

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

Каршинский инженерно-экономический институт

Кафедра "ЭЛЕКТРЭНЕРГЕТИКА»
Методические указания к лабораторным работам по предмету
«Электротехнологические установки предприятий»

Карши-2006г

Составитель: ст.преподаватель Бейтуллаева Р.Х.

Рецензенты: доц.Денмухаммадиев А.М.

Ведущий инженер Кашкадарьинских
Высоковольтных электрических сетей
сетей относящихся к Юго-западным
электрическим сетям Хушмуродов А.

В методическом указании изложен теоретический материал в соответствии с действующей Типовой программой составленной вТашГТУ.

Данные методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ по предмету «Электротехнологические установки предприятий».

Рекомендовано к изданию в методическом совете Каршинском инженерно-экономическом институте № ()

Лабораторная работа № 1.

ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ КАМЕРНОЙ ПЕЧИ. СОПРОТИВЛЕНИЯ.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение процессов нагрева эл. печи сопротивления, получение опытных данных для построения кривой нагрева и охлаждения.

Ознакомление с режимом работы электропечи и Эл. схемой управления, с различными способами регулирования температуры печей сопротивления и энергетическими показателями их работы.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

Установки в которых происходит превращение электрической энергии в другие виды энергии с одновременным осуществлением технологических процессов, называют электротехнологическими.

Электротехнологические процессы широко применяются в промышленности. Оборудование для этих процессов весьма разнообразно по принципу действия, мощности, характеристикам потребления эл. энергии. В понятие «Электротехнологии» включены следующие технологические процессы и методы обработки материалов:

- 1) Электротермические процессы;
- 2) Электросварочные процессы;
- 3) Электрохимические методы обработки и получения материалов;
- 4) Электрофизические методы обработки;
- 5) Аэрозольная технология.

Из перечисленных процессов наиболее широкое распространение в промышленности получили электротермические процессы.

Электротермическое оборудование используется в процессах, в которых происходит преобразование электрической энергии в тепловую. Под электротермической установкой подразумевается комплекс, состоящий из самого электротермического оборудования источника его электрического питания и устройства для автоматического управления.

Электротермическое оборудование – электрические печи, электронагревательные устройства и приборы широко распространено в промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве и быту.

Исследуемые в данной лабораторной работе. Камерная печь относится к электрическим печам сопротивления косвенного нагрева. Камутые печи сопротивления весьма просты по конструкции и вместе с тем универсальны по назначению. В основном они предназначены для различных видов термической обработки изделий из металлов. Промышленность выпускает камерные печи серийно на рабочие температуры до 700, 1000 и 1250⁰С с металлическими нагревателями из специальных сплавов, а на рабочую температуру до 1300 и 1600⁰С с нагревателями из карборунда и дисилицида молибдена.

Все камерные печи на максимальную температуру 700⁰С снабжаются вентиляторами для интенсификации процесса нагрева и увеличения равномерности распределения температуры в рабочем пространстве печи.

Основной эксплуатационный недостаток камерных печей – трудность загрузки и выгрузки изделий. Тепловой КПД печей существенно зависит от технологического процесса, но обычно не превышает 65÷70%.

II. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Для снятия экспериментальных характеристик (данных) необходимо произвести необходимые соединения в схеме и установке. Нагрузкой эл.печи является нагревательный элемент в виде никромовой спирали. Энергетические показатели и режим работы эл.печи создается состоянием при различных зазорах на дверце и (питающей сети) изменением пределов напряжения сети от $U_H = 220В$.

