на управляющий затвор относительно объединенных выводов истока и подложки, т.е. они работают в режиме обогащения носителями зарядов, что позволяет управлять током стока.

В транзисторах со встроенным каналом ток в цепи сток — исток протекает и при отсутствии напряжения на затворе. Для управления этим током на затвор может подаваться напряжение как больше нуля для обогащения канала, так и меньше нуля для его обеднения носителями.

Принципиальным отличием МОП-транзисторов от биполярных является то, что они управляются напряжением (полем, создаваемым этим напряжением), а не током. Основные процессы в МОП-транзисторах обусловлены одним типом носителей, что повышает их быстродействие. Поэтому МОП-транзисторы называются также униполярными транзисторами.

Допустимые значения коммутируемых токов МОП-транзисторов сильно зависят от напряжения. Например, при токах до 50 А допустимое напряжение обычно не превышает 500 В, сопротивление проводящего канала примерно 0,5 Ом, частота коммутации обычно не превышает 100 кГц.

Биполярные транзисторы с изолированным затвором (МОПБТ). Стремление объединить в одном транзисторе положительные свойства биполярного и полевого транзисторов привело к созданию МОПБТ-транзисторов. Выполненный в одном кристалле, он имеет низкие потери мощности во включенном состоянии подобно биполярному транзистору и высокое входное сопротивление цепи управления, характерное для полевых транзисторов.

## **1. 9 Лекция №9( 2 часа).**

### **Тема: «Оборудование для электроснабжения с.х. предприятий»**

#### **1.9.1 Вопросы лекции:**

1. Распределительные устройства
2. Потребительские подстанции
3. Вводное распределительное устройство

#### **1.9.2 Краткое содержание вопросов:**

##### **1. Распределительные устройства**

Распределительным устройством (РУ) называется электроустановка, предназначенная для приема электрической энергии от генераторов, трансформаторов, линий электропередачи и ее распределения. В состав РУ входят коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, измерительные приборы, средства управления, автоматики и защиты.

По назначению РУ делятся на следующие типы:

- главные (электростанций), служащие для приема электроэнергии от генераторов;
- повышающих и понижающих подстанций; в них электроэнергия распределяется после повышения или понижения напряжения на силовых трансформаторах;
- собственных нужд, применяемые для распределения электроэнергии потребителям собственных нужд станций и подстанций;
- линейные — распределительные пункты, в которых электроэнергия распределяется между отдельными линиями электропередачи без трансформации напряжения.

По роду основного оборудования РУ подразделяются на закрытые (ЗРУ) и открытые (ОРУ), по конструктивному исполнению — на сборные, комплектные, блочные, по роду напряжения — до 1000 В и выше 1000 В, в том числе Генераторного напряжения.

В установках напряжением до 1000 В автоматические выключатели, рубильники, трансформаторы тока, предохранители и другую коммутационную и защитную аппаратуру устанавливают на металлических панелях, совокупность которых называется распределительным щитом.

К распределительным устройствам предъявляются следующие требования:

- надежность работы, не допускающая повреждения оборудования в процессе эксплуатации;
- удобство и электробезопасность при обслуживании;
- обеспечение хорошего обзора всех частей РУ и доступ к ним при необходимости ремонта;
- возможность расширения при росте нагрузки и установке дополнительного оборудования;
- экономичность при выборе вариантов устройства РУ и малые сроки его строительства.

##### **2. Потребительские подстанции**

Потребительские подстанции напряжением 10/0,4 кВ предназначены для питания четырехпроводных распределительных линий 0,38 кВ с глухозаземленной нейтралью. Они могут быть одно- и двухтрансформаторными. По конструктивному исполнению подразделяются на столбовые (мачтовые — МТП), комплектные (КТП) и закрытые (ЗТП).

Около 90 % всех сельских потребительских подстанций составляют комплектные ТП, выпускаемые с различными техническими характеристиками: КТП 10/0,4 кВ наружной установки выпускаются на мощность 25, 40, 63, 100, 160, 250, 400 и 630 кВ А.

Комплектная ТП состоит из трех блоков: силового трансформатора, шкафа предохранителей 10 кВ с выводами 10 кВ и кронштейнами низковольтных изоляторов,

шкафа распределительного устройства низкого напряжения (РУНН). На шкафу предохранителей 10 кВ установлены проходные изоляторы и комплект вентильных разрядников, а также штыри для крепления приемных изоляторов 10 кВ. Ниже расположены кронштейны для крепления изоляторов 0,38 кВ. В шкафу РУНН находятся коммутационные аппараты на напряжение 0,38 кВ, аппаратура защиты, автоматики и приборы учета. На дверях шкафа высоковольтных предохранителей установлен блок-замок, заблокированный с приводом заземляющих ножей разъединителя. Разъединитель устанавливается на концевой опоре вблизи КТП.

В комплектных ТП имеются предупреждающие блокировки:

- отключения разъединителя при включенной нагрузке со стороны 0,38 кВ;
- включения главных ножей разъединителя при включенных заземляющих ножах и включения заземляющих ножей при включенных главных ножах разъединителя;
- открывания дверей шкафа высоковольтных предохранителей при отключенных заземляющих ножах разъединителя и открытой двери шкафа высоковольтных предохранителей;
- отключения рубильника под нагрузкой.

Принципиальная электрическая схема КТП-90 представлена на рис. 8.5. Питание от высоковольтной линии (ВЛ) подается через разъединитель QS1, предохранители FU1...FU3 на трансформатор Т1. Пониженное до 0,4/0,23 кВ напряжение через рубильник Q1 и трансформаторы тока ТА1...ТА3 подается на силовые линии (автоматы QF1...QF4) и линию уличного освещения (предохранители FU4...FU6).

В КТП предусмотрен ряд защит:

- защита оборудования от атмосферных перенапряжений осуществляется разрядниками FV1...FV3 и FV4...FV6 на стороне 10 и 0,38 кВ соответственно;
- защита силового трансформатора от многофазных коротких замыканий обеспечивается предохранителями FU1...FU3;
- от многофазных коротких замыканий и перегрузки отходящие линии защищаются автоматическими выключателями QF1...QF4.

### **3. Вводное распределительное устройство**

Построение схем распределительных и питающих сетей зданий начинается с принятия решения о вводном устройстве.

Вводные устройства (ВУ) предназначены для приема, распределения энергии и защиты питающей сети. Их следует размещать в специальных электротехнических помещениях — электрощитовых. Такое размещение обеспечивает сохранность оборудования, ограничивает доступ постороннего персонала, повышает надежность электроустановки.

Вводные (а значит, и электрощитовые) устройства необходимо размещать с максимальным приближением к электроприемникам. В случае установки ВУ вне электрощитовых они не должны загромождать проходы, мешать производству, но в то же время необходимо обеспечить удобство их обслуживания. Протяженность линии питающей сети к ВУ должна быть минимальной, а трасса линии — удобной для монтажа и эксплуатации, доступной для ремонтных работ.

По назначению ВУ могут быть или чисто вводными, или комбинированными, т.е. совмещающими функции ввода электроэнергии и ее распределения. Такие устройства называют вводно-распределительными (ВРУ). По конструкции они бывают единого или раздельного исполнения вводных и распределительных, составляющих частей.

ВРУ могут быть одношкафными или многошкафными (секционными). При необходимости их можно выбирать с установленными на них приборами учета расхода электроэнергии, а также с установленными УЗО или без них.

В качестве ВРУ (общий вид показан на рис. 8.6) применяются шкафы, щиты, панели, распределительные пункты, силовые ящики, отдельные аппараты и т.д.

Вводно-распределительные устройства подразделяются:

- по типам аппаратов на вводе и отходящих линиях — рубильник с предохранителем или автоматический выключатель на вводе (аппарата защиты на вводе может не быть);
  - по наличию приборов контроля — вольтметры, амперметры;
  - по наличию приборов учета;
  - по схемам электрических соединений — с одной секцией шин, с двумя секциями (при этом с секционным аппаратом или без него);
  - по способу установки — напольные, навесные, утопленного монтажа;
- по степени защиты, обеспечиваемой оболочкой — 1Р-ОХ открытые, 1Р-54 защищаемые и др.

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

### **2.1 Лабораторная работа №1 ( 2 часа).**

**Тема: «Устройство и работа регулирующего сопротивления в режиме реостат и потенциометр»**

**2.1.1 Цель работы:** Ознакомление с порядком проведения лабораторных работ и изучить устройство реостата и снять зависимость тока в нагрузке от величины регулировочного сопротивления  $I = f(R_i)$

#### **2.1.2 Задачи работы:**

1. Знакомство с устройством универсального лабораторного стенда
2. Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ
3. Основные правила составления и чтения схем электроустановок
4. Правила сборки электрических схем
5. Изучить устройство, принцип действия и схемы включения реостата и потенциометра.
6. Экспериментально оценить качество регулирования тока в нагрузке при включении регулировочного сопротивления по схеме реостата и схеме потенциометра

#### **2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Мультимедиапроектор
2. Амперметр
3. Реостат
4. Резистор

#### **2.1.4 Описание (ход) работы:**

##### **Общий порядок выполнения лабораторных работ**

Выполнение каждой лабораторной работы осуществляется групповым методом. Групповые лабораторные работы организованы таким образом, что вся подгруппа студентов, находящаяся в аудитории, изучает один и тот же объект и решает одну и ту же задачу по исследованию его свойств коллективно. При этом каждый выполняет свою часть общей работы под наблюдением всех остальных студентов, присутствующих в аудитории. Конечный результат решения поставленного в работе задания есть итог труда каждого участника эксперимента. Такая постановка работы в аудитории прививает выпускникам вуза навыки работы в трудовых и творческих коллективах (отделах, бюро и пр.), решающих общие производственные, технические или научные задачи и проблемы.

Методические указания для каждой лабораторной работы составлены таким образом, что они одновременно являются и формой отчёта студентов о проделанной работе в аудитории. С этой целью материал, который необходимо внести в отчёт, представлен прямым шрифтом. Он должен быть полностью перенесён заблаговременно в заготовку отчёта по лабораторной работе каждым студентом. В аудитории результаты исследований заносятся в заготовленные таблицы и далее строятся графики, отражающие результаты исследований, а также делаются выводы по полученным результатам.

Инструкции по выполнению лабораторной работы даются в методическом описании косым шрифтом, служат для руководства действиями студентов при выполнении работы и в отчёт не заносятся.

Работы проводятся с использованием универсального лабораторного стенда, размещённого в аудитории 208 факультета механизации сельского хозяйства.

Работа каждого студента в аудитории оценивается преподавателем, в конце занятия каждый студент защищает отчёт и отвечает на контрольные вопросы.

### **Знакомство с устройством универсального лабораторного стенда**

Универсальный лабораторный стенд ( рис. 1.1) размещён на фронтальной стене аудитории №208 и представляет собой каркас с расположенными на нём панелями приборов и оборудования, набор которых достаточен для выполнения любой из лабораторных работ цикла. Органично с ним связан мультимедиапроектор, экран которого размещён в центральной части стенда. Здесь же расположена классная доска для записи результатов экспериментов и разработки схем для проведения экспериментов. Для этой же цели служит и мультимедиапроектор.

Выводы приборов и оборудования, размещённых на пронумерованных панелях стенда, осуществлены на клеммы, с помощью которых через соединительные провода с наконечниками приборы соединяются в схемы. Для соединения приборов, находящихся на противоположных сторонах стенда, служат переходные клеммы, расположенные на двух нижних рейках стенда, имеющие номера от 1 до 18 с каждой стороны стенда. Клеммы, имеющие одинаковый номер, соединены между собой проводом-удлинителем.

На стенде с правой стороны имеется панель питания ПП1, на которой расположены 4 автоматических выключателя QF, с помощью которых на стенд подаётся трёхфазное напряжение соответственно 127/220 вольт (QF...-ПП1a) и 220/380 вольт (QF...-ПП1c) и однофазное переменное и постоянного напряжения соответственно 127 вольт (QF...-ПП1b) и 220 вольт (QF...-ПП1d). Сигнальные лампы, расположенные между выключателями, указывают на подачу напряжения до автоматических выключателей, а лампы, расположенные у клемм – на наличие напряжения непосредственно на клеммах. С левой стороны имеется панель питания ПП2, на которой расположены 2 автоматических выключателя QF для подачи трёхфазного напряжения 21/36 вольт (QF...-ПП2a) и для подачи выпрямленного напряжения  $\pm 25$  вольт (QF...-ПП2b).



**Рис. 1.1. Внешний вид универсального лабораторного стенда**

### **Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ**

Используемое на лабораторном стенде напряжение опасно для жизни и может привести к смертельному исходу. В связи с этим при выполнении лабораторных работ необходимо выполнять следующие меры предосторожности:

- Перед началом работы убедитесь, что все автоматические выключатели отключены.
- Включение экспериментальной схемы осуществлять после проверки и по разрешению преподавателя в строго регламентированной в инструкции последовательности.
- При работе со схемой не прикасаться к токоведущим частям оборудования, проводам и клеммам.
- Изменение режимов работы оборудования и его отключение осуществлять в соответствии с приведённой в методическом указании инструкцией.
- Перед разборкой схемы, убедитесь, что все вводные автоматические выключатели обесточены.
- По окончании работы схему разобрать полностью, провода убрать на место хранения.

### **Основные правила составления и чтения схем электроустановок**

Одним из этапов выполнения лабораторных работ является сборка схем исследуемой экспериментальной установки. Как при сборке схемы, так и при последующем её исследовании студент должен уметь её прочитать и осмыслить. Для однозначного восприятия схемы их вычерчивают по заранее установленным правилам и стандартам. Основные из них приведены ниже.

#### **Виды и типы схем**

Схемой называется специальный чертёж, на котором условными графическими обозначениями показаны все электрические, гидравлические, пневматические и другие составные части (элементы) устройств, цепи взаимосвязей между элементами в устройствах и сведения о их монтаже и эксплуатации. При выполнении ЛР будут использоваться преимущественно электрические принципиальные схемы (условное обозначение ЭЗ) и электрические монтажные схемы (условное обозначение Э4).

#### **Условные графические обозначения**

Элементы устройств на схемах изображаются в виде условных графических обозначений. Для того, чтобы схемы были понятны всем, условные графические обозначения элементов и линий связи между ними стандартизированы. При выполнении ЛПР будут использоваться в основном графические обозначения, приведённые в приложении 19.1.

#### **Позиционные обозначения**

Все элементы на схеме должны иметь буквенно-цифровые позиционные обозначения, проставляемые рядом – справа или вверху. Буквенно-цифровое обозначение является своего рода собственным именем элемента или устройства (фамилией, именем и отчеством) и должно однозначно определять элемент в пределах всего устройства. Состоит оно из одно-, двух- или трёхбуквенного кода (фамилия), стоящего на первом месте, и цифры (имя), обозначающей порядковый номер элемента в устройстве, стоящей на втором месте. Например: КМ2.3 – третий элемент (цифра 3) второго (цифра 2) магнитного пускателя (буквенный код КМ).

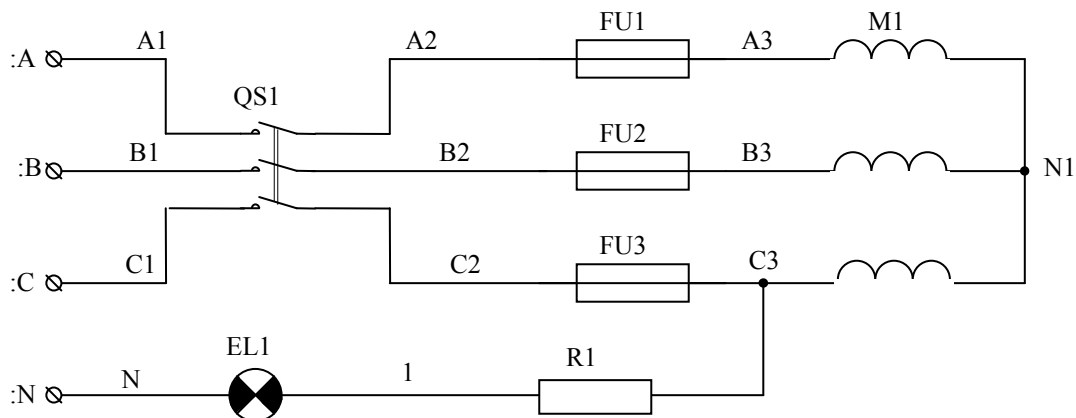
Коды наиболее распространённых устройств, необходимых для выполнения лабораторных работ, представлены в приложении 19.2.

#### **Обозначения электрических цепей**

Любая электрическая цепь состоит из ряда участков (одного или совокупности проводов), обеспечивающих требуемое соединение между собой выводов (клемм) отдельных элементов. Клеммы, соединённые между собой проводами при условии пренебрежительно малого сопротивления проводов по сравнению с сопротивлением

элементов, приобретают одинаковый потенциал, поэтому называются равнопотенциальной точкой или узлом. Для опознания, участкам цепей чаще всего присваивают буквенно-цифровые обозначения последовательно от ввода источника питания до приёмника, а разветвлённые - слева направо и сверху вниз. При этом используют арабские цифры и прописные буквы латинского алфавита. На схемах силовых цепей переменного тока ввод источника питания обозначают А, В, С и N, а последующие участки цепей: А1, В1, С1; А2, В2, С2 и т. д.

Например:



**Рис. 1.2. Пример нанесения обозначений электрических цепей и позиционных обозначений на принципиальной электрической схеме**

#### **Правила сборки электрических схем**

В лаборатории сборка схемы должна осуществляться быстро, рационально и без ошибок, чреватых выходом электрооборудования из строя. Поэтому каждый студент производить сборку должен осмысленно и в строго установленной, излагаемой ниже последовательности.

1. Преподаватель распределяет узлы собираемой схемы по исполнителям. (Под узлом электрической схемы понимается совокупность выводных клемм элементов электрооборудования, соединённых между собой проводами и имеющими вследствие этого одинаковый потенциал.)

2. Получив задание на сборку определённого узла схемы, очередной студент выполняет следующие действия.

А) Каждую клемму, входящую в узел:

- показывает указкой на плакате;
- называет выводом какого элемента и какого аппарата она является, а также называет номер панели, на которой данный аппарат расположен или имеет выводы (номер панели на схеме указан после позиционного обозначения через дефис);
- находит и показывает всем студентам эту клемму на стенде.