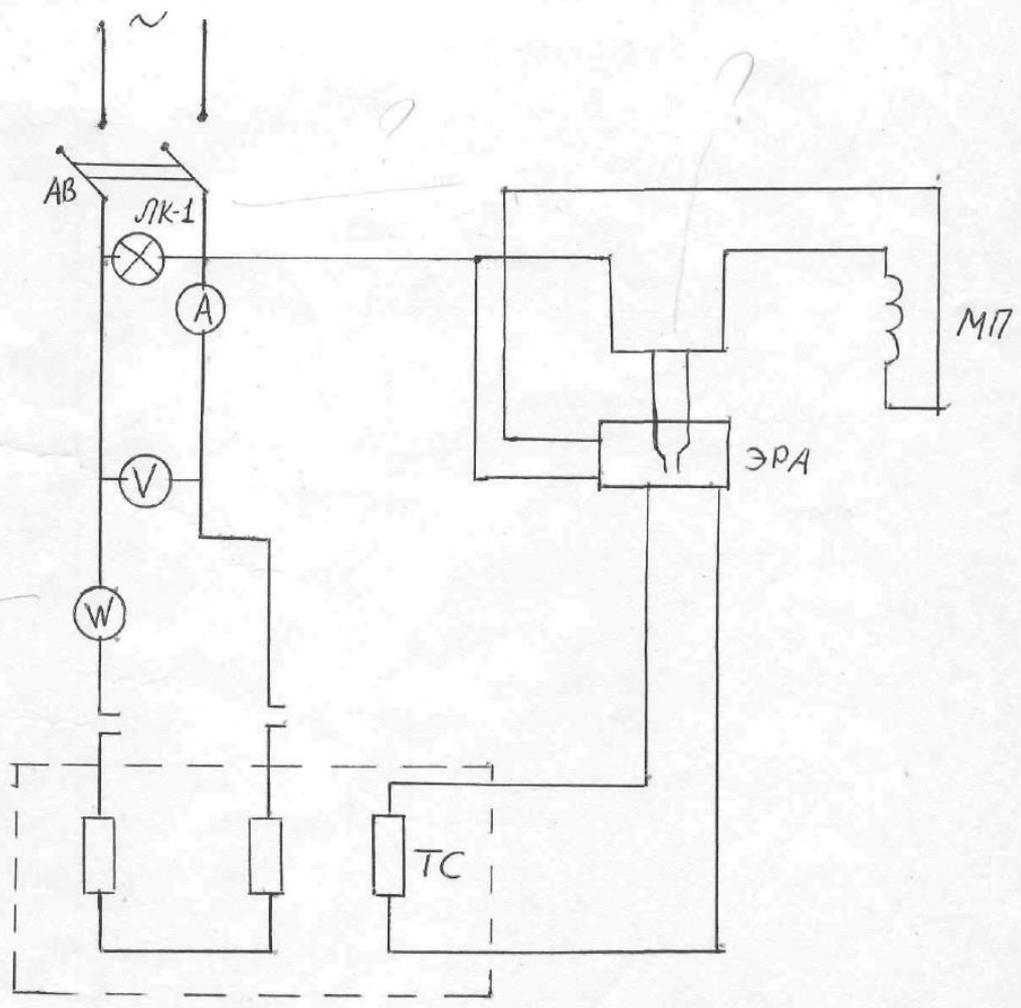
III. ЗАДАНИЕ

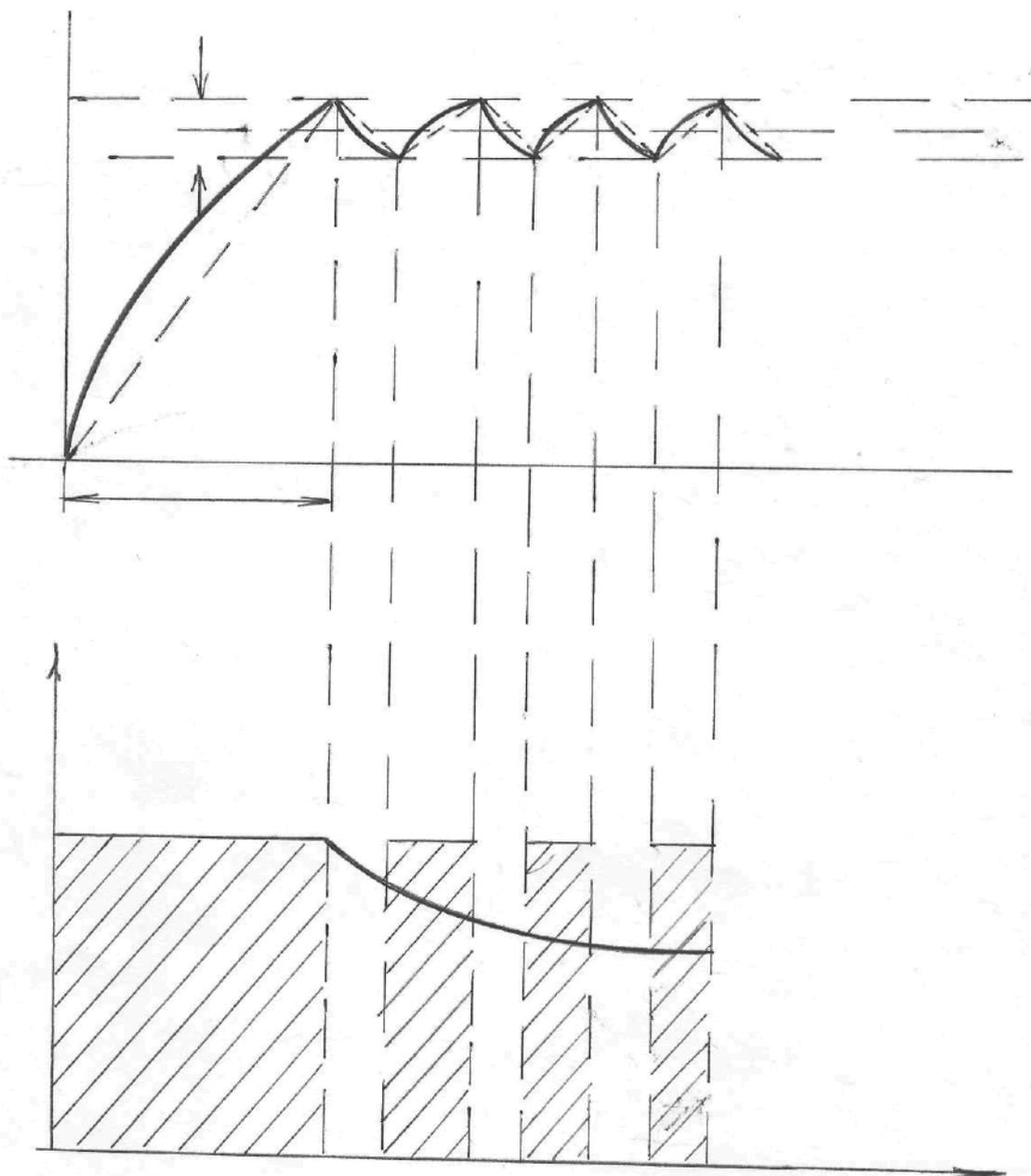
1. Ознакомиться с конструкцией и технологическими данными эл.печи сопротивления.
- 2 Изучить и начертить схему лабораторной установки и регулятора температуры (терморегулятора)(рис.1,2.).
- 3 Снять и построить $P = f(\sigma)$, $t_c = f(\sigma)$
- 4 Определить чувствительность регулятора.
- 5 Исследовать энергетические показатели работы печи при различных зазорах на дверце.

IV. ПОРЯДОК И МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ.

Включить вводной автомат АВ, при этом на лаб.стенд будет подано напряжение, о чем (о наличии напряжения на стенде) сигнализирует сигнальная лампа ЛК. Переключатель ПК1 переключить в положение I, после чего включить выключатель ПП«П». С момента включения выключателя "П" не-

Blank lined area for notes or additional information.





обходимо зафиксировать время, т.е. начинается отсчет времени $\sigma_{\text{раб}}$ и зафиксировать температуру окружающей среды t ; 4. При достижении заданной температуры в камере печи происходит автоматическое отключение печи сопротивления от сети. Время отключения зафиксировать, при этом начинается отсчет времени σ паузы; это продлится до повторного включения или до момента $\sigma_{\text{раб}}$

В период выполнения лабораторной работы записать показания вольтметра (V), амперметра (A) и ваттметра (Wh). Снятие экспериментальных данных необходимо и достаточно по $\sigma_{\text{раб}}$, $\sigma_{\text{раб}}$, $\sigma_{\text{раб}}$

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЙ РЕГУЛЯТОРА "ЭРА".

Схема регулятора "ЭРА" состоит из следующих основных элементов (рис.1.):

а) измерительной мостовой схемы; б) фазочувствительного усилителя; в) блока питания.

РАБОТА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ МОСТОВОЙ СХЕМ (рис.3)

В основу работы приборов положен метод измерения сопротивления термометра. Значение сопротивления термометра находится в определенной зависимости от температуры в месте его размещения.

Измерительная схема представляет собой одинарный мост сопротивления, в одно из плеч которого включен термометр сопротивления ТС, причем мост уравнивается автоматически, когда прибор работает как регулятор или сигнализатор, а при измерении истинного значения температуры мост уравнивается вручную.

Напряжение в измерительной диагонали будет равно нулю, т.е. мост будет находиться в равновесии, при условии выполнения равенства: $R_2(R_1+R_{пр})=R_1(R_3+R_{пр})$ справедливого для любой точки интервала, где R_t - сопротивление термометра сопротивления; R_1, R_2, R_3 - сопротивление плеч моста; $R^{Iпр}, R^{IIпр}$ - сопротивления, дающее в сумме приведенное сопротивление реохорда.

Т.к. сопротивление термометра меняется с изменением температуры объекта, то для достижения равновесия моста необходимо изменить сопротивление одного из плеч моста, или что тоже самое, изменить положение точки подключения одной из вершин измерительной диагонали по отношению к двум плечам моста R_t и R_3 .

Указанное требование удовлетворяется благодаря применению реохорда K_p , движок которого служит одной из вершин измерительной диагонали моста. По положению указателя, жестко соединенного с движком реохорда, на отградуированной шкале по уравновешенной схеме можно судить о значении регулируемой (измеряемой) температуры.

Если температура объекта в месте размещения термометра сопротивления меньше заданной по шкале заданной нарушается равновесие моста, в измерительной диагонали моста появляется напряжение определенной фазы, которое усиливается электронным усилителем до величины достаточной для срабатывания исполнительного реле Р. Рабочие контакты 3,4,5 включают исполнительный механизм для подачи энергии в объект регулирования до тех пор, пока температура объекта не достигнет заданного значения. При этом мост уравнивается, напряжение на входе усилителя близко к нулю, и исполнительное реле опускает, зеленая сигнальная лампа "меньше" гаснет и включается красная сигнальная лампа "больше".

Каждому значению установленной по шкале датчика температуры при равновесии моста соответствует вполне определенное значение температуры сопротивления, а следовательно значение температуры объекта.

Для уменьшения влияния присоединительных проводов О измерительный мост выбран равноплечим, кроме того термометр сопротивления - включен по трех проводной схеме. При таком выборе измерительной схемы неравномерностью сопротивления линии можно пренебречь, следовательно, можно исключить из схемы уравнительные катушки.

РАБОТА ФАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ.

Напряжение раз баланса, возникающее в результате отклонения температуры объекта от установленной по шкале датчика, поступает на вход трехкаскадного усилителя напряжения собранного на лампах Л1 и Л2. Питание усилителя осуществляется от выпрямителя Л1, Л2 через фильтр.

Четвертый каскад усилителя является фазочувствительным. Он собран на второй половине лампы Л2 и питается током от отдельной обмотки П силового трансформатора Тр. В анодную цепь фазочувствительного каскада включена обмотка исполнительного реле Р, которая шунтируется конденсатором С7.

Когда фаза напряжения раз баланса совпадает с фазой напряжения питания в тот полу период, когда лампа открыта, через неё протекает ток, достаточный для срабатывания реле Р. При этом нормально открытые контакты 4, 5 реле замыкают и включается зеленая лампочка "меньше" следовательно, фазочувствительный каскад отрегулирован.

Таким образом, что лампа открывается в тот полу период, фаза которого совпадает с фазой сигнала, возникающего при температуре объекта меньшей частоты

У. МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

1. Зная, что в печах сопротивления коэффициент мощности $\cos\varphi$ исходя из чего пользуясь снятыми экспериментальными данными V, A (находим). Определить потребляемую мощность печи $P=U \cdot I$ (кВт) то $P=f(\tau)$ построить график работы печи.

2 Воспользуюсь экспериментальными данными построить график зависимости $t'c=f(\tau)$.

3 Зная τ_p и $\tau_{ц}$ определить постоянную времени печи по формуле $K_{тр}=\tau_p / \tau_{ц}$

Чувствительность регулятора температур определить по формуле $K_4=t_{откл}/t_{вкл}$

У1. ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен соответствовать ГОСТу. Отчёт должен содержать:

- а) название работы; б) цель работы; в) задание;
- г) порядок и методика выполнения работы; д) принципиальная схема лаб. работы; е) экспериментальные и расчетные формулы с результирующими данными и графики или экспериментальные характеристики,

VII. - КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Типы и разновидности эл.печей.
- 2 Область применения эл.печей сопротивления.
- 3 Режим работы и энергопотребления печи.
- 4 Термодатчики и терморегуляторы и их чувствительность
5. Применяемые материалы для теплоизоляции и нагревательные элементы.

Л И Т Е Р А Т У Р А :

1. Свенчанский А.Д - Электрические печи сопротивления, М-Л., Госэнерго 1980 г.
2. Некрасова Н.М и др. - Электрические пром. печи, М-Л., 1961г.
3. Кацевич Л.С -Расчет и конструирование электрических печей, М-Л., 1960г.
4. Электрические пром. печи для нагрева и термической обработки. Термины и определения ГОСТ 16382-70.

Лабораторная работа № 2

УСТАНОВКИ КОСВЕННОГО НАГРЕВА (ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ МУФЕЛЬНОЙ ПЕЧИ)

Цель работы: Исследование на примере электрической нагревательной муфельной печи способом косвенного нагрева, ознакомление с оборудованием управляющего процессами и определение параметров нагревательного элемента.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.

Электрический ток-это направленное движение положительных или отрицательных зарядов под воздействием поля. Проводники первого вида (металлы, проявляющие свойства сверхпроводимости) обладают электронной проводимостью, проводники второго вида (электромагниты и растворы) обладают ионной проводимостью. Среда в состоянии плазмы имеет собственную проводимость, также доля (часть) электронов и ионов зависит от давления, температуры и состава плазмы.

При протекании электрического тока через сопротивление проводников электрического нагрева теплота выделяется соответственно законам Джоуля-Ленца:

$$Q=I^2.R.T$$

Где I -ток, А
 R - сопротивление, ом
 T - время, с

Если примем в расчёте геометрические параметры нагревательного элемента, мощность выделяемая проводником определяется по формуле:

$$P=U.S/S \cdot L \quad (2)$$

U – напряжение, В
Где S – площадь поперечного сечения проводника, мм²
 L – длина проводника, м

Существует два нагрева 1) Непосредственное
2) косвенное.

1. При непосредственном нагреве теплота выделяется непосредственно телом при нагревании её протекающем в теле электрическим током.

2. При способе косвенного нагрева теплота выделяется специальными нагревательными элементами, а на него передаётся путём конвекции, теплопроводности, излучения.

Все электрические печи сопротивления (ЭПС) различаются способом размещения деталей в рабочем теле печи и механизмов. Параметры мощности печи определяются на основе характеристики нужных для

нагреваемого материала эффективности, температуры нагрева и тепловых физических характеристик.

Коэффициент полезного действия (ЭПС) приближённо равен единице. Приведённая электрическая энергия в основном превращается в тепловую энергию.

При способе косвенного нагрева (в основном в муфельных электрических печах) теплота передаётся на нагреваемое тело через стенку (керамическая стенка). В процессе нагрева для контроля температуры неэлектрические сигналы в электрические сигналы превращаются путём применения термопары.

Термопара – пара (меньших металлов, с различными коэффициентами) линейного расширения, одни концы запаяны тепловым припоем, а свободные концы находятся в открытом состоянии. Известно, в проводниках и полупроводниках наблюдается термоэлектрическая эффективность. Эти эффекты также известны как эффекты Зеебека, Пельтье и Томсона. Особенно при эффекте Зеебека при спаивании различных видов проводников в термопаре и при прохождении контактов в различных температурах на открытых концах пары появляется термоэлектрическая движущая сила. Если замкнуть эту цепь соединив последовательно амперметром, можно наблюдать

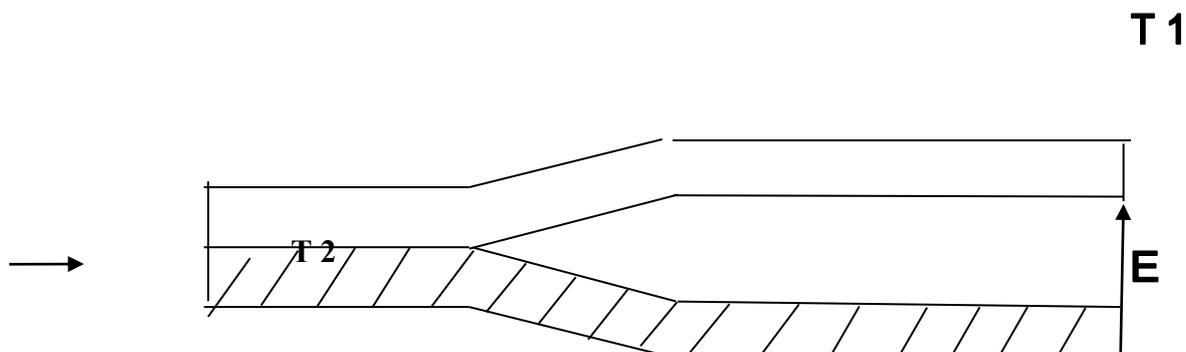
Электрический ток. Электрический ток существует в спаянных элементах всегда за счёт различных температур у каждого элемента. Термо ЭДС находится следующим образом:

$$E = e(T_1 - T_2) \quad (3)$$

Где e - Коэффициент Зеебека, $\mu\text{K} \setminus \text{K}$

T_1 T_2 - температуры горячего и холодного элементов,

На данном рисунке изображён эффект Зеебека.



Частично проанализируем состояние прехода теплоты через стенки при способе косвенного нагрева. Для плоской стенки по закону Фурье, стационарная теплопроводность определяется по следующей формуле:

$$\Phi = \lambda / \ell \cdot \Delta \tau \cdot F$$

Φ – Тепловой поток, Вт

Где λ - Теплопроводность материала стенки, Вт/мК

для керамической стенки $\lambda = 0,67$ Вт/мК.

F- Толщина стенки с протекающей в ней теплотой,

Δ -разница температур на поверхности стенки, м²

K-площадь поверхности стенки, м²

Если температура была измерена в шкале Цельсия, то через нижеуказанное выражение её можно перевести в шкалу Кельвина:

$$T = 273 + \tau$$

Теплопроводность материала стенки характеризуется коэффициентом теплопроводности. Данный коэффициент берётся из справочника. Термопара в печи изготавливается парой хромель-алюмель.

ИНСТРУКЦИЯ ПО РАБОТЕ С МУФЕЛЬНОЙ ПЕЧЬЮ

(технические сведения)

Номинальное напряжение источника 220 В, частота 50 Гц. Мощность используемая печью не превышает 2 квт. Автоматическая регулируемая максимальная температура внутри муфеля 900 С, а минимальная 400 С.

Время нагрева до температуры 900 С муфеля без находящейся в нем детали рано 1 час 45 мин. Температура, определённая

В переключателе муфеля и терморегулятора и их разница равна ± 50 С.

Габаритные (линейные) параметры печи: 611-613-589 мм.

Внутренние параметры муфеля печи: диаметр 110 мм, глубина 225 мм. Вес печи 46 кг.

УСТРОЙСТВО ПЕЧИ И ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ.

Муфель печи изготовлен в виде керамического цилиндра,

На внешнюю поверхность которого намотана нихромовая проволока.

Муфель закрывается дверью, футерованной керамикой. Дверцы две: они обеспечены балансирующими грузиками фиксирующими дверцы в верхнем и нижнем положении.

Регулирование температуры, контроль и сохранение заданной температуры в муфеле выполняется с помощью терморегулятора.

Терморегулятор связан электрически с нагревателем муфеля и термопарой контроля температуры внутри муфеля. Сзади терморегулятора установлена колодка соединения с источником. Одна пара проводов через провода

соединения печи с источником проведена на стенд для проведения лабораторных работ.

Студенты данную установку соединяют на стенде по нижеуказанной схеме.(рис.2.)

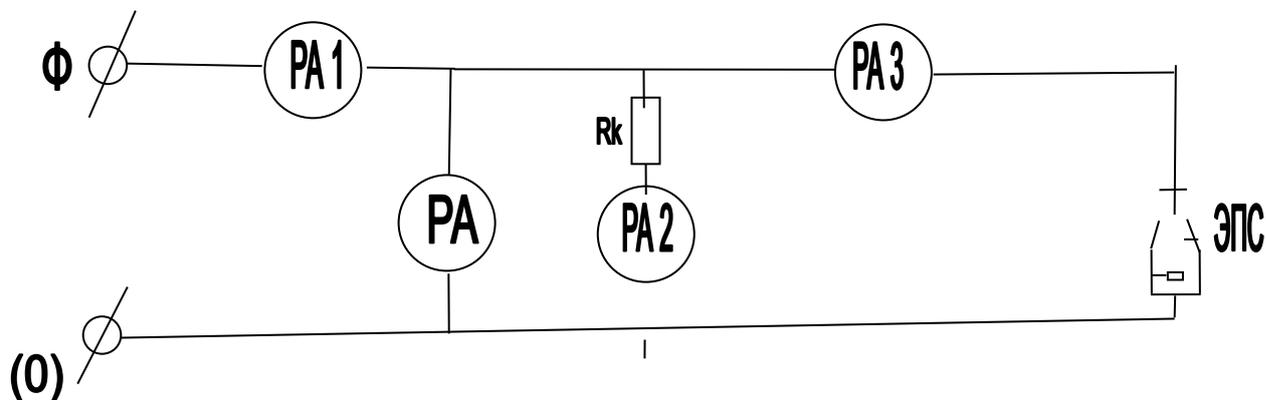


Рис.2 Принципиальная электрическая схема соединения ЭПС к источнику.