Б) После того, как все клеммы, входящие в узел, будут перечислены, берёт соединительные провода и производит сборку в следующем порядке:

- выбирает самую левую клемму на стенде из показанных и присоединяет к ней наконечник провода, длина которого достаточна для присоединения к ближайшей клемме, расположенной правее;
- к этой клемме добавляет наконечник следующего провода, длина которого достаточна для присоединения к клемме, расположенной правее;
- действия повторяет, пока не соединит все клеммы, входящие в узел.

Клеммы следует закручивать плотно, но не чрезмерно.

Примечание. При недостаточной длине проводов можно соединить два провода последовательно с помощью свободных клемм на аппаратах, не связанных с собираемой

цепью электрически. При переходе на правую часть стенда следует воспользоваться переходными клеммами стенда, расположенными на второй и третьей рейках с левой и правой стороны стенда. Клеммы следует закручивать плотно, но не чрезмерно.

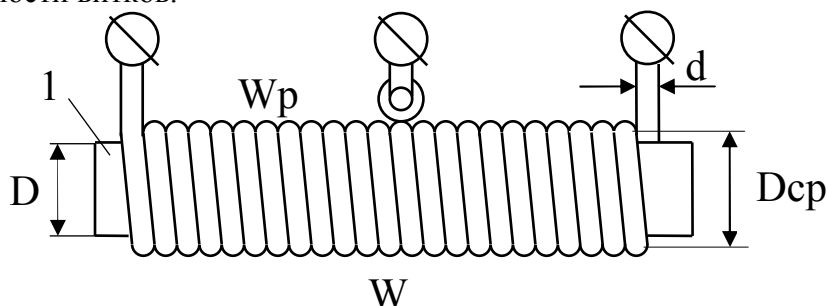
### Расчёт и исследование простейших электрических цепей

#### Назначение

Изучить устройство, принцип действия и схемы включения реостата и потенциометра. Экспериментально оценить качество регулирования тока в нагрузке при включении регулировочного сопротивления по схеме реостата и схеме потенциометра.

#### Краткие теоретические положения

Реостат – это устройство, обладающее электрическим сопротивлением с возможностью регулирования его величины. В условиях лаборатории используются проволочные реостаты, представляющие собой керамический цилиндр 1, на который в один слой виток к витку намотана проволока из константана. Для регулирования величины сопротивления имеется движок 3, скользящий или перекатывающийся по поверхности витков.



**Рис. 1.1. Схематическое изображение реостата**

Допустим, что на цилиндрический керамический каркас диаметром  $D=0,07$  м навито  $W=200$  витков константановой проволоки диаметром  $d=0,0008$  м. Определим сопротивление реостата при температуре  $T_{\Gamma} = 500$  °С. С этой целью находим:

1. средний диаметр витка  
 $D_{cp} = D + d = 0,07 + 0,0008 = 0,0708 \text{ м};$  (1.1)

2. длину витка  
 $l = \pi D_{cp} = 3,14 \cdot 0,0708 = 0,2224 \text{ м};$  (1.2)

3. длину навитой проволоки  
 $L = Wl = 200 \cdot 0,2224 = 44,48 \text{ м};$  (1.3)

4. сечение проволоки  
 $S = \pi d^2 / 4 = 3,14 \cdot 0,0008^2 / 4 = 5,03 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2;$  (1.4)

5. сопротивление одного витка при  
 $r_{20} = \rho_{20} / S = 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2224 / (5,03 \cdot 10^{-7}) = 0,221 \text{ Ом},$  (1.5)

где  $\rho_{20}$  – удельное сопротивление константана при 20 °С, равное  $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м};$

6. сопротивление проволоки при 20 °С  
 $R_{20} = r_{20} W = 0,221 \cdot 200 = 44,21 \text{ Ом};$  (1.6)

7. сопротивление проволоки при 500 °С  
 $R_{500} = R_{20} + \alpha R_{20} (T_{\Gamma} - T_{\text{х}}) = 44,21 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot 44,21 \cdot (500 - 20) = 43,47,$  (1.7)

где  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления, равный приросту сопротивления проводника величиной в 1 Ом при нагреве его на 1 градус. Для константана он равен  $3,5 \cdot 10^{-5} \text{ 1/}^\circ\text{С}.$

Как видим, сопротивление при нагреве изменилось незначительно ввиду малого значения для константана температурного коэффициента сопротивления, что и определяет константан наряду с высоким удельным сопротивлением как проводник, незаменимый для изготовления высокостабильных сопротивлений. Медный проводник увеличил бы сопротивление при таком нагреве примерно в три раза. Кроме того, на поверхности константана образуется окисная плёнка, препятствующая прохождению тока непосредственно от витка к витку при их плотной намотке.

Сопротивление между левым выводом реостата и движком  $R_p = rW_p$  будет дискретно увеличиваться с увеличением  $W_p$  при перемещении движка вправо. При большом числе витков дискретность становится незаметной, и можно говорить о плавном изменении сопротивления.

Каждый реостат характеризуется номинальной величиной сопротивления  $R_n$  и допустимой величиной тока  $I_d$ , превышение которой приводит к перегреву и выходу реостата из строя.

#### Порядок выполнения задания

##### Изучаем устройство реостата

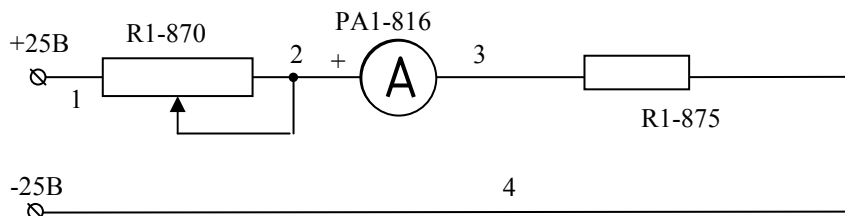
Изучить устройство и все его элементы по наглядному пособию и плакату.

**Знакомимся с основными техническими данными используемого в экспериментальной установке оборудования и его размещением на стенде**

Знакомство осуществить по перечню элементов универсального лабораторного стенда, составленному на вводном занятии (Приложение 19.3).

**Производим регулирование тока в обмотке возбуждения электродвигателя при включении регулирующего сопротивления по схеме реостата**

**Собираем электрическую схему:**



**Рис. 1.3. Включение регулирующего сопротивления по схеме реостата**

Сидоров собирает узел 1; Козлов – узел 2 и так далее.

#### Заготавливаем таблицу записи наблюдений

Распределяются исполнители

Таблица 1.1 – Данные опытов и расчётов

Исполнитель	$L_i$ , мм	$I$ , А	$R_i = R_n \cdot L_i / L$ , Ом
Сидоров	0		
Козлов	30		
И т. д.	60		
	90		
	120		
	150		
	180		
	210		

**Записываем действия при определении параметров точек экспериментальной зависимости, заданных вторым столбцом таблицы 1.1:**

а). С помощью линейки устанавливаем заданное положение движка;

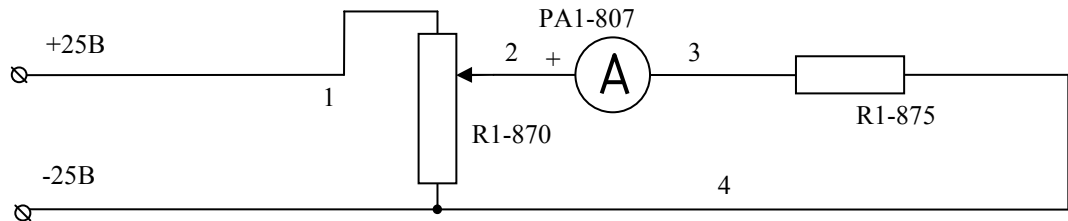
- б). Считываем и заносим в таблицу показание амперметра;  
 в). Рассчитываем и заносим в таблицу величину сопротивления реостата;

**Снимаем точки экспериментальной зависимости**

Старший по работе назначает исполнителей. Каждый из ответственных за точку снимает показания, как указано в предыдущем пункте, и заносит их в таблицу.

**Производим регулирование тока в обмотке возбуждения электродвигателя при включении регулирующего сопротивления по схеме потенциометра**

**Собираем электрическую схему**



**Рис. 1.3. Включение регулирующего сопротивления по схеме потенциометра**  
 Сидоров – узел 1; Козлов – узел 2 и так далее.

**Заготавливаем таблицу записи наблюдений**

Распределяются исполнители

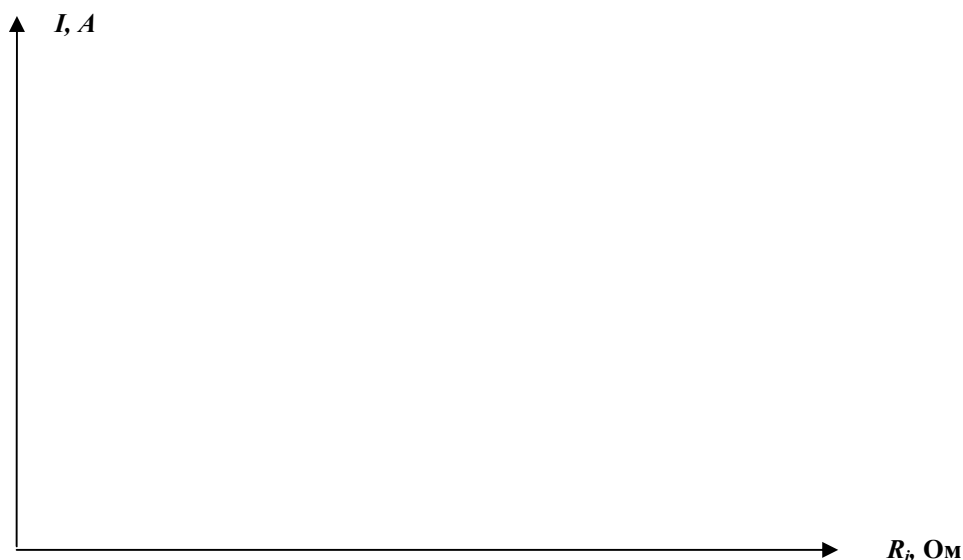
Таблица 1.2 – Данные опытов и расчётов

Исполнитель	Li, мм	I, А	Ri= Rн*Li/L, Ом
Сидоров	0		
Козлов	30		
И т. д.	60		
	90		
	120		
	150		
	180		
	210		

**Выполняем действия по снятию точек экспериментальной зависимости, заданных вторым столбцом таблицы 1.2**

**Строим графики экспериментальной зависимости  $I = f(R_i)$  для обеих схем включения регулирующего сопротивления**

Старший по работ е– на доске, а все остальные студенты у себя в тетрадях заготавливают оси координат. Каждый из ответственных за точку наносит её на поле графика, расположенного на доске.



**Рис. 1.4:** Графики зависимости тока от величины регулирующего сопротивления (а – при регулировании по схеме реостата; б – при регулировании по схеме потенциометра)

#### **Осуществляем сравнение способов регулирования**

В тетрадах привести комментарии.

#### **Подготавливаем ответы на контрольные вопросы**

1. Устройство реостата.
2. Как включается регулирующее сопротивление по схеме реостата?
3. Как включается регулирующее сопротивление по схеме потенциометра?
4. Как определить сопротивление проводника по известным его геометрическим размерам и материалу?
5. Что такое геометрический коэффициент сопротивления?
6. Как определить сечение проводника по известному его диаметру?
7. Как пересчитать сопротивление проводника с одной температуры на другую?
8. Почему ток реостата идёт по виткам, а не напрямую от одного вывода к другому?
9. Начертить график изменения сопротивления реостата от положения движка.
10. Как по паспортным данным (сопротивлению и допустимому току) определить допустимую мощность реостата?

## **2.2. Лабораторная работа №2( 2 часа).**

### **Тема: «Определение удельной проводимости воды»**

**2.2.1 Цель работы:** Изучить механизм прохождения тока через проводники второго рода, определить удельную проводимость воды и снять зависимость удельной проводимости воды от температуры.

#### **2.2.2 Задачи работы:**

1. Снять зависимость удельной проводимости воды от температуры.

#### **2.2.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Мультимедиапроектор
2. Автотрансформатор
3. Амперметр
4. Вольтметр
5. Электролитическая ячейка

## 2.2.4 Описание (ход) работы:

### Краткие теоретические положения

В проводниках второго рода (растворах кислот, солей или оснований) носителями тока являются диссоциированные в воде ионы растворённых веществ – положительные (катионы) и отрицательные (анионы). Способность растворов пропускать электрический ток удобнее всего оценивать величиной, обратной сопротивлению, – проводимостью. Проводимость – это отношение тока к приложенному напряжению. Иными словами проводимость численно равна протекающему через проводник току при напряжении 1 вольт ( $g=I/U$ ). Измеряется проводимость в сименсах (См). Сименс – это такая проводимость, при которой через проводник при напряжении 1 вольт протекает ток 1 ампер. Проводимость проводников второго рода тем больше, чем больше температура, концентрация раствора и площадь  $S$  электродов и чем меньше расстояние  $d$  между электродами.

Проводимость между плоскими электродами сечением  $1\text{ м}^2$  при расстоянии между ними 1 м называется удельной проводимостью  $\gamma$ . Она зависит только от свойств электролита и не зависит от размеров электродов. Измеряется она в См/м. Один См/м это такая удельная проводимость, при которой между плоскими электродами сечением  $1\text{ м}^2$  при расстоянии между ними 1 м проводимость равна одному сименсу. Если известна удельная проводимость, то проводимость между электродами определяется по формуле  $g=\gamma S/d$  ( $R=1/g$ ;  $\rho=1/\gamma$ ).

Удельная проводимость воды линейно увеличивается с увеличением температуры:

$$\gamma = \gamma_{20}(0,5 + 0,025T), \quad (3.1)$$

где  $\gamma_{20}$  – удельная проводимость при температуре воды 20 °С.

Увеличение проводимости связано с возрастанием подвижности ионов при нагреве воды.

### Порядок выполнения задания

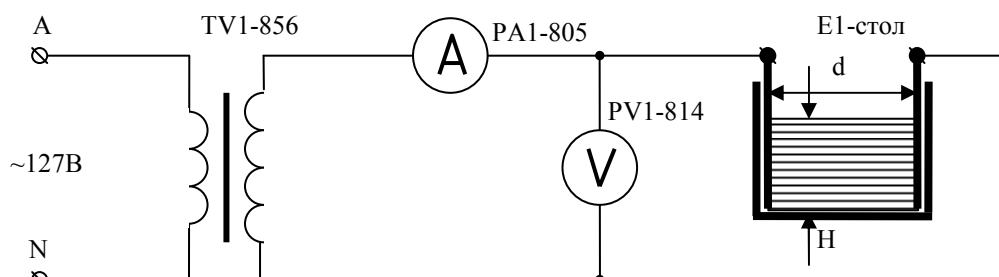
#### Изучаем устройство электролитической ячейки

*Показать устройство электролитической ячейки.*

**Знакомимся с основными техническими данными используемого в экспериментальной установке оборудования и его размещением на стенде**

*Знакомство осуществить по перечню элементов универсального лабораторного стенда (Приложение 19.3).*

#### Собираем электрическую схему:



**Рис.3.1. Схема установки для определения удельной проводимости воды**  
Сидоров – узел 1; Козлов – узел 2 и так далее.

**Измеряем активную площадь электродов:**  $B=$  ,  $d=$  ,  $H=$  ,  $S=BH=$   
*Работу выполняет очередной исполнитель.*

**Заготавливаем таблицу записи наблюдений:**

*Распределяются исполнители*

Таблица 3.1 – Данные опытов и расчётов

Исполн итель	$T_i$ , °С	$I$ , А	$U$ , В	$g$ $=I/U$ ,	$\gamma$ $=gd/S$ ,
-----------------	---------------	------------	------------	-----------------	-----------------------

				Сим	Сим/м
Сидоров	20				
Козлов	30				
И т. д.	40				
	50				
	60				
	70				
	80				
	90				
	10				
	0				

**Записываем действия при определении параметров точек экспериментальной зависимости, заданных вторым столбцом таблицы:**

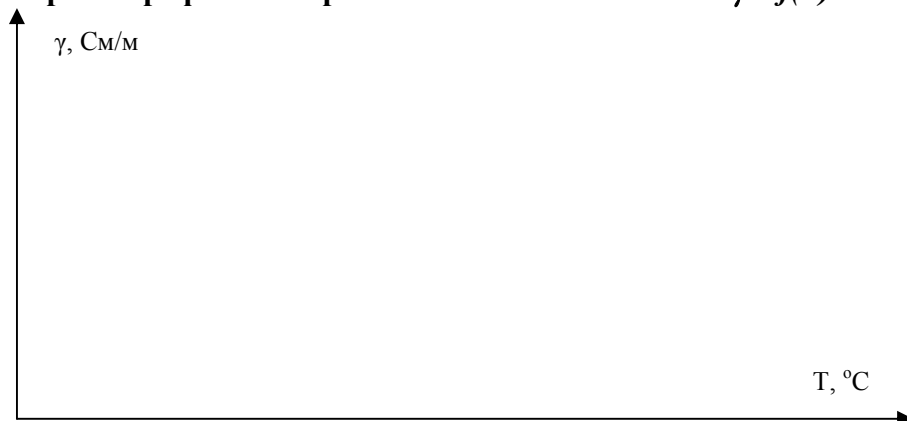
а) Установка включается в сеть и термометром осторожно перемешивается вода в пространстве между электродами.

б) Как только температура достигает заданной величины, быстро производится отсчёт показаний амперметра и вольтметра и термометр передаётся очередному исполнителю.

#### **Снимаем точки экспериментальной зависимости**

Старший по работе назначает исполнителей и заносит их фамилии в таблицу. Каждый из ответственных за точку снимает показания, как указано в предыдущем пункте, заносит их в таблицу и затем считает расчётные данные.

#### **Строим график экспериментальной зависимости $\gamma = f(T)$**



**Рис. 3.2. График зависимости удельной проводимости воды от температуры**

#### **Подготавливаем ответы на контрольные вопросы**

1. Что является носителями тока в растворах?
2. Как подсчитать плотность тока на электродах?
3. Дать определение проводимости.
4. Дать определение единице измерения проводимости.
5. Что такое геометрический коэффициент проводимости?
6. Как определить проводимость по данным опыта?
7. Дать определение удельной проводимости.
8. Дать определение единице измерения удельной проводимости.
9. Почему с ростом температуры проводимость электролитов и водных растворов солей увеличивается?
10. Как по данным опыта подсчитать удельную проводимость?
11. Как зависит удельная проводимость воды от температуры?