PA₁, PA₂, PA₃-амперметры

PV-вольтметр.

R_к- шунтирующее сопротивление.

ЭПС-печь

Для измерения комнатной температуры и температуры с одной стороны стенки(внутренней) при включённом состоянии муфеля используется ртутный термометр.

Результаты полученные при проведении опытов записываются в таблицу №1.

T _р	U, В	I ₁ , А	I ₂ , А	I ₃ , А	R _к , Ом	l, м	τ ₁ , °С	τ ₂ , °С

Время проведения опыта определяется преподавателем. В течении этого времени студенты записывают показания измерительных приборов, в табл. № 1. При помощи найденных величин определяются величины уравнений

(1),(2). Затем по уравнению (4) определяются тепловой поток, проходящий по стенке.

На передней стенке терморегулятора установлены:

- 1) тумблер «вкл.тумблер» для подготовки соединения нагревателя муфеля и соединений терморегулятора.
- 2) Тумблер «вкл.печь» соединения нагревателя муфеля.
- 3) Сигнальная лампа оповещения «сеть»,указывающая о соединении печи к источнику.
- 4) Сигнальная лампа оповещения «нагрев вкл.»,указывающая о соединении нагревателя муфеля.
- 5) Сигнальная лампа оповещения «нагрев отк», указывающая об отсоединении нагревателя муфеля.
- 6) Ступенчатые переключатели температуры от 0°C до 100°C ,и от 400°C до 900°C . В первом состоянии интервал 10°C ,во втором 100°C .
- 7)

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1.Объясните физические процессы происходящие в ЭПС.
- 2.Напишите закон Джоуля-Ленца и разьясните его.
- 3.Напишите уравнение мощности,выделяемой проводником и разьяснить его.
- 4.Какие вы знаете вида нагрева?
- 5.Объясните процесс косвенного нагрева?
- 6.Объяснить эффект Зеебека.
- 7.Объяснить, начертив термоэлектрический процесс.
- 8.Что такое термопара.
- 9.Объяснить уравнение закона Фурье.
- 10.Объяснить принципиальную схема соединения ЭПС к источнику.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Болотов А.В.Щепель Г.А. «Электротехнологические установки» М.Высшая школа. 1988год.
2. И.П.Евтюкова,Л.С.Кацевич,Н.М.Некрасова,А.Д.Свенчанский «Электротехнологические установки»под редакцией А.Д.Свенчанского, Энергоатомиздат 1982г.
3. И.И.Алиев «Справочник по электротехнике и электрооборудованию» М.Высшая школа. 2000 г

Лабораторная работа № 3
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ДУГОВОЙ ПЕЧИ

I. ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Целью работы является освоение экспериментально-расчетного метода построения электрических характеристик дуговой печи.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Электродуговые печи применяются в металлургической, химической, машиностроительной и ряде других отраслей промышленности. Они классифицируются на дуговые печи косвенного действия, дуговые печи прямого действия и дуговые печи сопротивления.

Дуговые печи косвенного действия, где электродуговой разряд горит между электродами, расположенными над нагреваемым материалом, и теплообмен между электрической дугой и материалом осуществляется за счет излучения. Дуговая печь косвенного действия предназначена для переплава цветных металлов и их сплавов, а также для выплавки некоторых сортов чугуна и никеля. Её основное преимущество – небольшой угар металла, т.к. электродуговой разряд не соприкасается непосредственно с переплавляемым материалом. В печах прямого нагрева дуга горит между электродами и расплавляемым металлом, который является одним из участков электрической цепи. Тепло передается от нагрева плотность потока энергии к металлу может достигать очень больших значений. Такими печами выполняются сталеплавильные вакуумные и плазменные. В печах смешанного нагрева дуга горит в газовой пол-оста внутри расплавляемой шахты, включенной последовательно или параллельно с дугой: расплав собирается в подине. В этих печах тепло выделяется как в дуге, так и в электрическом сопротивлении шахты (поэтому их называют дуговые печи сопротивления). Регулирование мощности печи производится с помощью источника питания за счет изменения тока дуги, а также её длины при сближении и удалении электродов.

Основное электрооборудование дуговых печей включает; печь с электродами и ванной, в которой горят дуги и находится перерабатываемый материал, отдельный для каждой печи понизительный трансформатор, вместе с которым часто размещены дроссели; короткую сеть» соединяющую вторичные выводы трансформатора с электродами печи; коммутационную» измерительную и защитную аппаратуру.

В дуговые электропечных установках различают главную и вспомогательные цепи тока.

Главная цепь тока включает основные электрооборудование и электрические дуги печи. К вспомогательным относятся цепи управления, измерения и защиты» автоматики и т.п.

Печные трансформаторы предназначены для питания электродуговых печей. Они имеют следующие особенности:

а) высокое значение номинального тока на стороне низкого напряжения (до десятков и сотен килоампер);

б) большой коэффициент трансформации (напряжение с 6,10, 35,110кВ трансформируется до нескольких сотен вольт)

в) число ступеней напряжения и диапазон его регулирования гораздо больше, чем у силовых трансформаторов (напряжение регулируется примерно на 500% при числе ступеней до 40 и более):

г) трансформаторы обладают высокой стойкостью против эксплуатационных коротких замыканий с краткостью тока $(2,5 \div 3)I_n$, имеют высокую механическую прочность.

Наиболее полную картину изменения энергетических параметров дуговой печи с изменением режима работы печи можно получить при рассмотрении рабочих и электрических характеристик.

Рабочими энергетическими характеристиками печи принято считать зависимость от тока полной активной мощности установки P ; мощности дуги P_d , электрических потерь P ; тепловых потерь P_T ; электрического КПД; коэффициента мощности $\cos \varphi$; расхода электроэнергии на плавку; производительности сети g ; продолжительности плавки τ .

Короткой сетью называют токопровод от выводов вторичной стороны трансформаторов до электродов дуговой печи. По короткой сети идут очень большие токи, поэтому токопроводы короткой сети имеют большое сечение и выполнены в виде пакетов медной ленты, медных шин или водоохлаждаемых труб.

Дроссель или реактор, служит для ограничения бросков тока при эксплуатационных коротких замыканиях и стабилизации горения дуг за счет создания падающей характеристики цепи питания.

В печных дуговых установках необходимы защиты от токов перегрузки и аварийного к.з. Защиту от перегрузки обычно обеспечивают на стороне низшего напряжения с помощью максимальных реле с зависимой выдержкой времени. Защита от 1 токов аварийного к.з. осуществляется с помощью максимальных реле мгновенного действия на стороне высшего напряжения.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Учебно-лабораторный стенд представляет собой макет электрической части дуговой печи.

Обмотка высшего напряжения трансформатора Т (схема рис.1) подключена к шинам, напряжение на которых имеет и может устанавливаться в пределах от 0 до 250В с помощью лабораторного автотрансформатора ЛАТР.

В свою очередь ЛАТР подключается к трехфазной сети через автоматический выключатель А, который выполняет функции коммутирующего аппарата и аппарата защиты. Ток отсечки автомата - 17,5А.

К обмоткам низшего напряжения трансформатора Т последовательно подключены сопротивления реактор Х и электрическая дуга. Электрическая дуга возбуждается графитовыми электродами 15мм внутри вода охлаждаемо и камеры ДК. Расстояние между электродами можно плавно изменять в процессе эксперимента, и тем самым устанавливать необходимый ток в фазе. Привод механизма перемещения электродов ручной. Ручка управления механизмом перемещения электрода выведена на лицевую панель. Измерительные приборы (амперметр А, вольтметры V_{19} V_{29} ваттметры) лабораторного типа размещены на стенде. Схема включения приборов собирается студентами в соответствии с рис.1.

Подключение приборов осуществляется к клемма, расположенным на специальных панелях, находящихся на вертикальной стойке стенда. К панели с индексом ВН присоединяется прибор для замеров со стороны сети, со стороны НН подключается прибор для замеров параметров дуг. Измерительные трансформаторы

тока ТТ имеют коэффициенты трансформации 50/5 .

4 Задание.

1.Провести опыты короткого замыкания (н.э.) и холостого хода (х.х.)

2.Экспериментально снять занятости активной мощности

и коэффициента мощности от тока $P_1=f(I_d)$: $\cos\varphi=f(I_d)$

3.По данным опыта к.з. и х.х. вычислить параметры эквивалентной схемы замещения $U_d=U$: X_k, R_k, X_o, R_o .

4.Построить круговую диаграмму.

5.С помощью круговой диаграммы построить электрические характеристики дуговой печи графики зависимостей: активной мощности -Р; коэффициента мощности; мощности дуг P_d напряжения на дуге U_d ;коэффициента полезного действия η ; от тока в электроде I_d .

Сравнить характеристики, полученные согласно п.2 и п.5

5. ПОРЯДОК И МЕТОДИКА. ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1.Внимательно познакомиться с электрооборудованием и схемой включения стенда.

2.Собрать схему измерений

3.Перед началом измерений определить цену деления приборов, учтя цену деления собственного прибора и коэффициента трансформации измерительных трансформаторов.

Где ток и напряжение, соответствующие отклонению стрелки прибора на всю шкалу; число делений шкалы; коэффициент трансформации трансформатора тока •

4. Измерения удобно проводить в следующем порядке:

в первую очередь провести замеры при 3-4 различных промежуточных значениях тока; затем опыт короткого замыкания и в заключении опыт Х.Х.

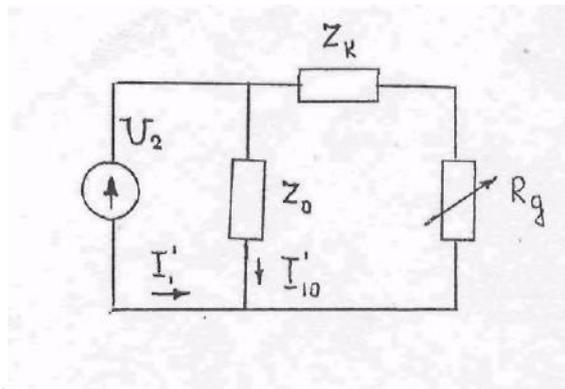
При измерениях особое внимание следует обращать на одновременность снятия показаний по всем приборам. В журнал наблюдений следует заносить показания приборов в именованных числах, четко указывая цену деления при каждом замере.

5. Графики характеристик дуговой печи, полученные непосредственно по эксперименту и рассчитанные с помощью круговой диаграммы поместить на одном чертеже и в одном и том же масштабе для всех значений тока х.х. до короткого замыкания. Расчет параметров схемы замещения

$$K = \frac{U_2}{U_{10}}, \quad U_2 = U_1 * K$$

$$Z_0 = (U_{10} / I_{10}) * K^2, \quad Z_0 = (U_{1K} / I_{1K}) * K^2,$$

$$R_0 = (P_0 / I_{10}^2) * K^2, \quad R_k = \frac{P_{k-}}{I_{1k}}$$



При построении схемы замещения принимаем следующие условия:

1. $X_K = \text{const}$ и $R_K = \text{const}$ не зависят от тока
2. $U_2 = U_{10} \cdot K = \text{const}$
3. i_2, U_g синусоидальны
4. Активные и индуктивные сопротивления фаз соответственно равны: $R_A = R_B = R_C = R_K$, $X_A = X_B = X_C = X_K$.
5. Токи фаз одинаковые (симметричный режим)
 $I_A = I_B = I_C = I_K$.

Построение круговой диаграммы для вышеприведенной схемы замещения печи проводится в следующем порядке:

1. Определяем величину тока теоретического к.з. (полагаем $R_K + R_g = 0$)
 $I_{т.к} = U_2 / X_K$
2. Выбираем масштаб тока M_I

3. Откладываем по оси абсцисс отрезок ОД, равный в избранном масштабе

току теоретического к, з,

$$ОД = I_{Т.К} / M_I = U_2 / X_K \cdot M_I$$

4. Проводим в верхней полуплоскости половину окружности ОАД диаметром ОД.

5. Из точки 0 проводим хорду ОК под углом $\varphi_K = \arctg \frac{X_K}{R_K}$ к оси ординат

При точке 0 строим вектор, по величине и фазе равный току х. х, в принятом масштабе токов. Модуль его ОР = I_{10} / M_I , угол между ОР и осью ординат равен $\varphi_O = \arctg(X_O / R_O)$

7. Из точки Р проводим прямые РЛ//ОД и РН \perp РЛ

8. Проводим половину окружности \cap НЗР диаметром НР=1 и делим отрезок НР на 100 равных частей.

9. Продолжаем хорду ОК влево вниз.

10. Через точку Е на пересечении прямых ОК и РЛ проводим прямую.

11. Перпендикулярно линии ЕТ проводим прямую СТ и делим ее на 100 равных частей.

Построение электрических характеристик с помощью круговой диаграммы

1. Масштаб тока $M_I = I_{Т.К} / ОД = U_2 / X_K \cdot ОД$

нас

2. Масштаб мощности $M_P = M_I$

3. Задаемся током дуги. С помощью циркуля отмечаем на окружности ОКД точку А, отрезок ОА в выбранном масштабе равен току дуги ОА. $M_I = 1$

4. Активная мощность одной фазы печи

$$P_A = A\Gamma \cdot M_P = I^2 (R_K + R_g) + P_{10}$$

5. Кажущаяся мощность $P_{КАЖ} = P_A \cdot M_P$

6. Мощность дуги (одной фазы) $P_g = AB \cdot M_P$

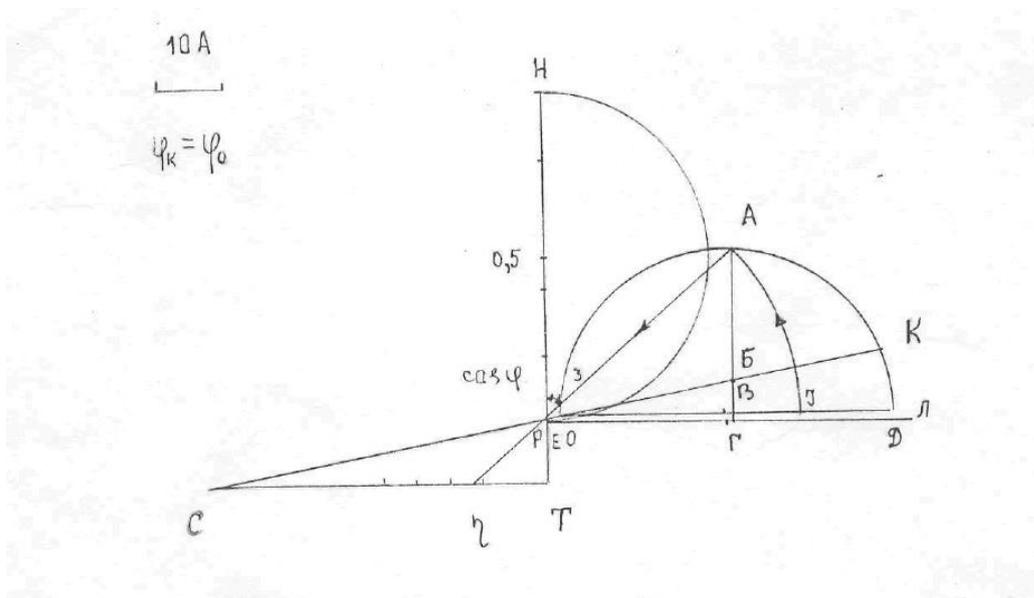
7. Коэффициент мощности печи

$$\cos \varphi_I = P_a / P_{КАЖ} = A\Gamma / P_A$$

8. Электрический коэффициент полезного действия

$$\eta = P_g / P_a = AB / A\Gamma$$

9. Задаваясь различным значением I, по точкам строим все интересующие нас характеристики печи.



$$P_a = A\Gamma \cdot M_p$$

$$M_p = U_2 \cdot M_I$$

$$P_{каж} = PA \cdot M_p$$

$$P_g = AB \cdot M_p$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{A\Gamma}{PA}$$

$$\eta = \frac{AB}{A\Gamma}$$

6. ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА

Отчет по работе должен содержать:

1. Принципиальную схему включения измерительных приборов
2. Расчет цены деления приборов.
3. Журнал наблюдения
4. Эквивалентную схему замещения с указанием численных значений выбранных параметров.
5. Круговую диаграмму.
6. График рабочих характеристик, полученных расчетным и экспериментальным путем.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Какой режим в дуговой печи считается нормальным эксплуатационным явлением?
2. Для чего проводится опыт х.х?
3. Какая кратность тока допускается в дуговой печи?
5. Для чего снимают электрические и рабочие характеристики печи?
6. Для чего строится круговая диаграмма?