## **2.3. Лабораторная работа №3( 2 часа).**

### **Тема: «Измерение тока»**

**2.3.1 Цель работы:** Изучить устройство и принцип действия амперметра. Научиться правильно включать амперметр в цепь, расширять пределы его измерения и снимать показания.

### **2.4.2 Задачи работы:**

1. Изучить устройство амперметров магнитоэлектрической и электромагнитной систем, устройство шунтов и трансформаторов тока, произвести измерения тока в цепях постоянного и переменного тока.

### **2.3.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Амперметр
2. Резистор
3. Шунтовое сопротивление
4. Трансформатор тока
5. Вилка
6. Электроплитка

### **2.3.4 Описание (ход) работы:**

#### **Краткие теоретические положения**

##### **Амперметр**

Амперметр служит для измерения силы тока в электрической цепи. Он состоит из стрелочного прибора – гальванометра с внутренним сопротивлением  $R_a$  и параллельно подключенного к нему шунтирующего сопротивления  $R_{ш}$ . Собственное (внутреннее) сопротивление  $R_a$  гальванометра должно быть как можно меньше, чтобы при измерении силы тока в данном участке цепи падение напряжения на приборе было минимальным.

Шунт в амперметре нужен для расширения диапазона измерений силы тока. Для увеличения диапазона измерений в  $n$  раз требуется сопротивление шунта:

$$R_{ш} = R_a / (n - 1).$$

В цепях переменного тока для расширения пределов измерения амперметра используется трансформатор тока. Он же служит и для гальванического разделения измеряемой цепи (часто высокого напряжения) и измерительной цепи (цепи амперметра) для обеспечения безопасности измерений.

Амперметр, шунт или первичная обмотка трансформатора тока всегда включаются последовательно с тем участком цепи, в котором измеряется сила тока.

#### **Порядок выполнения задания**

##### **Изучаем устройство амперметров, шунтов и трансформаторов тока**

*Показать устройство и все его элементы по наглядному пособию и плакату.*

##### **Измеряем постоянный ток**

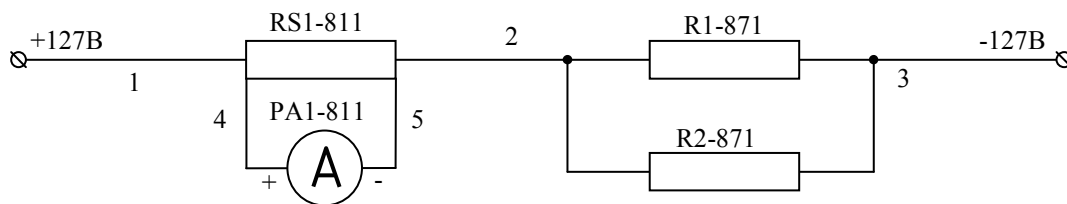
*Знакомимся с основными техническими данными используемого в экспериментальной установке оборудования и его размещением на стенде*

*Знакомство осуществить по перечню элементов универсального лабораторного стенда (Приложение 19.3).*

##### **Определяем необходимый предел измерения шунта и цену деления прибора**

*Работу выполняет очередной исполнитель.*

**Собираем электрическую схему:**



**Рис.4.1. Схема измерения тока амперметром с шунтом**

*Сидоров – узел 1; Козлов – узел 2 и так далее.*

**Производим измерения**

*Работу выполняет очередной исполнитель.*

**Измеряем переменный ток**

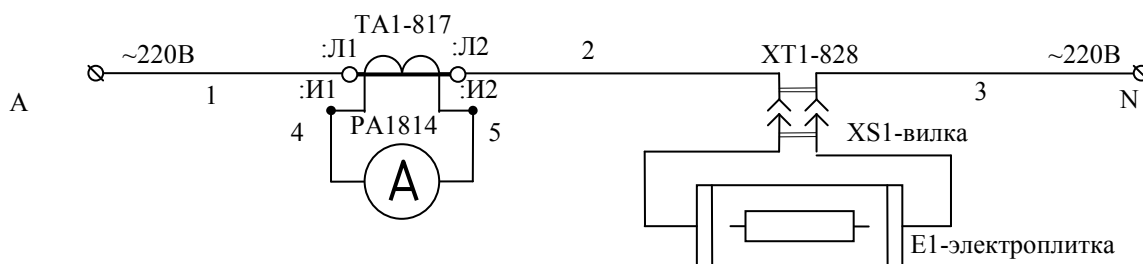
**Знакомимся с основными техническими данными используемого в экспериментальной установке оборудования и его размещением на стенде**

*Знакомство осуществить по перечню элементов универсального лабораторного стенда (Приложение 19.3).*

**Определяем необходимый ток первичной обмотки трансформатора тока и цену деления прибора**

*Работу выполняет очередной исполнитель.*

**Собираем электрическую схему**



**Рис.3.2. Измерение тока амперметром, включённым через трансформатор тока**

**Производим измерения**

*Работу выполняет очередной исполнитель.*

**Подготавливаем ответы на контрольные вопросы**

1. Устройство амперметра электромагнитной системы.
2. Устройство микроамперметра (гальванометра) магнитоэлектрической системы.
3. Назначение и принцип действия шунта.
4. Назначение и принцип действия трансформатора тока.
5. Как определить цену деления амперметра при прямом включении?
6. Как определить цену деления амперметра при включении его через трансформатор тока?
7. Как определить цену деления амперметра, включённого через шунт?
8. Как обозначается рабочее положение шкалы прибора?
9. Как определить необходимое сопротивление шунта при известных: сопротивлении амперметра; пределу измерения амперметра; кратности расширения предела измерения?
10. Почему сопротивление амперметра должно быть ничтожно мало по сравнению с сопротивлением, в котором измеряется ток?
11. Что произойдёт и почему, если амперметр будет подключён параллельно

## 2.4. Лабораторная работа №4( 2 часа).

### Тема: «Измерение напряжения»

**2.4.1 Цель работы:** Изучить устройство и принцип действия вольтметров, добавочных сопротивлений и трансформаторов напряжения. Научиться включать вольтметры и производить измерения.

### 2.4.2 Задачи работы:

1. Изучить устройство вольтметра электромагнитной и магнитоэлектрической систем, научиться осуществлять измерения и расширение пределов измерения.

### 2.4.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Резистор
2. Реостат
3. Вольтметр

### 2.4.4 Описание (ход) работы:

#### Краткие теоретические положения

Прибор для измерения напряжения называют вольтметром.

Он состоит из стрелочного прибора – гальванометра с внутренним сопротивлением  $R_v$  и последовательно подключенного к нему добавочного сопротивления  $R_d$ . Собственное (внутреннее) сопротивление  $R_v$  вольтметра должно быть как можно больше, чтобы при измерении напряжения на данном участке цепи ток через прибор был минимальным. Добавочное сопротивление в вольтметре нужно для расширения диапазона измерений.

Для увеличения диапазона измерений в  $n$  раз требуется добавочное сопротивление:

$$R_d = R_v(n-1).$$

Вольтметр всегда подключается параллельно тому участку цепи, на котором измеряют падение напряжения.

Современные цифровые электроизмерительные приборы не содержат механических стрелочных систем, однако принципы работы с ними остаются такими же.

#### Порядок выполнения задания

**Изучаем устройство вольтметров, добавочных сопротивлений и трансформаторов напряжения**

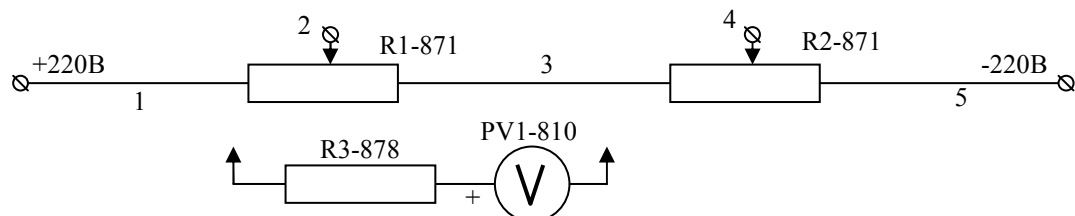
*Показать устройства и их элементы по наглядному пособию и плакату.*

#### Производим измерение напряжения в сети постоянного тока

*Знакомимся с основными техническими данными используемого в экспериментальной установке оборудования и его размещением на стенде*

*Знакомство осуществить по перечню элементов универсального лабораторного стенда (Приложение 19.3).*

**Собираем электрическую схему:**



**Рис.5.1. Схема измерения напряжения в цепи постоянного тока**

*Сидоров – узел 1; Козлов – узел 2 и так далее.*

#### Определяем цену деления вольтметра

Стрелка вольтметра отклоняется на всю шкалу при напряжении на его зажимах, равном пределу измерения вольтметра  $U_v$ .

Работу выполняет очередной исполнитель, объясняет, как он определил цену деления, и записывает результат на доске.

**Заготавливаем таблицу записи наблюдений**

Распределяются исполнители.

Таблица 5.2 Данные опытов и расчётов

Исполнитель	Измеряемое напряжение	
	Обозначение	Значение, В
Сидоров	$U_{1-2}$	
Козлов	$U_{2-3}$	
И т. д.	$U_{3-4}$	
	$U_{4-5}$	
	$U_{1-5}$	
	Расхождение результатов $\Delta U = (U_{1-5} - (U_{1-2} + U_{2-3} + U_{3-4} + U_{4-5}))$	
	Процент расхождения результатов $\delta U \% = (\Delta U / U_{1-5}) 100\%$	

### Производим измерения

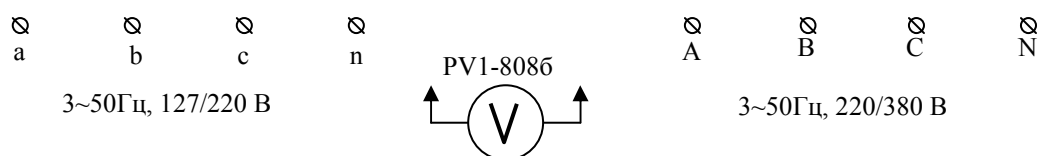
Старший по работе назначает исполнителей и заносит их фамилии в таблицу. Каждый из ответственных за точку снимает показания как указано в предыдущем пункте.

### Измерение напряжений в цепи переменного тока

Знакомимся с основными техническими данными используемого в экспериментальной установке оборудования и его размещением на стенде

Знакомство осуществить по перечню элементов универсального лабораторного стенда (Приложение 19.3).

**Собираем электрическую схему:**



**Рис. 4.2. Схема измерения переменных напряжений в 3-х фазных сетях**

Заготавливаем таблицу записи наблюдений

Распределяются исполнители.

Таблица 4.2 – Данные опытов и расчётов

Исполнитель	Измеряемое напряжение	
	Обозначение	Значение, В
Сидоров	$U_{a-b}$	
Козлов	$U_{b-c}$	
И т. д.	$U_{c-a}$	
	$U_{n-a}$	
	$U_{n-b}$	
	$U_{n-c}$	

	$U_{A-B}$	
	$U_{B-C}$	
	$U_{C-A}$	
	$U_{N-A}$	
	$U_{N-B}$	
	$U_{N-C}$	

### **Производим измерения**

Старший назначает исполнителей и заносит их фамилии в таблицу. Каждый из ответственных за точку снимает показания, как указано в предыдущем пункте.

### **Подготавливаем ответы на контрольные вопросы**

1. Устройство вольтметра электромагнитной системы.
2. Устройство вольтметра магнитоэлектрической системы.
3. Для чего служит добавочное сопротивление?
4. Как рассчитать величину добавочного сопротивления?
5. Как подключить вольтметр через трансформатор напряжения?
6. Чем отличается трансформатор напряжения от обычного трансформатора?
7. Что такое коэффициент трансформации трансформатора напряжения?
8. Какую дополнительную функцию выполняет трансформатор напряжения при измерениях в высоковольтных цепях?
9. Что такое и как обозначается на шкалах класс точности приборов?
10. Чем конструктивно отличается вольтметр от амперметра?

## **2.5. Лабораторная работа №5( 2 часа).**

### **Тема: «Определение коэффициента полезного действия электроплитки»**

**2.5.1 Цель работы:** Изучить устройство и принцип действия резистивных электронагревателей. Научиться производить их энергетическую оценку.

### **2.5.2 Задачи работы:**

1. Снять зависимость температуры нагрева воды от времени нагрева и определить коэффициент полезного действия электроплитки.

### **2.5.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Термометр
2. Мультимедиапроектор
3. Секундомер
4. Счетчик активной энергии
5. Розетка
6. Электроплитка

### **2.5.4 Описание (ход) работы:**

#### **Краткие теоретические положения**

К электронагревателям резистивного действия относятся все электронагреватели, в основу которых положено выделение тепла при прохождении тока через проводник, обладающий омическим сопротивлением  $Q = I^2 R t$  (Джоулево тепло). Это и электрическая плитка, электрокамин, нагревательные провода и кабели, токопроводящие плёнки, трубчатые электронагреватели (ТЭНы) и др. За счёт теплопроводности выделенное в проводнике тепло передаётся нагреваемому продукту.

Из конструктивных соображений проводник (рабочее тело) должен иметь возможно меньшую длину и большее сечение и, кроме того, он должен нагреваться до возможно большей температуры для обеспечения интенсивной передачи тепла нагреваемому продукту. Поэтому он должен обладать большим удельным сопротивлением и выдерживать высокую (до 1000 °С) температуру. В качестве таких проводников лучше всего подходят нихром и фехраль и в меньшей степени –обычная конструкционная сталь.

Допустим, что по техническим требованиям на электрической плитке необходимо осуществлять нагрев 10 литров (0,01м<sup>3</sup>) воды от  $T_x = 10$  до  $T_z = 100$  °С за время  $t$ , равное одному часу (3600 секунд). Коэффициент полезного действия электроплитки  $\eta = 0,6$ , напряжение питания  $U = 220$  В. Определим геометрические размеры спирали электроплитки, выполненной из нихрома. С этой целью находим:

1. количество тепла, ушедшего на повышение температуры воды  
 $Q_в = c\rho V(T_z - T_x) = 4186 \cdot 1000 \cdot 0.01(100-10) = 3767400$  Дж; (5.1)

где  $c$  – удельная теплоёмкость воды, Дж/кг·град;

$\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$V$  – объём воды, м<sup>3</sup>;

2. количество тепла, которое должна выделить спираль электроплитки

$$Q_c = Q_в + Q_n = Q_в/\eta = 3767400/0,6 = 6279000 \text{ Дж}, \quad (5.2)$$

где  $Q_n$  – потери тепла в окружающее пространство при его передаче от спирали к сосуду с водой;

3. мощность электроплитки

$$P = Q_c/t = 6279000/3600 = 1744 \text{ Вт}; \quad (5.3)$$

4. потребляемый из сети ток

$$I = P/U = 1744/220 = 7,93 \text{ А} \quad (5.4)$$

(по опытным данным при таком токе проволока спирали сечением 0,6 мм<sup>2</sup> ( $6 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>) нагреется до 800 °С );

5. сопротивление проволоки при 800 °С

$$R_{800} = U/I = 220/7,93 = 27,75 \text{ Ом}; \quad (5.5)$$

6. сопротивление проволоки при 20 °С

$$R_{20} = R_{800}/(1 + \alpha(800 - 20)) = 27,75/(1 + 0,000165(800 - 20)) = 27,88 \text{ Ом}, \quad (5.6)$$

где  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления, равный приросту сопротивления проводника величиной в 1 Ом при нагреве его на 1 градус. Для нихрома он равен  $1,65 \cdot 10^{-4}$  1/°С;

7. длину проволоки спирали

$$L = R_{20}S/\rho_{20} = 27,88 \cdot 6 \cdot 10^{-5}/1,1 \cdot 10^{-6} = 15,2 \text{ м}. \quad (5.7)$$

#### **Порядок выполнения задания**

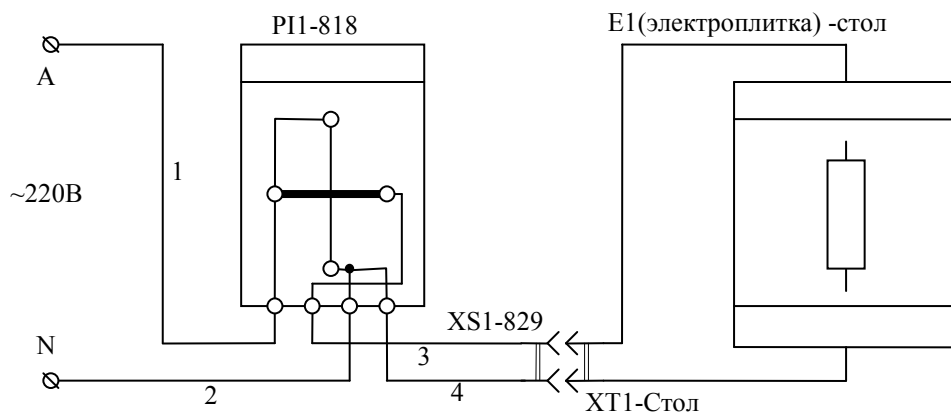
##### **Изучаем устройство и состав экспериментальной установки**

*Рассмотреть устройство и все его элементы по наглядному пособию и плакату.*

**Знакомимся с основными техническими данными используемого в экспериментальной установке оборудования и его размещением на стенде**

*Знакомство осуществить по перечню элементов универсального лабораторного стенда, составленному на вводном занятии (Приложение 19.3).*

**Собираем электрическую схему:**



**Рис. 5.1. Схема экспериментальной установки**

*Сидоров собирает узел 1; Козлов – узел 2 и так далее.*

**Заготавливаем таблицу записи наблюдений**

*Распределяются исполнители.*

**Таблица 5.2 – Данные опытов и расчётов**

Исполнитель	$t$ , мин	$T$ , °C	$W = tW_{max}/t_{max}$ , Дж	$Q = c\rho V(T_n - T)$ , Дж	$\eta = Q/W$
Сидоров	0				
Козлов	5				
и т. д.	10				
	15				
	20				

**Включаем электроплитку, заливаем в кастрюлю 3 литра воды**

*Кастрюля не должна находиться на плитке.*

**Записываем действия при определении параметров точек экспериментальной зависимости, заданных вторым столбцом таблицы**

а). Когда плитка разогреется, измеряем начальную температуру воды, начинаем отсчёт времени, сразу же устанавливаем кастрюлю на электроплитку и записываем начальное показание счётчика;

б). Последовательно производим измерение температуры воды в указанные моменты времени;

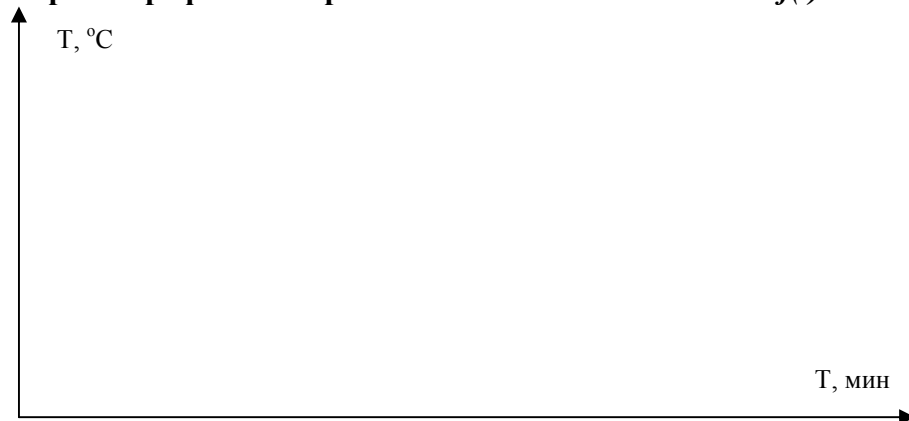
в). В конечный момент времени производим измерение температуры воды и сразу же отключаем электроплитку. Производим отсчёт конечного показания счётчика.