ЛИТЕРАТУРА

1. Электротехнические пром.установки - под. ред. Свенчанского А.Д (авторы И.П.Евтюкова, Л.С.Кацевич, Н.М.Некрасова, А.Д. Свенчанский) Учебник для ВУЗов -М.; Энергоиздат, 1982,400с.
2. Фомичев Е.П.Электротехнологические промышленные установки /учебник для вузов. Киев :Вища школа, 1979. 262с.
3. Болотов А.В., Шепель Г.А. Электротехнологические установки /Учебник для вузов – М:Высшая школа 1988,336с.
4. Электрические промышленные печи. 4.П Дуговые печи. и установки специального нагрева /Под ред. Свенчанского – М: Энергоиздат, 1981, 296с.

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ И ХАРАКТЕРИСТИК ДУГИ СВАРОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с конструкцией, режимом работы, эксплуатационными характеристиками и энергетическими показателями сварочного трансформатора ТСБ-90 УХЛЧ

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Электрическая дуговая сварка представляет собой процесс образования неразъемного соединения в результате местного нагрева до пластического или жидкого состояния металлических деталей протекающим по ним электрическим током, с последующим охлаждением зоны сварки за счет теплопроводности в тело свариваемых деталей.

Электросварка получила широкое распространение в производстве неразъемных соединений металлических деталей, высокую производительность, значительную экономию металла и рабочей силы, уменьшение производственных затрат.

Для электросварки используют как постоянный, так и переменный ток.

Источниками питания сварочной дуги переменного тока являются сварочные трансформаторы, которые подразделяют на одно- и многопостовые. Источники питания постоянного тока подразделяют на две основные группы: сварочные преобразователи и сварочные выпрямители.

Широкое распространение в современной сварочной технике, из-за энергетических и эксплуатационных преимуществ, получили источники переменного тока - сварочные трансформаторы.

Для однопостовой сварки применяются однофазные, сварочные трансформаторы небольшой мощности (1,0+20 кВА), достаточной для питания одного поста.

Многопостовые источники сварочного тока характеризуются значительной мощностью, достаточной для питания нескольких сварочных постов.

К однопостовым сварочным трансформаторам предъявляются следующие специфические требования, обусловленные характером процессов, протекающих при дуговой сварке:

1. Напряжение х.х. должно быть достаточным для легкого зажигания дуги, но не превышать пределов безопасных для сварщика $U_3=50\div 60В$.
2. Ток короткого замыкания в сварочной цепи должен незначительно превышать величину рабочего тока (120-140%), При большой кратности тока к.з. источник сварочного тока

испытывает чрезмерные перегрузки, а качество сварки ухудшается из-за разбрызгивания жидкого металла.

3. Источник сварочного тока должен позволять рекупировать сварочный ток. В связи с этим, сварочный трансформатор должен иметь падающие внешние характеристики

$$U_g = \phi(I_2).$$

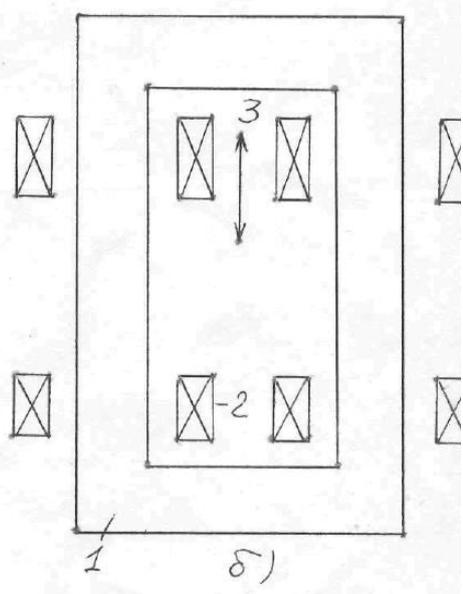
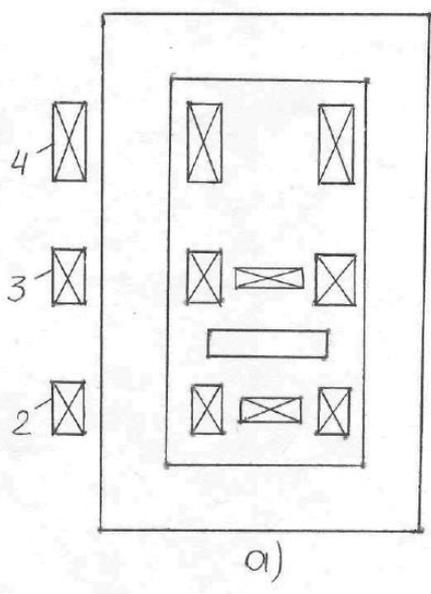
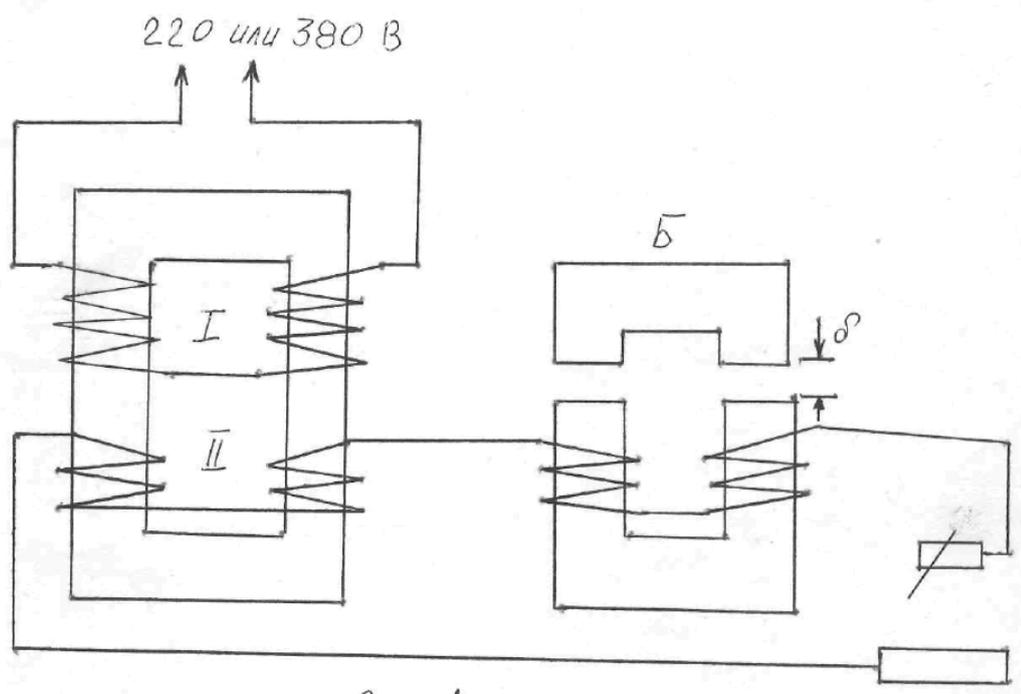
Основными технологическими показателями источников питания сварочной дуги являются кроме внешней характеристики и напряжения х.х. относительная продолжительность работы (ПР) и относительная продолжительность включения (ПВ) в прерывистом режиме.

Критерием оценки динамических свойств источника питания служит скорость нарастания напряжения на его зажимах при переходе от режима к.з. к режиму х.х. Особенно важно время нарастания напряжения от нуля до значения, достаточного для возбуждения дуги, и время во становления напряжения. По ГОСТу оно не должно превышать 0,03сек.

Источники питания переменного тока в зависимости от способа получения падающих внешних характеристик и регулирования тока подразделяются на два типа: а) трансформаторы с нормальными магнитными рассеянием; выполненные в виде двух отдельных аппаратов (трансформатор и дроссель) и б) трансформаторы с развитым магнитным рассеянием (с подвижными катушками, с магнитными шунтами, с винтовым ступенчатым регулятором}.

Трансформаторы с отдельным дроссельным регулятором сопротивление которого может изменяться в широких пределах, состоит из сердечника с двумя обмотками: первичной и вторичной, создающей напряжение холостого тока 60-65В. Первичную обмотку подключают к сети переменного тока напряжением 220 или 380В.

Регулятор тока - дроссель состоит из магнитопровода (ярма) и обмотки, расположенной на неподвижной части магнитопровода (якоре). Между ярмом и якорем имеется воздушный зазор δ , изменяя который с помощью регулирующего винта осуществляется плавное регулирование сварочного тока.



К преимуществам трансформаторов этой системы следует отнести компактность, меньший расход меди и трансформаторной стали; при регулировании тока с большого значения на минимальный 0,2 на напряжении х.х. несколько увеличивается, его повышает устойчивость горения дуги.

Трансформаторы с повышенным магнитным рассеянием получили наиболее широкое распространение при ручной дуговой сварке, где регулирование сварочного тока осуществляется изменением расстояния между первичной и вторичной обмотками или подвижным магнитным, шунтом. Это изменяет сопротивление потока рассеяния и индуктивность трансформатора. Чем больше сопротивление шунтирующей цепи, тем меньше индуктивность рассеяния и больше сварочный ток. Трансформаторы с подвижными обмотками типа ТД, ТК, ТС, ГТР имеют значительное расстояние между обмотками, в следствии чего часть магнитного потока не охватывает вторичную обмотку. Сближение и удаление обмоток обеспечивает регулирование тока. Для расширения диапазона регулирования первичную обмотку выполняют из двух частей, соединенных последовательно или параллельно.

II. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ.

Сварочный трансформатор бытовой ТСБ-901 типа

УЗ имеет следующие технические данные:

нормальное напряжение питающей сети, В	220В
чистота питающей сети, Гц	50
ток х.х., А, не более	I
напряжение х.х.при номинальном напряжении сети, В не более	42
Номинальный сварочный ток, А	90
Номинальный токе, потребляемый из сети, А	16
Мощность потребляемая трансформатором при номинальной нагрузке, кВа	3,5
масса, кг	30
средний срок службы, лет	5

Принцип действия трансформатора в режиме аварии основан на свойстве последовательного LC контура, при котором результирующее сопротивление переменному току меньше, чем сопротивление его составных частей. За счет этого при нагрузке на элементах контура и, а частности - на первичной обмотке возникают напряжения, значительно превышающий напряжение сети. Это

обеспечивает надежное возбуждение и горение сварочной дуги при напряжениях х.х. не более 42 В.

Принципиальная электрическая схема трансформатора приведена на рис.3

Сварочный трансформатор состоит из бес шпилечного магнитопровода стержневого типа, первичной и вторичной обмоток. Первичная обмотка имеет отводы для обеспечения ступенчатого регулирования сварочного тока. Вторичная - для получения и снятия сварочного тока при осуществлении сварочных работ.

Первичная обмотка трансформатора Т1 в сочетании с конденсаторами G1 образует последовательный контур с собственной частотой, близкой к частоте питающей сети. В зависимости от необходимой величины сварочного тока конденсатор С1 переключается при помощи переключателя S_2 к соответствующему отводу первичной обмотки.

В начальный момент сварки (зажигание дуги) контакты реле К размыкаются, а при обрыве дуги (прекращение сварки) контакты замыкаются.

Для защиты радиопомех предусмотрены конденсаторы С2, С3, С4. Включение трансформатора в сеть сигнализирует индикатор .

Для снятия экспериментальных зависимостей необходимо располагать переключатель сварочной установки на соответствующий режим, т.е. для при О снятия режима холостого хода измеряется амперметром А1 и вольтметром V1, ваттметром Wh. Нагрузкой для вторичной цепи сварочного трансформатора являются активные сопротивление, набранные на чугунных элементах из спирали и хромовых проволок. Величина сопротивления изменяется в широких пределах путем шунтирования секций пакетным выключателем ПВ1÷6.

Величина вторичного тока измеряется амперметром А2 и вольтметром V_2 .

III. ЗАДАНИЕ

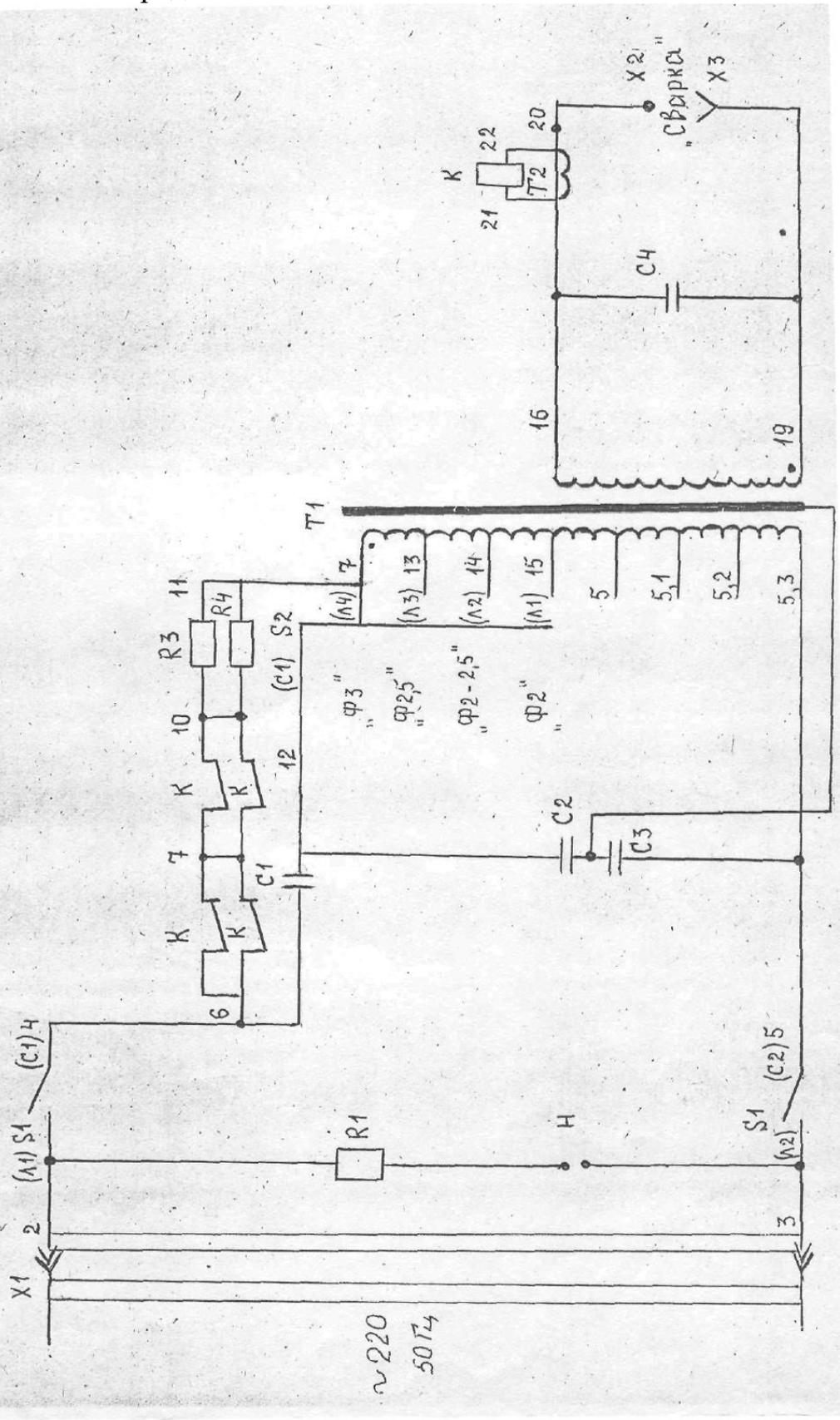
1. Изучить конструкцию сварочного трансформатора ТСБ-901 УЗ.

2. Начертить схему лабораторной установки,

3. Согласно начерченной схеме собрать схему на лабораторной установке,

4. Экспериментально определить и отметить показания

Рис.3 Схема электрическая принципиальная трансформатора типа ТСБ901У3



измерительных приборов, при х.х. U_1 , I_1 , W_h , а при рабочем режиме во всех ступенях снять показания U_1 , U_2 , I_1 , I_2 , W_h отдельно при каждом шунтировании нагрузочных сопротивлений от ПВ1-ПВ6.

1У. ПОРЯДОК И МЕТОДИКА. ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ.

Включить вводной выключатель В1, при этом на лабораторную установку будет подано напряжение, о чем указывает сигнальная лампа Л1. Подключение первичной обмотки сварочного трансформатора к сети осуществляется выключателем СТ. Снятие экспериментальных зависимостей начинается с х.х. трансформатора (все пакетные выключатели ПВ1÷ПВ7 отключены). Замыкал последовательно, ПВ1÷ПВ6 снимаются точки требуемых зависимостей.

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Получение значения вторичного тока I пересчитать с учетом коэффициента трансформации трансформатора тока.