**Снимаем точки экспериментальной зависимости**

*Старший по работе назначает исполнителей и заносит их фамилии в таблицу.*

*Каждый из ответственных за точку снимает показания, как указано в предыдущем пункте, и заносит их в таблицу.*

Строим график экспериментальной зависимости  $T = f(t)$ :



**Рис. 5.2. График зависимости температуры воды от времени разогрева**

**Подготавливаем ответы на контрольные вопросы**

1. Устройство резистивного нагревателя.
2. Как определить количество тепла, выделенного при прохождении тока через рабочее тело нагревателя?
4. Как определить сопротивление проводника по известным его геометрическим размерам и материалу?
5. Что такое коэффициент полезного действия нагревателя?
6. Как определить сечение проводника по известному его диаметру?
7. Почему коэффициент полезного действия электроплитки не равен 1?
8. Из каких материалов выполняется спираль электроплитки?
9. Каковы требования к материалу спирали электроплитки?
10. Что произойдёт, если спираль электроплитки покрыть слоем теплоизоляции?

## **2.6. Лабораторная работа №6 (2 часа).**

**Тема: «Изучение устройства и принципа действия электрокалорифера»**

**2.6.1 Цель работы:** Изучить устройство и принцип действия электрокалорифера. Научиться производить его включение и регулирование режимов работы.

### **2.6.2 Задачи работы:**

1. Изучить устройство электрокалорифера.
2. Снять зависимость температуры воздуха от напряжения на зажимах электродвигателя вентилятора при постоянной мощности нагревателя [ $T=f(U_{\partial})$ ] и зависимость температуры от мощности нагревателя [ $T=f(P_H)$ ] при постоянном напряжении на зажимах двигателя вентилятора (постоянной частоте вращения вентилятора).

### **2.6.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Автотрансформатор
2. Разетка
3. Мультимедиапроектор
4. Вольтметр
5. Амперметр
6. Трансформатор тока
7. Машина постоянного тока
8. Электроплитка

## 2.6.4 Описание (ход) работы:

### Краткие теоретические положения

Электрокалорифер предназначен для нагрева потока воздуха в системах вентиляции и электрообогрева. Он состоит из вентилятора с приводом от электродвигателя. Вентилятор прогоняет воздух через камеру с расположенными в ней электронагревателями в виде спиралей из нихрома или стальной проволоки. В качестве электронагревателей широко используются также трубчатые электронагреватели (ТЭНы).

Электрическая энергия нагревателей  $P \cdot t$  целиком преобразуется в них в тепловую энергию и передаётся за счёт теплоотдачи объёму  $V$  воздуха, прошедшему через нагревательную камеру за время  $t$ , температура которого вследствие этого увеличивается на  $\Delta T$  градусов. Таким образом, справедливо равенство

$$P \cdot t = c_p V \Delta T, \quad (6.1)$$

где  $P$  – электрическая мощность нагревателей, Вт;

$c$  – удельная теплоёмкость воздуха, равная 1005 Дж/кг·град.;

$\rho$  – плотность воздуха, равная 1,29 кг/м<sup>3</sup>.

### Порядок выполнения задания

#### Изучаем устройство электрокалорифера

Преподаватель объясняет устройство и принцип действия электрокалорифера по наглядному пособию и плакату.

#### Знакомимся с техническими данными используемого оборудования

Знакомство осуществить по перечню элементов, составленному на вводном занятии (Приложение 19.3).

#### Собираем электрическую схему:

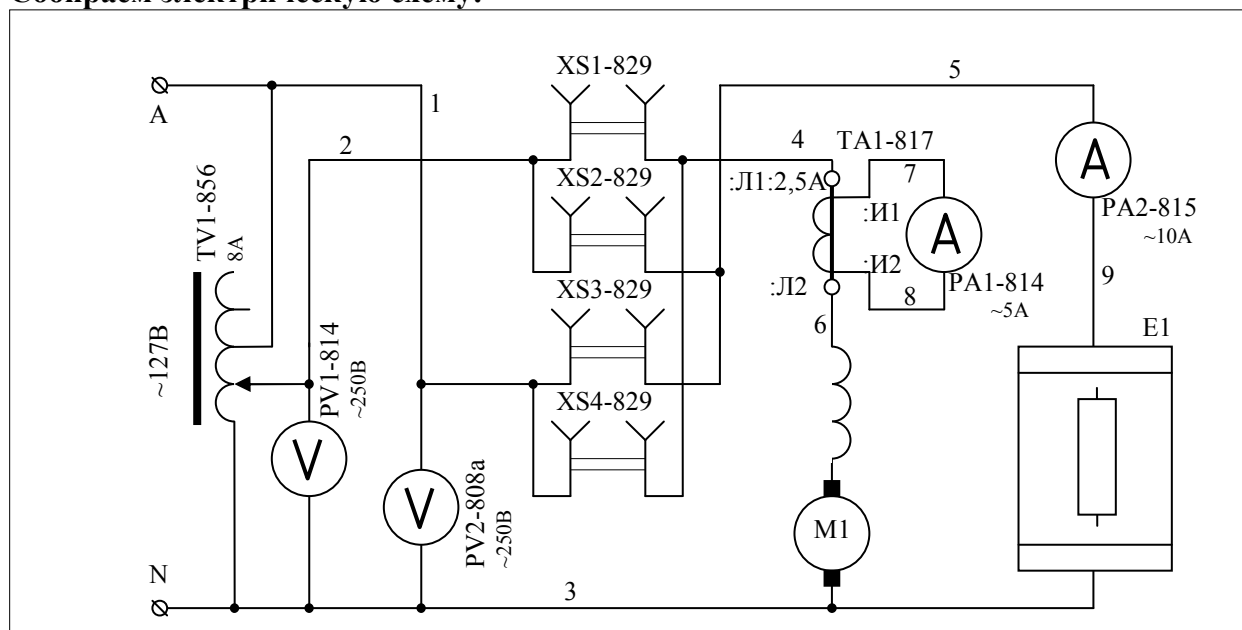


Рис. 6.1. Схема включения электрокалорифера при испытании

#### Заготавливаем таблицу записи наблюдений

Распределяются исполнители.

Таблица 6.1 – Данные опытов и расчётов

№ п/п	№ исполнителя	Исполнитель	$U$ , В	$U_n$ , В	$T$ , °C	$I$ , А	$I_n$ , А	$S$ , ВА	$P$ , Вт
Короткозамкнутые вилки вставлены в розетки XS1 и XS3									
1	Ив	анов	5	0					
2	Ко		7						

	злов	0						
3	и	1						
	т. д.	00						
4		1						
		30						
5		1						
		60						
6		1						
		90						
7		2						
		20						
Короткозамкнутые вилки вставлены в розетки XS2 и XS4								
8			2					
			20					
9			1					
			90					
1			1					
0			60					
1			1					
1			30					
2			1					
			00					
3			7					
			0					
4			5					
			0					
5			0					

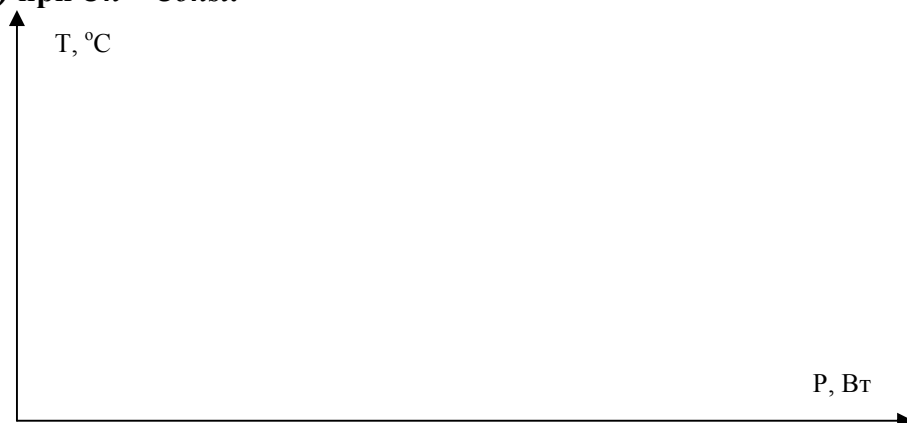
**Записываем действия при определении параметров точек экспериментальной зависимости, заданных третьим и четвёртым столбцами таблицы**

- Устанавливаем заданные 3-им и 4-м столбцами таблицы напряжения.
- Не менее чем через три минуты измеряем температуру воздуха на выходе электрокалорифера.

**Снимаем точки экспериментальной зависимости**

Старший по работе назначает исполнителей и заносит их фамилии в таблицу. Каждый из ответственных за точку снимает показания, как указано в предыдущем пункте, и заносит их в таблицу.

**Строим графики экспериментальных зависимостей  $T = f(P_n)$  при  $U_d = \text{Const}$  и  $T = f(U_d)$  при  $U_n = \text{Const}$ :**



**Рис. 6.2. График зависимости температуры воздуха от мощности нагревателя электрокалорифера**



**Рис. 6.3. График зависимости температуры воздуха на выходе электрокалорифера от напряжения на зажимах электродвигателя**

**Подготавливаем ответы на контрольные вопросы**

1. Устройство электрокалорифера.
2. Какими способами можно регулировать температуру нагрева воздуха?
3. Что может произойти при обрыве вала вентилятора?
4. Как можно защитить нагреватель электрокалорифера от случайного исчезновения потока воздуха?
5. Где применяются нагревательные устройства в виде калорифера?
6. Изменится ли мощность спирали электрокалорифера при исчезновении потока воздуха?
7. Как рассчитать количество тепла, необходимого для нагрева воздуха заданного объёма и температуры?
8. Как по величине напряжения и сопротивления спирали определить мощность спирали?

**2.7. Лабораторная работа №7 (2 часа).**

**Тема: «Изучение устройства и принципа действия люминесцентной лампы»**

**2.7.1 Цель работы:** Изучить устройство, основные характеристики и принцип действия люминесцентной лампы.

**2.7.2 Задачи работы:**

1. Изучить устройство люминесцентной лампы.
2. Снять зависимость освещённости в заданной точке от напряжения на зажимах лампы.

**2.7.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Автотрансформатор
2. Дроссель
3. Стартер
4. Вольтметр
5. Люминесцентная лампа
6. Мультимедиапроектор
7. Люксметр

#### **2.7.4 Описание (ход) работы:**

##### **Краткие теоретические положения**

Люминесцентная лампа общего назначения представляет собой цилиндрическую колбу из обычного стекла, не пропускающего ультрафиолетовое излучение. Внутренняя поверхность колбы покрыта тонким слоем светосостава (люминофора). Воздух из колбы откачан, и она наполнена техническим аргоном с парами ртути. С обоих торцов колбы имеются вольфрамовые спирали, исполняющие роль электродов. Прохождение тока между электродами вызывает электрический разряд в парах ртути и аргона, в результате чего внутри колбы генерируется ультрафиолетовое излучение, возбуждающее свечение люминофора. По сравнению с лампами накаливания люминесцентные лампы имеют большую светотдачу и срок службы, достигающий 12 тысяч часов.

Люминесцентные лампы в отличие от ламп накаливания нельзя непосредственно включать в электрическую сеть. Их включают через балластные сопротивления, чаще всего в качестве которых используют дроссель (катушка изолированного провода, намотанного на железный сердечник). Для зажигания лампы требуется приложить к электродам импульс повышенного напряжения. Требуемая для зажигания величина напряжения в импульсе тем меньше, чем большую температуру имеют электроды. Зажигание лампы осуществляется с помощью схемы, изображённой на рис. 10.2. Работает она следующим образом.

Напряжение, снимаемое с выхода автотрансформатора и измеряемое вольтметром PV1, через дроссель LL1 и спирали лампы EL1 прикладывается к электродам стартера V1. Стартер – это маленькая неоновая лампочка с двумя электродами, один из которых выполнен в виде U-образной биметаллической пластины. Под действием приложенного напряжения между электродами стартера возникает разряд с силой тока в несколько миллиампер. Биметаллическая пластина при этом разогревается и разгибается, касаясь неподвижного электрода. Сила тока по цепи: дроссель – электроды лампы – стартер увеличивается в сотни раз. Электроды лампы разогреваются до температуры 800...1000 °С, а электроды стартера остывают и размыкаются. При размыкании в дросселе индуцируется импульс напряжения порядка 800 В, достаточный при разогретых электродах лампы для возникновения разряда между электродами в лампе. Протекающий через дроссель и лампу ток создаёт падение напряжения в дросселе, и на лампе и стартере устанавливается напряжение порядка 120 вольт. Этого напряжения недостаточно для возникновения разряда между электродами стартера, и таким образом стартер после зажигания лампы автоматически выходит из работы.

##### **Порядок выполнения задания**

##### **Изучаем устройство люминесцентной лампы**

*Преподаватель показывает устройство лампы и все её элементы по наглядному пособию и плакату. В отчётах привести эскиз лампы. С этой целью в отчёте для рис 10.1 отвести место не менее 8 см*

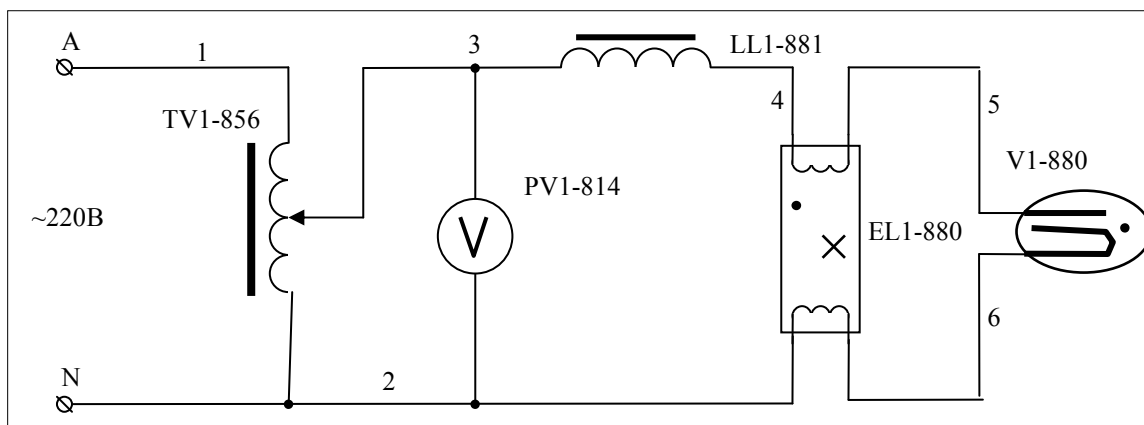
##### **Рис. 7.1. Эскиз люминесцентной лампы**

**Знакомимся с основными техническими данными используемого в экспериментальной установке оборудования и его размещением на стенде**

*Знакомство осуществить по перечню элементов универсального лабораторного стенда, составленному на вводном занятии (Приложение 19.3).*

##### **Собираем электрическую схему**

*Сидоров – узел 1; Козлов – узел 2 и так далее.*



**Рис. 7.2: Схема испытания люминесцентной лампы.**  
**Заготавливаем таблицу записи наблюдений**  
*Распределяются исполнители.*

Таблица 7.1 – Данные опытов и расчётов

Исполнитель	U, В	Е, Лк
Сидоров	23 0	
Козлов	22 5	
и т. д.	22 0	
	21 5	
	21 0	
	20 5	
	20 0	
	19 5	
	19 0	
	18 5	

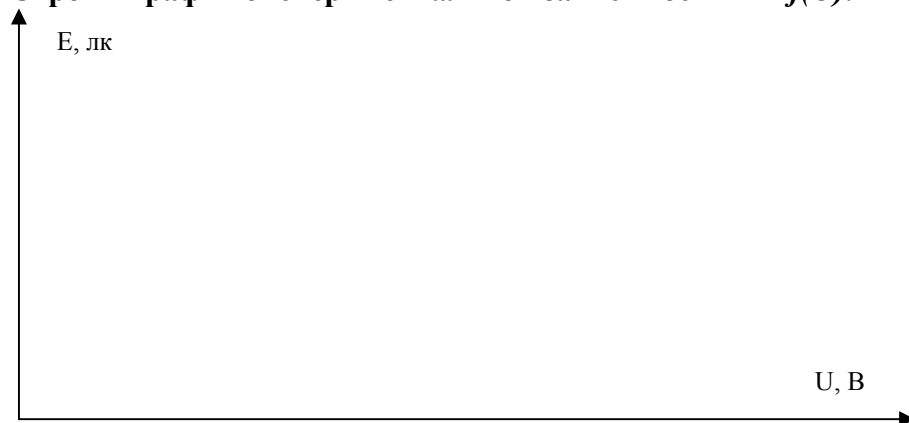
**Записываем действия при определении параметров точек экспериментальной зависимости, заданных вторым столбцом таблицы**

- Включаем установку в сеть.
- Доводим напряжение до 220 В.
- После загорания лампы устанавливаем заданное напряжение.
- Считываем и заносим в таблицу на доске показание люксметра.

**Снимаем точки экспериментальной зависимости**

*Старший по работе назначает исполнителей и заносит их фамилии в таблицу. Каждый из ответственных за точку снимает показания, как указано в предыдущем пункте, и заносит их в таблицу.*

Строим график экспериментальной зависимости  $E = f(U)$ :



**Рис. 7.2. График зависимость освещённости от напряжения на лампе**

**Подготавливаем ответы на контрольные вопросы**

1. Как устроена люминесцентная лампа?
2. Чем заполнена люминесцентная лампа?
3. Для чего служит люминофор?
4. Как устроен стартер?
5. Чем заполнен стартер?
6. Как устроен дроссель?
7. Для чего предназначен дроссель?
8. Как запускается люминесцентная лампа?
9. Почему после зажигания лампы стартер не запускается?
10. Как работает стартер?
11. Каков срок службы люминесцентной лампы?
12. Для чего электроды лампы подогреваются?

## **2.8. Лабораторная работа №8( 2 часа).**

**Тема: «Изучение устройства и принципа действия лампы накаливания»**

**2.8.1 Цель работы:** Ознакомиться с устройством, основными характеристиками и принципом действия лампы накаливания.

### **2.8.2 Задачи работы:**

1. Изучить устройство лампы накаливания.
2. Снять вольтамперную характеристику лампы накаливания.

### **2.8.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Вольтметр
2. Амперметр
3. Трансформатор тока
4. Лампа накаливания
5. Автотрансформатор
6. Мультимедиапроектор

### **2.8.4 Описание (ход) работы:**

#### **Краткие теоретические положения**

Электрические лампы накаливания представляют собой источник света, работающий на принципе действия температурного излучения. Телом накала служит вольфрамовая проволока (нить), свитая в спираль. Сопротивление нити увеличивается при

нагреве, поэтому в момент включения лампа потребляет значительно больший ток, чем в нормальном рабочем режиме.

В процессе эксплуатации лампы вольфрам распыляется и оседает на стенки баллона, это уменьшает световой поток лампы. Для снижения распыления вольфрама баллон лампы после откачки из него воздуха заполняют инертным газом: аргоном или азотно-аргонной смесью. Гарантийный срок службы ламп накаливания составляет 2500 часов. Промышленность выпускает лампы на различные мощности и напряжения (110, 120, 127, 180, 220 и 230 В).

На базе ламп общего назначения разработаны специальные лампы, применяемые в сельском хозяйстве. К ним относятся зеркальные термоизлучательные типа ИКЗ-220-250 и ИКЗК-220-250, которые используются для обогрева молодняка животных и сушки различных продуктов и материалов. В последнее время всё шире применяются галогенные лампы накаливания, у которых вольфрамовая нить накала помещается в кварцевой трубке с йодистым или бромистым наполнением.

### Порядок выполнения задания

#### Изучаем устройство лампы накаливания

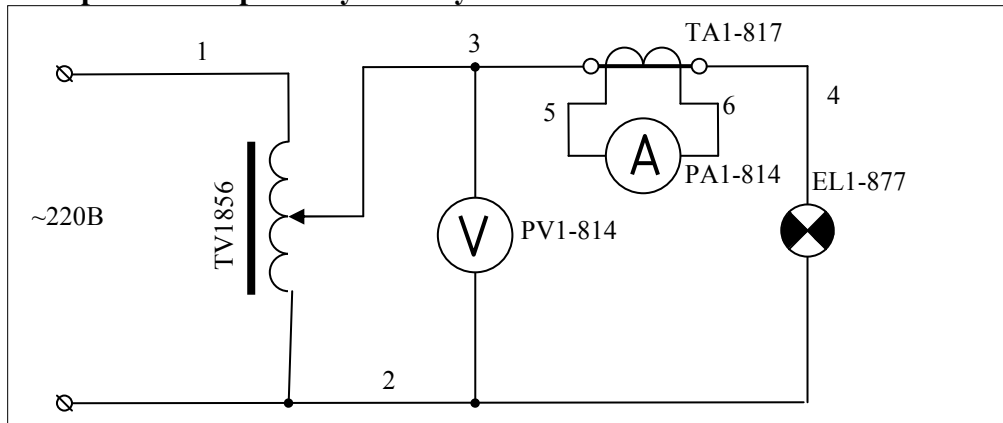
*Показать устройство лампы накаливания и все её элементы по наглядному пособию и плакату. В отчёте привести эскиз лампы накаливания. Для этого в отчёте для рисунка 9.1 отвести место не менее 10 см*

#### Рис. 8.1. Эскиз лампы накаливания

**Знакомимся с основными техническими данными используемого в экспериментальной установке оборудования и его размещением на стенде**

*Знакомство осуществить по перечню элементов универсального лабораторного стенда, составленному на вводном занятии (Приложение 19.3).*

#### Собираем электрическую схему:



**Рис. 8.2. Схема экспериментальной установки.**

*Сидоров собирает узел 1; Козлов – узел 2 и так далее.*

#### Заготавливаем таблицу записи наблюдений

*Старший по работе распределяет исполнителей.*

Таблица 8.2 – Данные опытов и расчётов

Исполнитель	U, В	I, А	P=UI, Вт
Сидоров	0		
Козлов	30		
и т. д.	60		
	90		
	120		
	150		
	180		
	210		

**Записываем действия при определении параметров точек экспериментальной зависимости, заданных вторым столбцом таблицы**

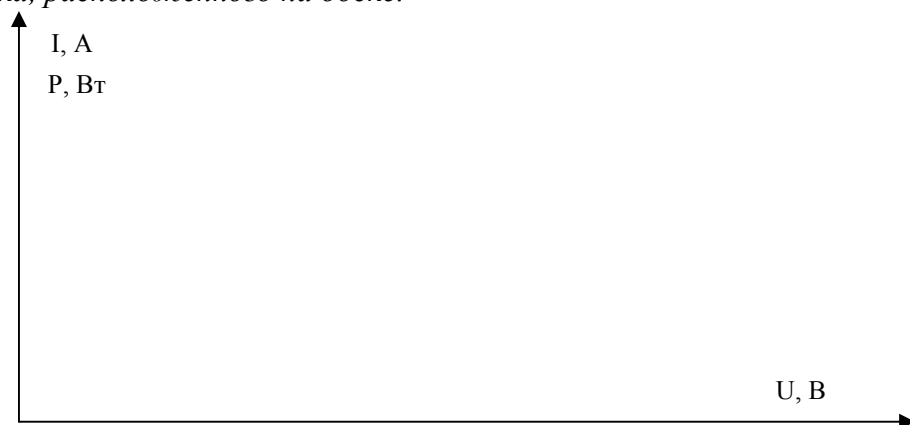
- а) С помощью автотрансформатора устанавливаем заданную величину напряжения.
- б) Считываем и заносим в таблицу на доске показание амперметра.
- в) Рассчитываем и заносим в таблицу на доске величину мощности лампы.

**Снимаем точки экспериментальной зависимости**

*Каждый из ответственных за точку снимает показания, как указано в предыдущем пункте, и заносит их в таблицу.*

**Строим график экспериментальной зависимости  $I = f(U)$  – вольтамперная характеристика, а также график изменения мощности лампы от напряжения  $P = f(U)$**

*Старший по работе – на доске, а все остальные студенты у себя в тетрадях заготавливают оси координат. Каждый из ответственных за точку наносит её на поле графика, расположенного на доске.*



**Рис. 8.3. График зависимости тока и мощности лампы от напряжения на её зажимах**

**Подготавливаем ответы на контрольные вопросы**

1. Устройство лампы накаливания.
2. Чем отличается инфракрасная лампа накаливания от осветительной лампы?
3. Как по мощности и напряжению лампы накаливания определить ток и сопротивление нити в горячем состоянии?
4. Почему при уменьшении тока сопротивление лампы увеличивается?
5. Из какого материала выполнена нить лампы накаливания?
6. Что такое биспиральная лампа накаливания?
7. Что такое галогенная лампа накаливания?
8. Для чего колбу лампы заполняют инертным газом?
9. На какие напряжения выпускаются лампы накаливания?
10. Каков срок службы лампы накаливания?
11. Как по известной мощности лампы и времени работы лампы определить количество потреблённой энергии?

## **2.9. Лабораторная работа №9( 2 часа).**

**Тема: «Изучение двигатель-генераторной установки»**

**2.9.1 Цель работы:** Изучить устройство и принцип действия наиболее распространённых электрических машин. Научиться производить включение и испытание под нагрузкой.

### **2.9.2 Задачи работы:**

1. Изучить устройство трёхфазной асинхронной машины и машины постоянного тока.
2. Снять зависимость напряжения генератора и коэффициента полезного действия мотор-генераторной установки от тока нагрузки генератора.

### **2.9.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Электродвигатель постоянного тока
2. Электродвигатель переменного тока
3. Ватметр
4. Мультимедиапроектор
5. Вольтметр
6. Амперметр
7. Ключ
8. Лампа накаливания

### **2.9.4 Описание (ход) работы:**

#### **Краткие теоретические положения**

Электрическими машинами называются электромеханические устройства, преобразующие механическую энергию в электрическую (генераторы), электрическую энергию в механическую (двигатели) и электрическую энергию одних параметров в электрическую энергию других параметров (трансформаторы и преобразователи). Различают машины постоянного тока и машины переменного тока.

Машина постоянного тока состоит из неподвижного статора с расположенными на нём полюсами и вращающегося якоря с обмоткой, соединяемой с сетью через медные пластины (коллектор) и щётки. При протекании тока через витки обмотки возбуждения, намотанной на полюса, между полюсами образуется постоянное магнитное поле, пронизывающее витки обмотки якоря. В результате, если якорь вращать, то в его обмотке индуцируется электродвижущая сила (ЭДС) и электрическая энергия будет поступать в сеть. При этом машина будет работать в режиме генератора. Если же, наоборот, на щётки машины подать напряжение сети и пропустить через витки обмотки якоря ток, то действующая на витки электромагнитная сила приведёт к вращению якоря. При этом машина будет работать в режиме электродвигателя.

Из машин переменного тока наиболее распространена трёхфазная асинхронная машина. Она состоит из статора, набранного из колец электротехнической стали, толщиной 0,35 мм. С внутренней стороны кольца имеют пазы, в которые уложены секции трёх фазных обмоток, смещённых друг относительно друга по окружности статора на  $120^\circ$ . Внутри статора расположен ротор, также набранный из колец электротехнической стали, изолированных друг от друга слоем лака с целью уменьшения вихревых токов. В пазы ротора с внешней его стороны залиты алюминиевые стержни, соединённые по торцам кольцами, образуя короткозамкнутую обмотку типа беличьей клетки. При подключении обмоток статора к трём фазам электрической сети в статоре образуется вращающееся магнитное поле, увлекающее за собой ротор подобно тому, как ветер увлекает за собой парус. При этом машина работает в режиме электродвигателя. Если же ротор под действием механического двигателя вращается быстрее магнитного поля, механическая энергия этого двигателя преобразуется в электрическую и отдаётся в электрическую сеть. Машина работает в режиме электродвигателя.

#### **Порядок выполнения задания**

##### **Изучаем устройство электрических машин**

*Преподаватель объясняет устройство машин и показывает все его элементы по наглядному пособию и плакату.*

Знакомимся с основными техническими данными используемого в экспериментальной установке оборудования и его размещением на стенде

Знакомство осуществить по перечню элементов универсального лабораторного стенда (Приложение 19.3).

Собираем электрическую схему:

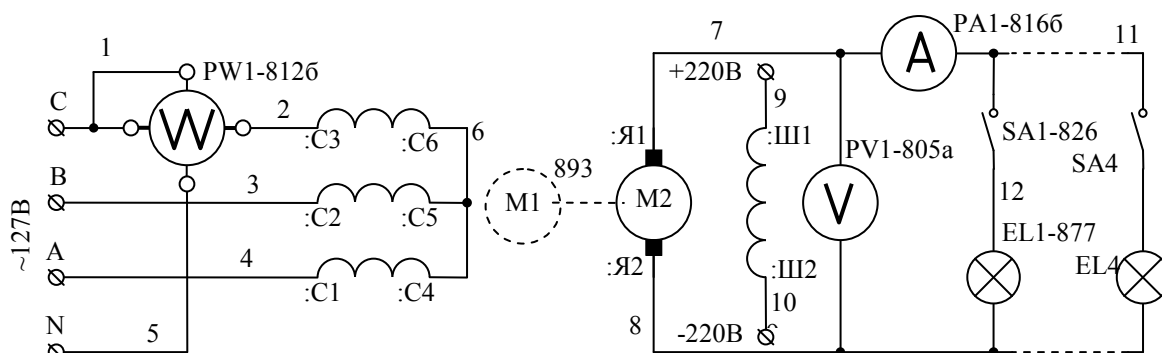


Рис. 9.1. Схема испытания мотор-генераторной установки

Сидоров собирает узел 1; Козлов – узел 2 и так далее.

Заготавливаем таблицу записи наблюдений

Распределяются исполнители.

Таблица 9.1 – Данные опытов и расчётов

Исполнитель	Количество ламп	$P_d = 3P_{пр.}, \text{Вт}$	$I, \text{А}$	$U, \text{В}$	$P_{г} = UI, \text{Вт}$	$\eta = P_{г}/P_d$
Сидоров	0					
Козлов	1					
и т. д.	2					
	3					
	4					

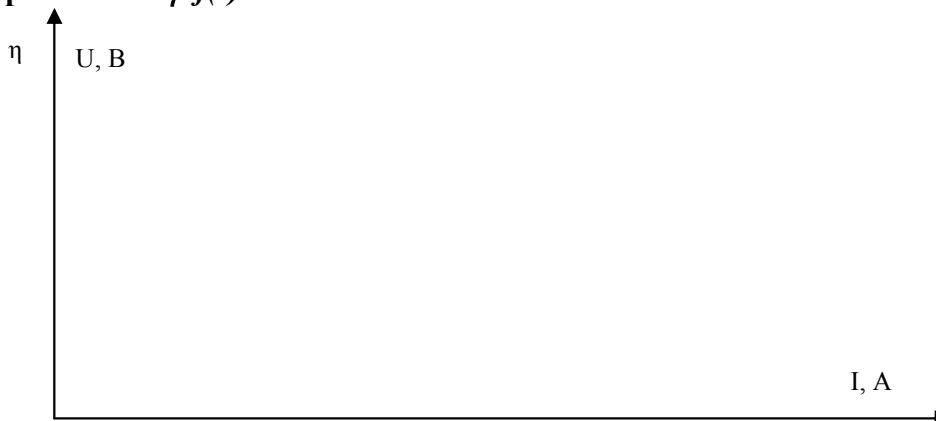
Записываем действия при определении параметров точек экспериментальной зависимости, заданных вторым столбцом таблицы

- Запускаем электродвигатель.
- Включаем заданное количество ламп.
- Снимаем показания приборов.
- Осуществляем расчёт КПД.

Снимаем точки экспериментальной зависимости

Старший по работе назначает исполнителей и заносит их фамилии в таблицу. Каждый из ответственных за точку снимает показания, как указано в предыдущем пункте, и заносит их в таблицу.

Строим график экспериментальной зависимости  $U = f(I)$  – внешняя характеристика и  $\eta = f(I)$ :



**Рис. 9: Графики зависимости напряжения на зажимах генератора и коэффициента полезного действия от тока нагрузки**

**Подготавливаем ответы на контрольные вопросы**

1. Как устроен статор асинхронного электродвигателя?
2. Как устроен ротор асинхронного электродвигателя?
3. Как работает асинхронный электродвигатель?
4. Как устроен статор машины постоянного тока?
5. Как устроен якорь машины постоянного тока?
6. Как работает машина постоянного тока?
7. Как определить мощность на зажимах генератора постоянного тока?
8. Почему мощность трёхфазного электродвигателя определяется как произведение показания ваттметра на три?
9. Почему напряжение на зажимах генератора падает с ростом нагрузки?
10. Почему коэффициент полезного действия мотор-генераторной установки уменьшается по мере уменьшения нагрузки генератора?

## **2.10. Лабораторная работа №10 (2 часа).**

**Тема: «Изучение конструкции и исследование лабораторного автотрансформатора»**

**2.10.1 Цель работы:** Ознакомиться с устройством и принципом действия автотрансформатора. Научиться производить его включение и регулирование напряжения.

### **2.10.2 Задачи работы:**

1. Изучить устройство лабораторного автотрансформатора.
2. Произвести испытание в режиме регулирования напряжения при неизменном входном напряжении.

### **2.10.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Вольтметр
2. Амперметр
3. Резистор
4. Автотрансформатор
5. Мультимедиапроектор

#### **2.10.4 Описание (ход) работы:**

##### **Краткие теоретические положения**

Трансформатор состоит из двух обмоток – первичной и вторичной, размещённых на замкнутоммагнитопроводе из стали. Первичную обмотку подключают к источнику переменного напряжения  $U_1$ , а ко вторичной обмотке присоединяют нагрузку. При этом в его первичной обмотке возникает переменный ток  $i_1$ , создающий основной магнитный поток  $\Phi$ , замыкающийся по магнитопроводу. Поток индуцирует в обеих обмотках переменные ЭДС.

Отношение ЭДС обмотки высшего напряжения к ЭДС обмотки низшего напряжения называется коэффициентом трансформации:

$$K = E_{вн}/E_{нн} = W_{вн}/W_{нн} \approx U_{вн}/U_{нн}.$$

Автотрансформатором называется такой трансформатор, у которого обмотка низшего напряжения является частью обмотки высшего напряжения, т. е. обмотки электрически связаны. Поэтому в автотрансформаторе мощность передаётся как электромагнитным путём, так и электрическим. Лабораторный автотрансформатор имеет тороидальный магнитопровод, навитый из ленты трансформаторной стали, и полностью охвачен обмоткой. С торца обмотки по кольцу витки обмотки зачищены от изоляции и по ним движется угольный токосъём (движок), при перемещении которого изменяется число витков, с которых снимается и тем самым регулируется напряжение на нагрузке. Токосъём выполняется из материала с высоким удельным сопротивлением (угля), с тем, чтобы он не вызывал короткого замыкания между витками при переходе с одного витка на другой.

При колебаниях напряжения в сети с целью поддержания постоянного уровня напряжения на нагрузке сеть подключается на регулируемое число витков (на движок автотрансформатора), а нагрузка – на фиксированное число витков.

Автотрансформатор по сравнению с трансформатором при одинаковой мощности имеет меньшие потери в обмотках, меньшее напряжение короткого замыкания, меньшую массу обмоток и больший КПД. Наиболее выгодны для автотрансформаторов коэффициенты трансформации от 1,1 до 2. Автотрансформаторы применяются для пуска синхронных и асинхронных электродвигателей, как делители напряжения в испытательных лабораториях, на линиях передачи высокого напряжения для связи систем с различными напряжениями.