Определить КПД и коэффициент мощности по формулам:

$$\eta = P_2 / P_1 : \cos \varphi = P / S : S = U_1 * I_1$$

	U_1 В	I_1 А	U_2 В	I_2 А	P_1 кВт	P_2 кВт	cos	η
30								
	1							
	1.							
	2.							
	3.							
	4.							
40	5.							
	1							
	2							
	3							
	4							
	5							
50	6							
	1							
	2							
	3							
	4							

	5							
	6							

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- 1.Что такое электрическая дуговая сварка?
- 2.Какой ток используется для электросварки?
- 3.Объясните принцип действия сварочного трансформатора?
- 4.Из чего состоит дроссель?
- 5.Что предусмотрено для защиты от радиопомех.
6. Рассказать о порядке и методике выполнения лабораторных работ?

ЛИТЕРАТУРА.

- 1.Сергеев Н.П. «Справочник сварщика» Высшая школа 1988 год.
2. Смирнов Е.Е. Смородинов В.В. г. Санкт-Петербург «Тепловые процессы в металле при сварке»1999 год.[http://:www.graduale.nm.ru/artrels](http://www.graduale.nm.ru/artrels).
- 3.Волков Ю.С. Лившиц А.Л. Введение в теорию формообразования электрофизикохимическими методами.

Лабораторная работа № 5 **ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА.**

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Ознакомиться с конструкцией и техническими данными сварочного трансформатора СТЭ-34 и энергетическими показателями его работы.

ПРОГРАММА РАБОТЫ:

1. Ознакомиться с конструкцией и записать паспортные данные сварочного трансформатора.
2. Изучить схему экспериментальной установки.
3. Включить установку и снять экспериментальные зависимости при различных положениях дросселя.
4. Рассчитать и построить для различных положений дроссельной катушки.
5. Проанализировать энергетические показатели работы сварочного трансформатора в различных режимах.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА:

1. Программа работы.
2. Паспортные данные сварочного трансформатора.
3. Схема лабораторной установки.
4. Таблицы экспериментальных и расчетных данных.
5. Зависимости на миллиметровой бумаге.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ:

Электрической сваркой называется один из способов неразъемного соединения металлических частей, при котором такое соединение достигается путем их местного нагрева до пластического или жидкого состояния за счет превращения подводимой электрической энергии в тепловую.

Электросварка получила широкое распространение в производстве различных металлических конструкций, она обеспечивает большую прочность неразъемных соединений металлических деталей, высокую производительность, значительную экономию металла и рабочей силы, удешевление производства.

Для электросварки используют как постоянный, так и переменный ток. Широкое распространение в современной сварочной технике вследствие энергетических и эксплуатационных преимуществ получили источники переменного тока – сварочные трансформаторы.

Сварочные трансформаторы подразделяются на однопостовые и на многопостовые. Для однопостовой сварки применяются однофазные сварочные трансформаторы небольшой мощности (10-30 кВА), достаточной для питания одного поста.

Многопостовые источники сварочного тока характеризуются значительной мощностью, достаточной для питания нескольких сварочных постов.

Однопостовым сварочным трансформаторам предъявляются следующие специфические требования, обусловленные характером процессов при дуговой сварке:

1. Напряжение холостого хода должно быть достаточным для легкого зажигания дуги, но не превышать пределов безопасных для сварщика – 50-60 Вольт.
2. Ток короткого замыкания в сварочной цепи должен незначительно превышать величину рабочего тока (120-140%). При большой кратности тока короткого замыкания источник сварочного тока испытывает чрезмерные перегрузки, а качество сварки ухудшается из-за разбрызгивания жидкого металла.

3. Источник сварочного тока должен позволять регулировать сварочный ток. В связи с этим сварочный трансформатор должен иметь характеристики.

Сварочные трансформаторы имеют крутопадающую внешнюю характеристику и позволяют регулировать сварочный ток в широких пределах. Эти трансформаторы обладают повышенным индуктивным сопротивлением, чем обеспечивается не только необходимое ограничение тока короткого замыкания, но и устойчивость горения дуги. Дело в том, что зажигание и горение дуги переменного тока облегчается при значительном сдвиге фаз между напряжением и током. Если угол сдвига фаз будет наибольшим, то в момент перехода тока через нулевое значение напряжение на дуге будет недостаточным для ее повторного зажигания. Увеличить это напряжение до такой величины, чтобы при переходе тока через нуль, дуга возникла вновь без перерыва, можно при индуктивности сварочной цепи.

В качестве однопостовых сварочных трансформаторов применяются:

1. Трансформаторы с увеличенным магнитным рассеянием: увеличение индуктивного сопротивления обмоток достигается путем помещения первичной и вторичной обмоток либо на разных стержнях сердечника трансформатора, либо на одном стержне, но с некоторым расстоянием между ними.

Регулирование величины сварочного тока в таких трансформаторах производится либо изменением коэффициента трансформации, путем секционирования первичной или вторичной обмоток, либо изменением расстояний между первичной и вторичной обмотками, для чего одна обмотка выполняется подвижной.

Промышленностью выпускаются сварочные трансформаторы такого типа: ТС; ТСК; ТСП-1; ТСП-300; ТСП-500.

2. Трансформаторы с отдельной реактивной катушкой, которая включается последовательно в сварочную цепь и с помощью которой достигается крутопадающая внешняя характеристика, а также регулирование сварочного тока.

Промышленностью выпускаются сварочные трансформаторы такого типа СТЗ-24, СТ-34. Регулирование сварочного тока в них производится изменением индуктивного сопротивления. Другим путем увеличения или уменьшения воздушного зазора в его магнитопроводе.

Технические данные сварочного трансформатора типа СТ-34. (являющееся объектом исследования в лабораторной установке).

Первичные напряжения	=220 В
Вторичные напряжения	=60 В
Номинальное рабочее напряжение	=30 В
Сварочный ток регулируется плавно в пределах от 150 до 700 А.	
Номинальный сварочный ток	=500 А
Номинальное значение полезной мощности на зажимах вторичной цепи	=15 кВт
При этом потребляемая мощность равна	=33.5кВА

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ:

Для снятия экспериментальных зависимостей необходимо располагать установкой для создания нагрузки во вторичной цепи. Нагрузкой для вторичной цепи сварочного трансформатора являются активные сопротивления, набранные на чугунных элементах. Величина сопротивления изменяется в широких пределах путем шунтирования секций пакетными выключателями ПВИ-8.

Величина вторичного тока измеряется амперметром А2, включенным на зажимах трансформаторов тока 300/5 и 600/5, переключаемых с помощью пакетного переключателя ПП, в одном случае вся шкала А2 будет 300 А, а в другом случае – 600 А.

ПОРЯДОК РАБОТЫ:

Включить автоматический воздушный выключатель АВ, при этом на лабораторную установку будет подано напряжение. Подключение первичной обмотки сварочного трансформатора к сети осуществляется линейным контактором КЛ.

Снятие экспериментальных зависимостей начинается с холостого хода трансформатора (все пакетные выключатели ПВИ – ПВВ отключены).

Далее, замыкая последовательно ПВИ – ПВВ снимаются точки требуемых зависимостей.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

- 1.Что такое электрическая дуговая сварка?
- 2.Какой ток используется для электросварки?
- 3.Объясните принцип действия сварочного трансформатора?
- 4.Из чего состоит дроссель?
- 5.Что предусмотрено для защиты от радиопомех.
6. Рассказать о порядке и методике выполнения лабораторных работ?
- 7.Какие виды сварочных трансформаторов вы знаете?
8. Опишите технические данные сварочного трансформатора СТ-34.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Сергеев Н.П. «Справочник сварщика» Высшая школа 1988 год.
2. Смирнов Е.Е. Смородинов В.В. г. Санкт-Петербург «Тепловые процессы в металле при сварке» 1999 год.
<http://www.graduale.nm.ru/articles>.
3. Волков Ю.С. Лившиц А.Л. Введение в теорию формообразования электрофизикохимическими методами.

**Образец оформления титульного листа отчёта по лабораторной
работе**

Министерство Высшего и среднего специального образования
Республики Узбекистан

Каршинский инженерно-экономический институт

Кафедра « Электроэнергетики»

Лабораторная работа №

Установки косвенного нагрева.
(Исследование работы электрической нагревательной
муфельной печи)

Выполнил

Студент гр.ЭЭ-43

Валиев Ф.

Проверил

доц. Краснов.И.М.

Карши 2006 г

СОДЕРЖАНИЕ

- 1. Лабораторная работа № 1.**
Исследование режима работы камерной печи сопротивления-----.
- 2. Лабораторная работа № 2**
Установки косвенного нагрева (исследование
работы электрической нагревательной муфельной печи) -----
- 3. Лабораторная работа № 3**
Исследование электрических характеристик дуговой печи-----
- 4. Лабораторная работа № 4**
исследование режима работы и характеристик дуги сварочного
трансформатора -----
- 5. Лабораторная работа № 5**
Исследование сварочного трансформатора.-----