##### **Порядок выполнения задания**

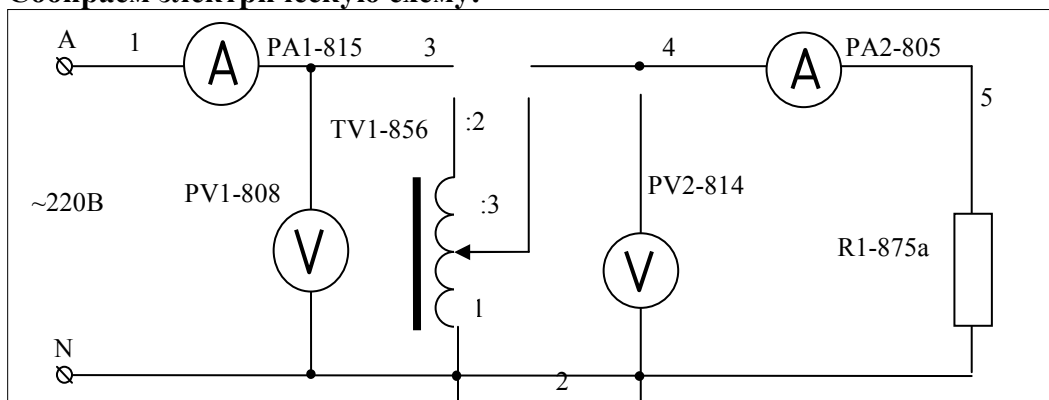
##### **Изучаем устройство автотрансформатора**

*Преподаватель объясняет устройство автотрансформатора и принцип его действия по наглядному пособию и плакату.*

**Знакомимся с основными техническими данными используемого в экспериментальной установке оборудования и его размещением на стенде**

*Знакомство осуществить по перечню элементов универсального лабораторного стенда, составленному на вводном занятии (Приложение 19.3).*

**Собираем электрическую схему:**



**Рис. 10.1. Включение автотрансформатора на регулирование напряжения**  
*Сидоров собирает узел 1; Козлов – узел 2 и так далее.*

**Заготавливаем таблицу записи наблюдений**

*Распределяются исполнители.*

**Таблица 10.1 – Данные опытов и расчётов**

Исполнитель	$U_2, \text{В}$	$U_1, \text{В}$	$I_1, \text{А}$	$I_2, \text{А}$	$K_{тр} = U_2/U_1$
Сидоров	50				
Козлов	80				
и т. д.	110				
	140				
	170				
	200				
	230				

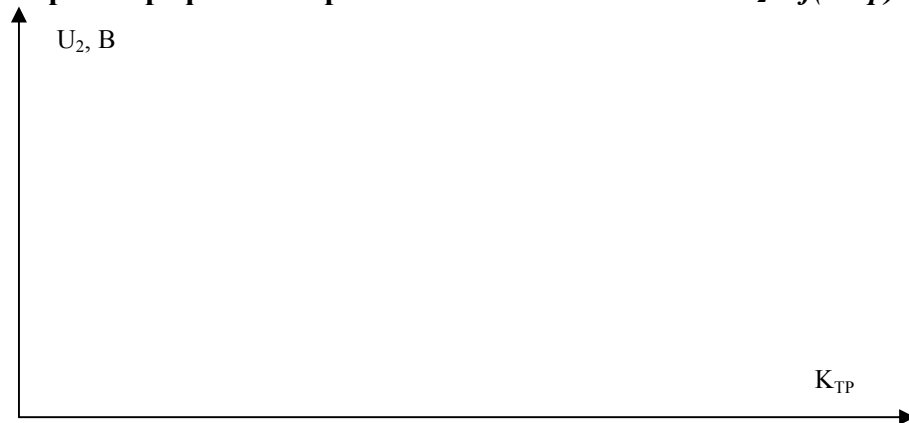
**Записываем действия при определении параметров точек экспериментальной зависимости, заданных вторым столбцом таблицы**

- С помощью движка автотрансформатора устанавливаем заданное напряжение.
- Считываем и заносим в таблицу на доске показания приборов.
- Рассчитываем и заносим в таблицу на доске величину коэффициента трансформации.

**Снимаем точки экспериментальной зависимости**

*Старший по работе назначает исполнителей и заносит их фамилии в таблицу. Каждый из ответственных за точку снимает показания, как указано в предыдущем пункте и заносит их в таблицу.*

Строим график экспериментальной зависимости  $U_2 = f(K_{тр})$ :



**Рис. 10.2. График зависимости напряжения на выходе автотрансформатора от коэффициента трансформации**

**Подготавливаем ответы на контрольные вопросы**

1. Устройство автотрансформатора.
2. Почему движок автотрансформатора выполняется угольным?
3. Как включается автотрансформатор на регулирование выходного напряжения?
4. Как включается автотрансформатор на поддержание постоянного уровня напряжения?
5. Что такое коэффициент трансформации?
6. Как устроен магнитопровод автотрансформатора?
7. Почему сталь магнитопровода покрывается слоем лака?
8. Показать на схеме, куда необходимо перемещать движок автотрансформатора для увеличения напряжения.
9. В какое положение необходимо переместить движок перед включением автотрансформатора в сеть и почему?
10. Как необходимо включить автотрансформатор, чтобы регулируемое напряжение можно было бы установить больше входного напряжения?

## **2.11. Лабораторная работа №11 (2 часа).**

**Тема: «Изучение электромагнитных аппаратов управления»**

**2.11.1 Цель работы:** Изучить устройство и принцип действия электромагнитных реле, контакторов и магнитных пускателей. Научиться собирать простейшие схемы управления на их основе

### **2.11.2 Задачи работы:**

1. Изучить устройство промежуточных реле, реле тока и напряжения, магнитных пускателей и контакторов.
2. Собрать и опробовать в работе схему управления сверлильным станком с помощью магнитного пускателя.

### **2.11.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

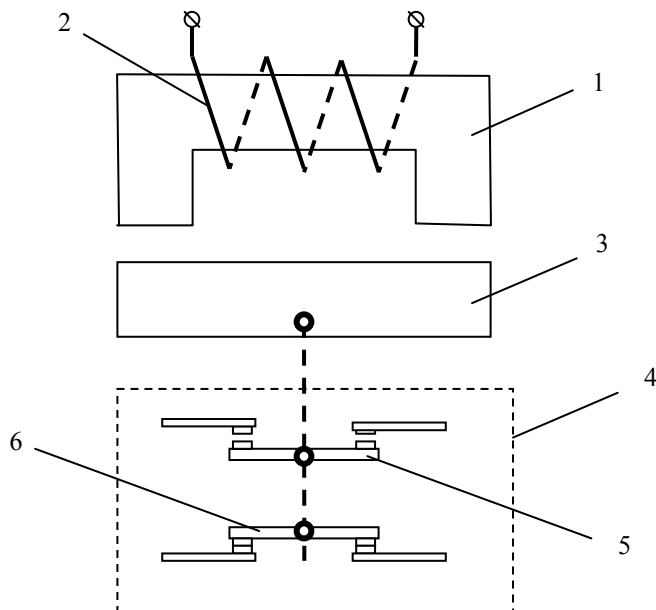
1. Магнитный пускатель
2. Тепловое реле
3. Трехфазный асинхронный электродвигатель
4. Мультимедиапроектор
5. Амперметр

## 6. Кнопочная станция

### 2.11.4 Описание (ход) работы:

#### Краткие теоретические положения

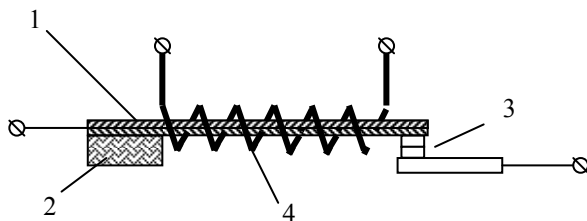
Контакторы и магнитные пускатели осуществляют переключение электрических цепей, допуская до 1200 включений в час. Принципиальная схема устройства контактора приведена ниже. Он состоит из неподвижного магнитного сердечника 1 с намотанной на него катушкой медного изолированного провода 2, подвижного сердечника 3, механически связанного с контактной системой 4. При подаче напряжения на катушку подвижный сердечник притягивается к неподвижному и за счёт механической связи замыкает контакт 5 (поэтому этот контакт называется замыкающим) и размыкает контакт 6 (поэтому этот контакт называется размыкающим).



**Рис. 11.1. Принципиальная схема устройства контактора**

Аналогично устроены промежуточные реле, реле тока и напряжения, магнитные пускатели. Магнитный пускатель – это контактор, специально предназначенный для пуска электродвигателей. Помимо контактора пускатель содержит тепловое реле, служащее для защиты электродвигателя от перегрузки.

Упрощенная принципиальная схема теплового реле приведена на рис. 13.2. Оно состоит из биметаллической пластинки 1, одним концом жёстко закреплённой на неподвижном основании 2, а другим концом связанной с размыкающим контактом 3. Вокруг пластинки навита нихромовая спираль (нагреватель) 4. Нагреватель подключается последовательно с обмоткой электродвигателя, а контакты – последовательно с катушкой магнитного пускателя. При перегрузке электродвигателя нагреватель перегревает биметаллическую пластину, она изгибается и разрывает цепь катушки магнитного пускателя, который, в свою очередь, отключает электродвигатель.



**Рис. 11.2. Упрощенная принципиальная схема устройства теплового реле**

**Порядок выполнения задания**

## Изучаем устройство электромагнитных аппаратов управления

Преподаватель показывает устройство и все его элементы по наглядному пособию и плакату.

**Знакомимся с основными техническими данными используемого в экспериментальной установке оборудования и его размещением на стенде**

Знакомство осуществить по перечню элементов универсального лабораторного стенда, составленному на вводном занятии (Приложение 19.3).

## Собираем электрическую схему

Сидоров собирает узел 1; Козлов – узел 2 и так далее.

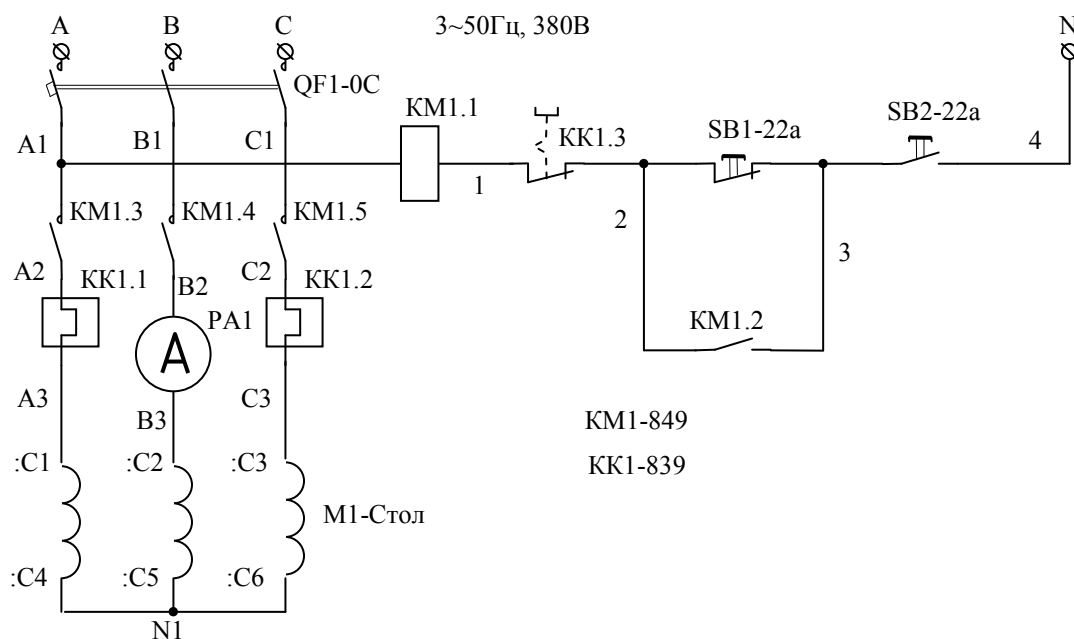


Рис. 11.3. Схема управления электродвигателем с помощью магнитного пускателя

## Производим испытание схемы

### Включаем автоматический выключатель QF1 -

При этом подаётся напряжение сети на схему управления и входные контакты магнитного пускателя KM1.3...5. Однако ток в цепи не протекает, так как контакты разомкнуты. Не протекает ток и через катушку KM1.1 магнитного пускателя, так как разомкнуты контакты KM1.2 и SB1.

Работу выполняет очередной студент.

### Нажимаем кнопку SB1 -

При этом замыкается контакт кнопки SB1 и по цепи «фаза А – катушка KM1.1 магнитного пускателя KM1 – размыкающий контакт KK1.3 теплового реле KK1 – замкнувшийся контакт кнопки SB1 – размыкающий контакт кнопки SB2 – нуль сети» начинает протекать электрический ток. В результате в сердечнике магнитного пускателя образуется магнитное поле – подвижный сердечник притягивается к неподвижному – замыкаются контакты магнитного пускателя. Замыкание силовых контактов KM1.3...5 магнитного пускателя приводит к включению электродвигателя M1, а замыкание вспомогательного (блокировочного) контакта KM1.2 резервирует цепь питания катушки KM1.1.

### Отпускаем кнопку SB1 –

При этом размыкаются контакты кнопки SB1. Однако катушка не обесточивается, так как ток протекает теперь не через контакты кнопки, а через блокировочные контакты KM1.2 магнитного пускателя. Электродвигатель продолжает работать.

Работу по пунктам 13.4.4.2 и 13.4.4.3 выполняет очередной исполнитель.

### ***Нажимаем кнопку SB2 –***

При этом размыкаются контакты кнопки SB2 – прерывается цепь питания катушки магнитного пускателя – размыкаются силовые и блокировочные контакты магнитного пускателя KM1 – обесточивается электродвигатель M1 и деблокируются контакты кнопки SB1.

### ***Отпускаем кнопку SB2 –***

При этом замыкаются контакты кнопки SB1, но катушка KM1 не получает питание, так как разомкнулись контакты KM1.2. Электродвигатель продолжает оставаться отключённым.

*Работу по пунктам 13.4.4.4 и 13.4.4.5 выполняет очередной исполнитель.*

***Нажимаем кнопку SB1 и ленточным тормозом осуществляем торможение электродвигателя так, чтобы стрелка амперметра отклонилась на всю шкалу –***

При этом в результате перегрузки электродвигателя перегреются нагреватели КК1.1 и КК1.2 теплового реле КК1 и через определённое время разомкнутся его контакты КК1.3. В результате произойдёт отключение электродвигателя в таком же порядке, как и при нажатии на кнопку SB2.

*Работу выполняет очередной исполнитель*

*По завершению работы схему отключить и разобрать.*

### **Подготавливаем ответы на контрольные вопросы**

1. Устройство контактора.
2. Каково назначение катушки в электромагнитном аппарате?
3. Чем отличаются силовые контакты от блокировочных?
4. Как работают и изображаются на схемах размыкающие контакты?
5. Как работают и изображаются на схемах замыкающие контакты?
6. Чем отличается магнитная система контактора постоянного тока и контактора переменного тока?
7. Каково назначение короткозамкнутого витка в магнитной системе контактора переменного тока?
8. Как устроено тепловое реле?
9. Назначение теплового реле.
10. Показать на магнитном пускателе выводы катушки, силовых и блокировочных контактов.

## **2.12. Лабораторная работа №12( 2 часа).**

### **Тема: «Изучение реле времени»**

**2.12.1 Цель работы:** Ознакомиться с устройством и принципом действия электромагнитных реле времени с часовым, пневматическим и моторным механизмом задержки, а также с принципом действия электронных реле времени.

### **2.12.2 Задачи работы:**

1. Изучить устройство реле времени различных типов.
2. Произвести испытание пневматического реле времени.

### **2.12.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Мультимедиапроектор
2. Пневматическое реле времени
3. Механическое реле времени
4. Ключ

5. Лампочка накаливания

6. Кнопка

#### **2.12.4 Описание (ход) работы:**

##### **Краткие теоретические положения**

Реле времени и программные устройства служат для создания определённых выдержек времени между моментами подачи входного сигнала и моментами выдачи выходного сигнала. Это требуется для разнесения моментов включения и отключения различных электрических устройств.

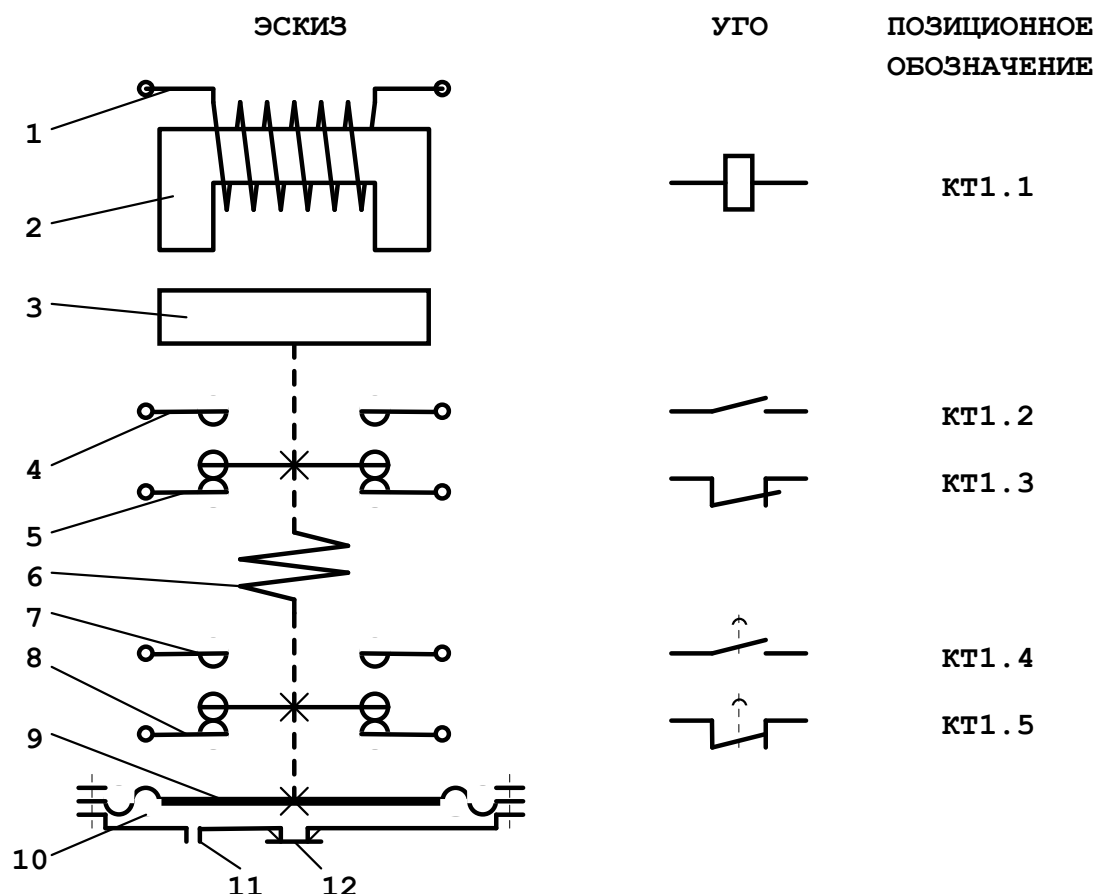
Реле времени состоит из трёх взаимосвязанных функциональных частей:

- входного устройства (катушки электромагнита, электродвигателя, входа усилителя и т. п.);
- устройства задержки времени (маятникового, пневматического, магнитного, электрического);
- выходного устройства (электрического контакта, усилителя).

На рис. 13.1 приведена принципиальная схема устройства и работы пневматического реле времени, входным элементом которого является электромагнитная система, а элементом задержки времени – мембрана с калиброванным отверстием.

Реле состоит из катушки 1 медного изолированного провода, намотанного на неподвижный сердечник 2, взаимодействующий с подвижным сердечником 3. Сердечник механически связан с контактами 4 и 5 и через пружину 6 с контактами 7, 8 и мембраной 9, перекрывающей замкнутую полость 10. Полость связана с атмосферой через отверстие малого диаметра 11 и клапан 12.

При подаче напряжения на катушку (входной сигнал) подвижный сердечник притягивается к неподвижному и через механическую связь без выдержки времени замыкает контакты КТ1.2 и размыкает контакты КТ1.3. Одновременно под действием пружины по мере заполнения воздухом полости 10 через отверстие 11 начинается перемещение мембраны 9. Когда она переместится на достаточное расстояние, замкнутся контакты КТ1.4 и одновременно разомкнутся контакты КТ1.5. Возврат этих контактов при снятии напряжения с катушки осуществляется без выдержки времени, так как воздух из полости выходит через клапан 12 свободно и не препятствует перемещению мембраны.



**Рис. 12.1. Схема устройства пневматического реле времени**

Электромеханическое реле маятникового типа устроено аналогично пневматическому, но элементом задержки в нём является часовой механизм.

На практике широко применяются моторные реле времени типа Е-52 и РВ-4. Входным элементом таких реле является электромагнит, а элементом задержки – микроэлектродвигатель с редуктором.

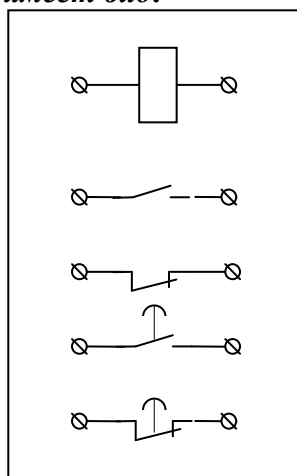
#### **Порядок выполнения задания**

#### **Изучаем устройство реле времени различных типов**

*Показать устройство и все его элементы по наглядному пособию и плакату.*

#### **Производим испытание пневматического реле времени**

*Пневматическое реле времени расположено на панели №31, его монтажная схема имеет вид:*

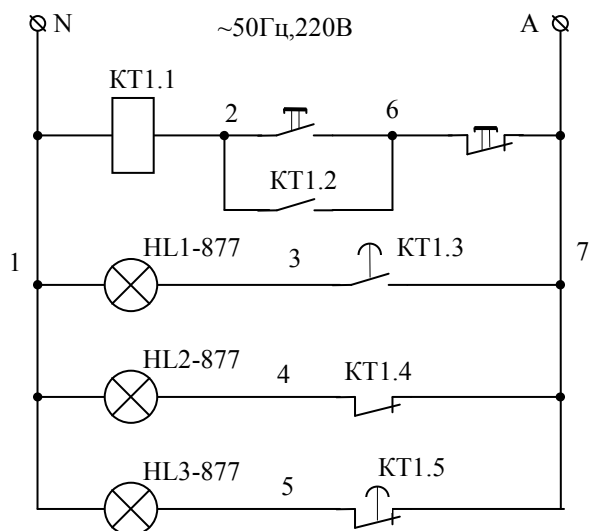


**Рис. 12.2. Монтажная схема пневматического реле времени**

**Знакомимся с основными техническими данными используемого в экспериментальной установке оборудования и его размещением на стенде**

Знакомство осуществить по перечню элементов универсального лабораторного стенда, составленному на вводном занятии (Приложение 19.3).

**Собираем электрическую схему**



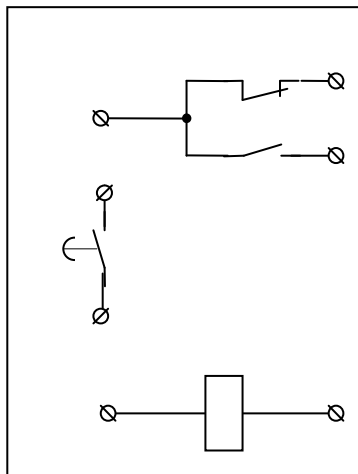
**Рис. 12.3. Схема испытания пневматического реле времени**

Сидоров собирает узел 1; Козлов – узел 2 и так далее.

**Испытываем схему**

**Производим испытание электромеханического реле времени**

Электромеханическое реле времени расположено на панели №32 его монтажная схема имеет вид:

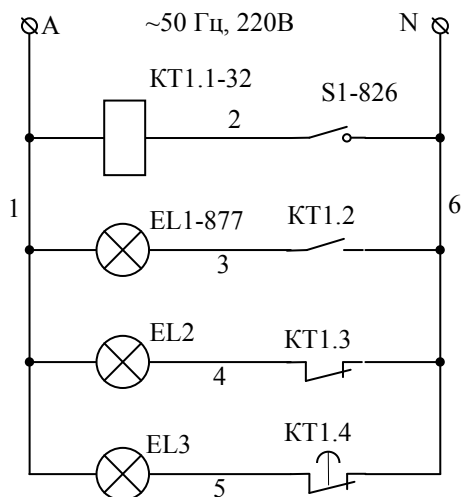


**Рис. 12.4. Монтажная схема электромеханического реле времени**

**Знакомимся с основными техническими данными используемого в экспериментальной установке оборудования и его размещением на стенде**

Знакомство осуществить по перечню элементов универсального лабораторного стенда, составленному на вводном занятии (Приложение 19.3).

**Собираем электрическую схему:**



**Рис. 12.5. Схема испытания электромеханического реле времени**

*Сидоров собирает узел 1; Козлов – узел 2 и так далее*

**Испытываем схему**

*В тетрадах привести комментарии.*

**Подготавливаем ответы на контрольные вопросы**

1. Назначение реле времени.
2. Какие виды реле времени вы знаете?
3. Из каких функциональных узлов состоит реле времени?
4. Как обозначаются контакты реле времени?
5. Как работает пневматическое реле времени?
6. Как работает электромеханическое реле времени?
7. Что является выходным элементом реле времени различных типов?
8. Что является элементом задержки времени в моторном реле времени?
9. Как обозначается замыкающий контакт с выдержкой времени при замыкании?
10. Как регулируется выдержка времени в пневматическом реле времени?

### **2.13. Лабораторная работа №13( 2 часа).**

**Тема: «Исследование простейшего выпрямителя и простейшего стабилизатора напряжения»**

**2.13.1 Цель работы:** Изучить устройство и принцип действия полупроводниковых диодов и стабилитронов. Ознакомиться с простейшими схемами выпрямления и стабилизации напряжения.

#### **2.13.2 Задачи работы:**

1. Изучить устройство и характеристики полупроводниковых диодов и стабилитронов.
2. Снять зависимость выходного напряжения стабилитрона от входного напряжения и тока нагрузки.

#### **2.13.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Мультимедиапроектор
2. Диод
3. Стабилитрон
4. Амперметр

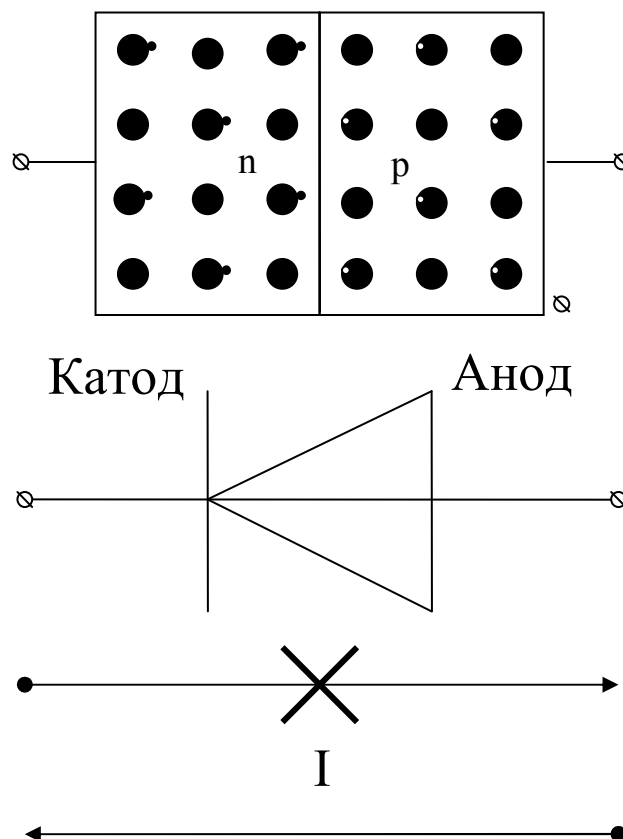
5. Вольтметр
6. Лампа накаливания

#### 2.13.4 Описание (ход) работы:

##### Краткие теоретические положения

Полупроводниковые диоды представляют собой спай двух полупроводниковых материалов, один из которых обладает дырочной проводимостью (полупроводник р типа), а другой – электронной проводимостью (полупроводник n типа)

Ток проходит от полупроводника с дырочной проводимостью к полупроводнику с электронной проводимостью. Поэтому диоды служат для выпрямления переменного тока. Основными техническими характеристиками диода являются допустимый по условию нагрева прямой ток и допустимое по условию пробоя обратное напряжение. Промышленностью выпускаются германиевые и кремниевые диоды на допустимые обратные напряжения от нескольких десятков до нескольких тысяч вольт. Допустимые токи диодов составляют от нескольких миллиампер до нескольких сот ампер.



**Рис. 13.1. Эскиз и условное обозначение диода**

Разновидностью диодов являются фото и светодиоды, а также стабилитроны. Стабилитрон отличается от обычного диода тем, что при определённом обратном напряжении (обычно от нескольких вольт до нескольких десятков вольт) они начинают проводить электрический ток и в обратном направлении. При этом, если ток ограничен сопротивлением нагрузки и не превышает допустимой по условиям нагрева величины, то стабилитрон не выходит из строя и возвращается в запертое состояние при снижении напряжения. Этим свойством стабилитрона пользуются при изготовлении различных видов стабилизаторов напряжения.

**Порядок выполнения задания**  
**Изучаем конструкции и основные технические данные диодов и стабилитронов**

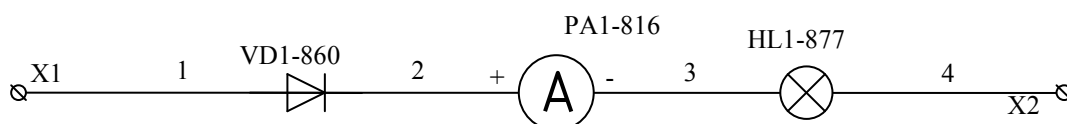
*Показать исполнения и паспортные данные изучаемых приборов.*

**Испытываем схему выпрямления**

**Знакомимся с основными техническими данными используемого в экспериментальной установке оборудования и его размещением на стенде**

*Знакомство осуществить по перечню элементов универсального лабораторного стенда, составленному на вводном занятии (Приложение 19.3).*

**Собираем электрическую схему:**



**Рис. 13.2. Схема простейшего однополупериодного выпрямителя**

*Сидоров собирает узел 1; Козлов – узел 2 и так далее.*

**Присоединяем к X1 +220В, а к X2 -220В:**

Дырки и электроны движутся навстречу друг другу – рекомбинируют на границе полупроводников – ток через диод проходит – амперметр отклоняется в положительном направлении – лампа горит – на экране осциллографа кривая сетевого напряжения.

*Эту работу выполняет очередной исполнитель. Записывает на доске показания амперметра и зарисовывает кривую напряжения на лампе, а все остальные студенты проделывают это у себя в отчётах.*

**Присоединяем к X1 -220В, а к X2 +220В:**

Электроны и дырки расходятся в разные стороны (электроны к аноду, дырки к катоду) – рекомбинация не происходит – в спае образуется зона без носителей заряда – ток не проходит – лампа не горит.

*Эту работу выполняет очередной исполнитель. Записывает на доске показания амперметра и зарисовывает кривую напряжения на лампе, а все остальные студенты проделывают это у себя в отчётах.*

**Присоединяем к X1 фазу А сети 220 В, а к X2 – нулевой провод сети 220В**

Через диод проходит положительная полуволна тока – лампа горит в полнакала – амперметр отклоняется в положительном направлении и показывает уменьшенный в два раза ток – на экране наблюдается положительная полуволна напряжения.

*Эту работу выполняет очередной исполнитель. Записывает на доске показания амперметра и зарисовывает кривую напряжения на лампе, а все остальные студенты проделывают это у себя в отчётах.*

**Меняем местами анод и катод диода**

Через диод проходит отрицательная полуволна тока – лампа горит в полнакала – амперметр отклоняется в отрицательном направлении и показывает уменьшенный в два раза ток – на экране наблюдается отрицательная полуволна напряжения.

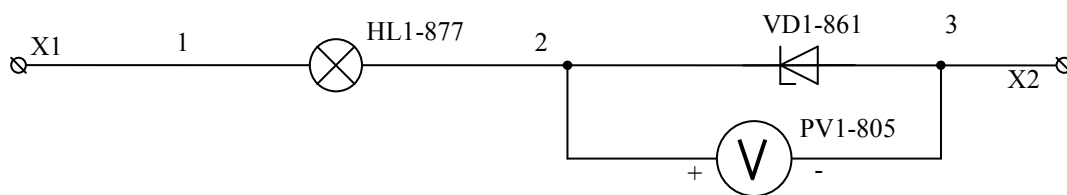
*Эту работу выполняет очередной исполнитель. Записывает на доске показания амперметра и зарисовывает кривую напряжения на лампе, а все остальные студенты проделывают это у себя в отчётах.*

**Испытываем схему стабилизации**

**Знакомимся с основными техническими данными используемого в экспериментальной установке оборудования и его размещением на стенде**

*Знакомство осуществить по перечню элементов универсального лабораторного стенда, составленному на вводном занятии (Приложение 19.3).*

**Собираем электрическую схему:**



**Рис. 13.3. Схема простейшего стабилизатора напряжения**

*Сидоров – узел 1; Козлов – узел 2 и так далее.*

**Присоединяем к X1 -220В, а к X2 +220В:**

Дырки и электроны движутся навстречу друг другу – рекомбинируют на границе полупроводников – сопротивление стабилитрона близко к нулю - ток через стабилитрон проходит и ограничивается только лампой - лампа горит – падение напряжения на стабилитроне равно нулю - вольтметр показывает нуль – на экране осциллографа нуль.

*Эту работу выполняет очередной исполнитель. Записывает на доске показания вольтметра и зарисовывает кривую напряжения на стабилитроне, а все остальные студенты проделывают это у себя в отчётах.*

**Присоединяем к X1 +220В, а к X2 -220В**

Электроны и дырки расходятся в разные стороны (электроны – к аноду, дырки – к катоду) – рекомбинация не происходит – в спае образуется зона без носителей заряда – ток до напряжения 15 вольт не проходит – при напряжении выше 15 вольт происходит пробой стабилитрона в обратном направлении – лампа загорается и ограничивает ток – вольтметр показывает минус 15 вольт – на экране осциллографа кривая напряжения на стабилитроне.

*Эту работу выполняет очередной исполнитель. Записывает на доске показания вольтметра и зарисовывает кривую напряжения на стабилитроне, а все остальные студенты проделывают это у себя в отчётах.*

**Присоединяем к X1 фазу А сети 220В, а к X2 – нулевой провод сети 220В**

В положительный полупериод сетевого напряжения наблюдаем картину, что и по пункту 15.4.3.4, а в отрицательный – что и по пункту 15.4.3.3

*Эту работу выполняет очередной исполнитель. Записывает на доске показания вольтметра и зарисовывает кривую напряжения на стабилитроне, а все остальные студенты проделывают это у себя в отчётах.*

**Подготавливаем ответы на контрольные вопросы**

1. Устройство полупроводникового диода.
2. Как обозначается диод на схемах?
3. Показать на схеме проводящее направление диода.
4. Как образуется запирающий слой в диоде?
5. На какие токи и напряжения выпускаются диоды?
6. Что произойдёт и почему, если включить диод в прямом направлении, а вместо сопротивления нагрузки включить, например, выключатель?
7. Чем отличается диод от стабилитрона?
8. Нарисовать кривую напряжения на выходе стабилитрона в цепи переменного тока.
9. Что произойдёт, если ток нагрузки увеличится сверх допустимого тока стабилитрона?
10. Нарисовать кривую напряжения на выходе диода в цепи переменного тока.

## 2.14. Лабораторная работа №14( 2 часа).

**Тема:** «Исследование биполярного транзистора»

**2.14.1 Цель работы:** Изучить устройство, принцип действия и простейшие схемы включения биполярного транзистора, научиться снимать его основные характеристики.

### 2.14.2 Задачи работы:

1. Изучить устройство биполярного транзистора, номенклатуру транзисторов.
2. Снять зависимость коэффициента усиления транзистора по току от тока коллектора.

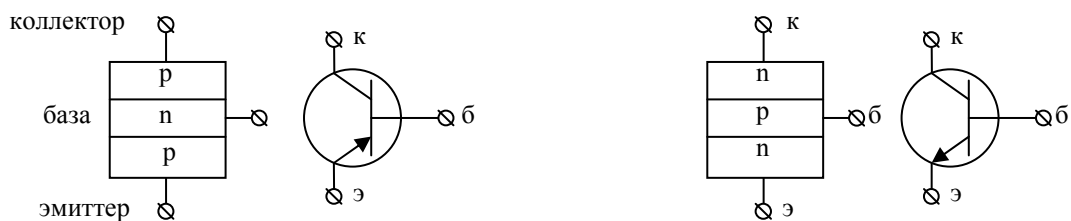
### 2.14.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Мультимедиапроектор
2. Реостат
3. Транзистор
4. Вилка
5. Розетка
6. Амперметр

### 2.14.4 Описание (ход) работы:

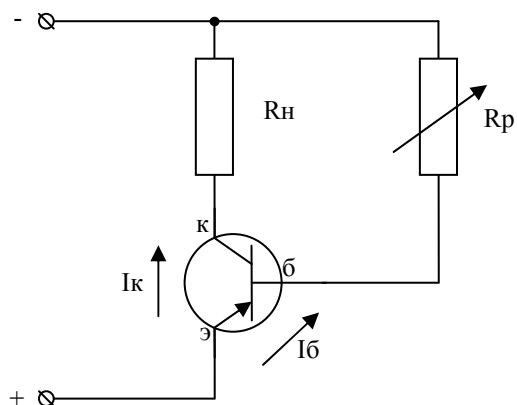
#### Краткие теоретические положения

Транзисторы – трёхслойные полупроводниковые приборы, обладающие свойством усиления сигналов.



**Рис. 14.1. Транзисторы типа рпр и прп**

Свойство усиления транзистора заключается в том, что при возникновении тока между эмиттером и базой возникает ток и между эмиттером и коллектором, во много раз больший.



**Рис. 14.2. Схема включения транзистора с общим эмиттером**

Отношение тока коллектора к току базы называется коэффициентом усиления транзистора  $\beta = I_k / I_b$ . Коэффициент усиления современных биполярных транзисторов колеблется в пределах от десятков до нескольких сотен и даже тысяч.

Таким образом, изменяя сравнительно небольшой ток базы с помощью сопротивления  $R_p$ , можно управлять значительным током коллектора. Для ещё большего увеличения коэффициента усиления транзисторы соединяют в несколько ступеней.

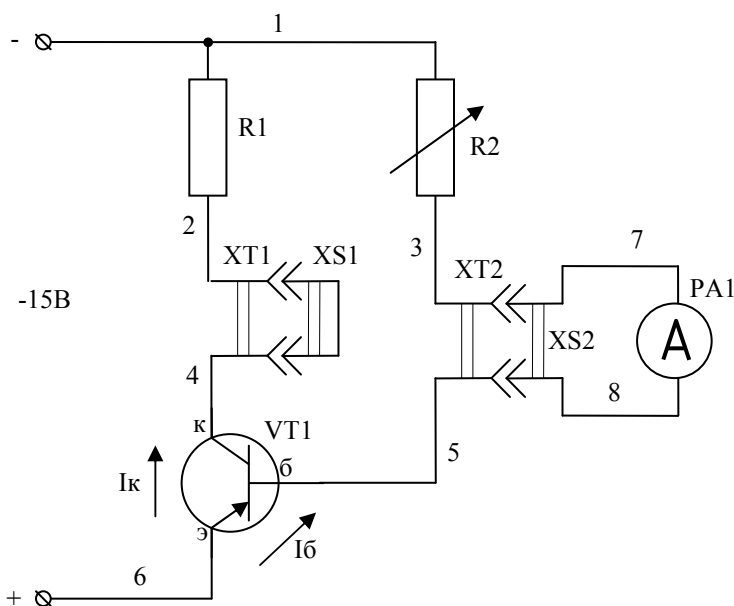
#### Порядок выполнения задания

#### Изучаем типы транзисторов и их основные паспортные данные

*Показать устройство и внешний вид транзисторов в натуральном представлении и по плакату.*

**Производим регулирование тока в обмотке возбуждения электродвигателя при включении регулирующего сопротивления по схеме реостата**

**Собираем электрическую схему:**



**Рис. 14.3. Схема испытания транзистора**

*Сидоров – узел 1; Козлов – узел 2 и так далее.*

**Заготавливаем таблицу записи наблюдений**

Таблица 14.2 – Данные опытов и расчётов

Исполнитель	$I_k$ , mA	$I_b$ , mA	$\beta = I_k / I_b$
Сидоров			
Козлов			
и т. д.			

**Записываем действия при определении параметров точек экспериментальной зависимости, заданных вторым столбцом таблицы**

- Движком  $R_2$  устанавливаем заданное значение тока.
- Измеряем ток в резисторе  $R_1$ .
- Рассчитываем и заносим в таблицу на доске величину коэффициента усиления транзистора по току.

#### Снимаем точки экспериментальной зависимости

Старший по работе назначает исполнителей и заносит их фамилии в таблицу. Каждый из ответственных за точку снимает показания, как указано в предыдущем пункте, и заносит их в таблицу на доске.

### **Строим график экспериментальной зависимости $\beta = f(I_k)$**

*Старший по работе – на доске, а все остальные студенты у себя в тетрадях заготавливают оси координат. Каждый из ответственных за точку наносит её на поле графика, расположенного на доске.*

#### **Подготавливаем ответы на контрольные вопросы**

1. Устройство биполярного транзистора.
2. Как включается транзистор по схеме с общей базой?
3. Что такое коэффициент усиления транзистора по току?
4. Как обозначается транзистор типа p-n-p на схемах?
5. Как обозначается транзистор типа n-p-n на схемах?
6. Как маркируются выводы транзистора?
7. Показать путь тока базы через транзистор.
8. Показать путь тока коллектора через транзистор.
9. Где протекает ток эмиттера через транзистор?
10. Каков диапазон параметров современных транзисторов?

### **2.15. Лабораторная работа №15( 2 часа).**

**Тема: «Изучение конструкции и исследование характеристик линии электропередачи»**

**2.15.1 Цель работы:** Изучить устройство различных видов линий электропередачи, научиться снимать их основные технические характеристики.

#### **2.15.2 Задачи работы:**

1. Ознакомиться с устройством различных видов ЛЭП.
2. Снять зависимость напряжения в конце линии, падения напряжения в линии и коэффициента полезного действия от тока нагрузки.

#### **2.15.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Мультимедиапроектор
2. Амперметр
3. Вольтметр
4. Лампа накаливания
5. Резистор
6. Ключ

#### **2.15.4 Описание (ход) работы:**

##### **Краткие теоретические положения**

Чаще всего источник тока и потребитель расположены на значительном расстоянии друг от друга. Связь источника и потребителя осуществляется через линию электропередачи (ЛЭП). ЛЭП бывают воздушными и кабельными, низковольтными (до 1000 В) и высоковольтными (свыше 1000 В). Чем выше напряжение линии электропередачи, тем меньше при той же передаваемой мощности потери энергии в линии электропередачи. В сельском хозяйстве для передачи напряжения непосредственно на зажимы потребителей используется сеть 0,4 кВ, а для передачи на большие расстояния – сети 10, 35 и 110 кВ.

Основными элементами воздушных ЛЭП являются опоры, крюки, изоляторы и провода (чаще всего из алюминия). Воздушные линии 0,4 кВ имеют голые провода, но в последнее время часто используется самонесущий изолированный провод (СИП), как более безопасный и надёжный.

### Порядок выполнения задания

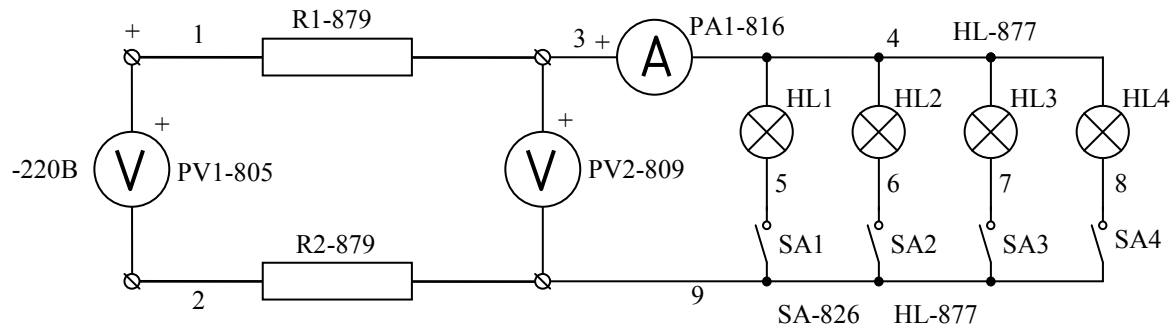
#### Изучаем устройство ЛЭП

Показать устройство и все его элементы по наглядному пособию и плакату.

**Знакомимся с основными техническими данными используемого в экспериментальной установке оборудования и его размещением на стенде**

Знакомство осуществить по перечню элементов универсального лабораторного стенда, составленному на вводном занятии (Приложение 19.3).

#### Собираем электрическую схему:



**Рис. 15.1. Схема исследования линии постоянного тока**

Сидоров собирает узел 1; Козлов – узел 2 и так далее.

#### Заготавливаем таблицу записи наблюдений

Распределяются исполнители.

Таблица 15.1 – Данные опытов и расчётов

Исполнитель	идор ов	озло в	т. д.		
Опытные данные					
Нл, шт					
I, А					
U <sub>1</sub> В					
U <sub>2</sub> , В					
Расчётные данные					
Абсолютное падение напряжения $\Delta U = U_1 - U_2$ , В					
Относительное падение напряжения $\delta U = 100 \Delta U / U_1$ , %					
Отклонение напряжения абсолютное. $\Delta U_o = U_1 - U_n$ , В					
Отклонение напряжения относительное $\delta U_o = 100 \Delta U_o / U_n$ , %					
Мощность в начале линии $P_1 = IU_1$ , Вт					
Мощность в конце линии $P_2 = IU_2$ , Вт					
Потеря мощности в линии $\Delta P = P_1 - P_2$ , Вт					
КПД линии $\eta = 100 P_1 / P_2$ , %					

**Записываем действия при определении параметров точек экспериментальной зависимости, заданных вторым столбцом таблицы**

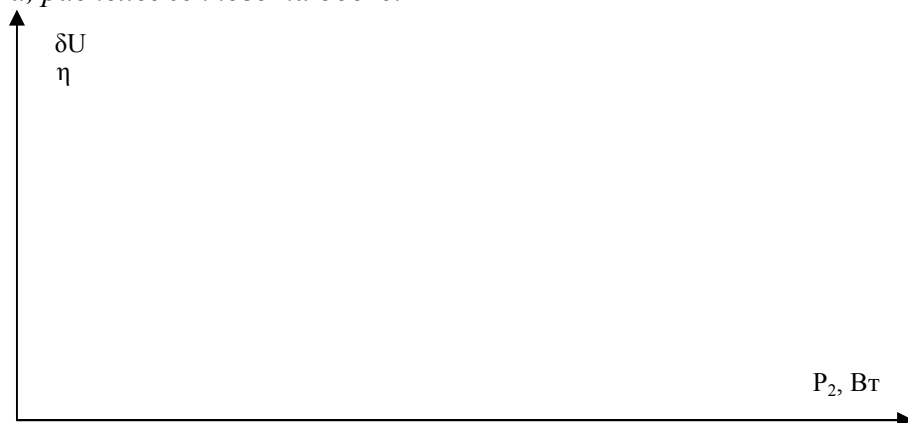
- а) С помощью выключателей подключаем заданное количество ламп.
- б) Считываем и заносим в таблицу на доске показания приборов.
- в) Рассчитываем и заносим в таблицу на доске величины падений напряжения, мощностей и коэффициента полезного действия линии.

**Снимаем точки экспериментальной зависимости**

*Старший по работе назначает исполнителей и заносит их фамилии в таблицу. Каждый из ответственных за точку снимает показания, как указано в предыдущем пункте, и заносит их в таблицу на доске.*

**Строим графики экспериментальных зависимостей  $\delta U$ ,  $\eta = f(P_2)$**

*Старший по работе – на доске, а все остальные студенты у себя в тетрадях заготавливают оси координат. Каждый из ответственных за точку наносит её на поле графика, расположенного на доске.*



**Рис. 15.2. Графики зависимостей коэффициента полезного действия линии и падения напряжения в ней от величины передаваемой мощности**

**Подготавливаем ответы на контрольные вопросы**

1. Какие виды линий электропередач вы знаете?
2. Как устроена воздушная линия 0,4 кВ?
3. Как устроена воздушная линия 10 кВ?
4. В каком порядке расположены провода на линии 0,4 кВ?
5. Устройство кабельной линии электропередачи?
6. Для чего служит «юбка» изолятора?
7. С какой целью осуществляют повторное заземление нулевого провода?
8. Как можно определить потерю мощности иным , не указанным в таблице способом?
9. Как можно определить потерю напряжения иным , не указанным в таблице способом?
10. Как определить коэффициент полезного действия линии?

## **2.16. Лабораторная работа №16( 2 часа).**

**Тема: «Учёт электрической энергии в сетях переменного тока»**

**2.16.1 Цель работы:** Изучить конструкцию и принцип действия однофазных и трёхфазных счётчиков электрической энергии. Научиться включать их в электрическую сеть.

### 2.16.2 Задачи работы:

1. Изучить устройство электросчётчиков.
2. Произвести измерение потреблённой электроэнергии трёхфазным электронагревателем.
3. Сравнить результаты измерения по счётчику с результатами измерения энергии косвенным способом по показаниям вольтметра и амперметра.

### 2.16.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Счетчик активной энергии
2. Мультимедиапроектор
3. Амперметр
4. Вольтметр
5. Резистор

### 2.16.4 Описание (ход) работы:

#### Краткие теоретические положения

Учёт потреблённой энергии необходим в коммерческих для осуществления взаиморасчётов между поставщиками и потребителями электрической энергии и технологических целях для оценки эффективности работы оборудования. Наиболее распространены приборы учёта потреблённой энергии (счётчики) переменного тока, так как поставка и потребление электроэнергии осуществляется в подавляющем большинстве случаев переменным током.

Наиболее широкое применение в цепях переменного тока получили индукционные счётчики прямого включения на напряжение 380 вольт и токи до 40 ампер. В энергосистемах большой мощности используются счётчики, подключаемые через трансформаторы тока и трансформаторы напряжения. Счётчик в этих случаях рассчитан на напряжение 100 вольт и ток 5 ампер.

#### Порядок выполнения задания

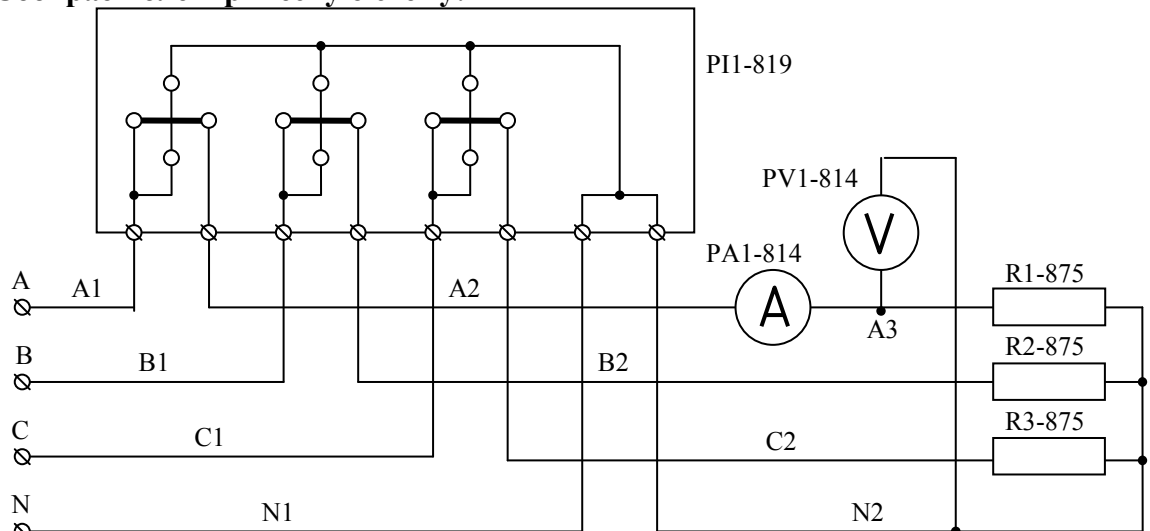
#### Изучаем устройство электросчётчиков

*Показать устройство и все его элементы по наглядному пособию и плакату.*

**Знакомимся с основными техническими данными используемого в экспериментальной установке оборудования и его размещением на стенде**

*Знакомство осуществить по перечню элементов универсального лабораторного стенда, составленному на вводном занятии (Приложение 19.3).*

#### Собираем электрическую схему:



**Рис. 16.1. Схема учёта потреблённой энергии**

*Сидоров собирает узел A1; Козлов – узел A2 и так далее.*

### Заготавливаем таблицу записи наблюдений

*Распределяются исполнители.*

Таблица 16.1 – Данные опытов и расчётов

Исполнитель	С идоров	К озлов	и т. д.	Сре дние значения
$U_{\phi}, В$				
$I_{\phi}, А$				
$N, оборотов$				
$t, сек$				
$W_{сч} = C_{сч} \cdot N, Дж$				
$W_p = 3U_{\phi} I_{\phi} \cdot t, Дж$				
Абсолютная погрешность $\Delta W = W_{сч} - W_p, Дж$				
Относительная погрешность $\delta = 100 \Delta W / W_{сч}, \%$				

### Записываем действия по определению количества потреблённой энергии:

- а) Считываем и заносим в таблицу на доске показание амперметра и вольтметра
- б) Считаем количество оборотов счётчика за 300 секунд работы схемы
- в) Определяем расчётные данные.

### Снимаем показания

*Старший по работе назначает исполнителей и заносит их фамилии в таблицу. Каждый из ответственных за точку снимает показания, как указано в предыдущем пункте, и заносит их в таблицу.*

### Подготавливаем ответы на контрольные вопросы

1. Устройство трёхфазного счётчика.
2. Что такое постоянная счётчика?
3. Как по показаниям амперметра и вольтметра подсчитать мощность симметричной трёхфазной нагрузки?
4. Как по показаниям амперметра и вольтметра подсчитать потреблённую энергию симметричной трёхфазной нагрузкой?
5. С какой целью осуществляется учёт электроэнергии?
6. Как определить показание счётчика на момент снятия данных, включённого через трансформатор тока?
7. Как определить показание счётчика на момент снятия данных, включённого через трансформатор напряжения?
8. Как определить по показаниям счётчика количество потреблённой энергии за определённый период?