МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра электроэнергетики и электротехники

УТВЕРЖДАЮ
Проректор
_____ Т.Ю. Ткачева
«_2_» _11_ 2026 г.

ПРИЕМНИКИ И ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Приемники и потребители электрической энергии систем электроснабжения» для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Курск 2026

2

УДК 621.3.031

Составитель Н.М. Гайдаш

Рецензент
Кандидат технических наук, доцент *Н.И.Иванов*

Приемники и потребители электрической энергии систем электроснабжения: методические указания к выполнению лабораторных работ / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. Н.М. Гайдаш. Курск, 2026. 43 с.: ил. 14, табл. 9. - Библиогр.: с. 43.

Излагаются методические рекомендации по выполнению лабораторных работ по курсу «Приемники и потребители электрической энергии систем электроснабжения». Указываются порядок выполнения работ и составления отчета.

Методические указания соответствуют требованиям ФГОС ВО по направлению подготовки «Электроэнергетика и электротехника».

Предназначены для студентов направления подготовки «Электроэнергетика и электротехника» очной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 2.11.26. Формат 60х84 1/16.
Усл. печ. л. 2,5. Уч.- изд. л. 2,3. Тираж 100 экз. Заказ 737. Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ, РЕЖИМА РАБОТЫ И ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: ознакомить студентов с конструкциями, режимами работы и характеристиками электрических печей сопротивления (ЭПС) с точки зрения влияния на систему электроснабжения предприятия.

ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Электрическая печь сопротивления СНЗ – 4.6.2,5/10, СШОЛ – 1,6. 2/12

Термометр контактный цифровой ТК-1М

Клещи измерительные Ц-4501

Линейка 0-1000 мм

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ О САДОЧНЫХ ОБЩЕПРОМЫШЛЕННЫХ ПЕЧАХ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Несущим элементом конструкций печей является металлический кожух без внешнего охлаждения, выполняемый из листовой и профильной стали и создающий опору для установки обрабатываемой в печном пространстве загрузки. В кожухе монтируется футеровка и различные механизмы (для закрывающих загрузочных проемов).

Футеровка печей должна обеспечивать минимальный уровень тепловых потерь, длительную работоспособность, достаточную механическую прочность для крепления на ней нагревателей. Она выполняется из нескольких материалов, образующих огнеупорный слой, обращенный к горячей зоне и теплоизоляционный внешний слой.

Нагреватели выполняют спиральными из проволоки Ø 4-5 мм и зигзагообразные из проволоки Ø 6-9 мм. В печах на температуру 1500ºС – нагреватели из дисилицида молибдена.

Рабочим пространством печей называют часть пространства печной камеры, в которой при заполнении ее обрабатываемыми изделиями и технологическими приспособлениями обеспечивается

заданная равномерность распределения температуры по изделиям. Рабочее пространство камерных электропечей, печей с выкатным подом, прямоугольных колпаковых определяется шириной, длиной и высотой; в печах цилиндрической формы – диаметром и высотой.

Номинальная температура – расчетное значение температуры печи, исходя из которого установлены конструктивные параметры и определены характеристики печи.

Электроснабжение цехов и участков с печами сопротивления определяется числом и мощностью отдельных ЭПС, их назначением и местом установки в цехе.

При суммарной мощности электропечной нагрузки до нескольких сотен киловатт печи подключают к общецеховым сетям напряжением 0,4 кВ. Для питания используются как радиальные, так и магистральные схемы. Для повышения надежности электроснабжения возможно применение двух- и трехстороннего питания токопроводов, кольцевание их, использование резервных перемычек.

Электрические аппараты силовых цепей и измерительные приборы располагают на раздельных щитах, чтобы вибрация и удары при работе силовых аппаратов не сказывались на работе приборов.

При мощности 100 кВт и выше на ЭПС устанавливают счетчики активной электроэнергии (по одному на печь).

В целях обеспечения безопасности обслуживания на печах сопротивления косвенного действия при напряжении нагревателя выше 42 В в случае ручной загрузки предусмотрена блокировка, при которой открывание загрузочных проемов возможно лишь при выключенной печи.

Тепловой расчет печи сопротивления периодического действия

Количество энергии, потребляемой из сети, и установленная мощность печи зависят от температурного режима обработки, заданного техпроцессом, т.е. от цикла работы печи.

На рис. 1 представлены наиболее широко применяемые циклы термической обработки металлов и неметаллических материалов.

На рис. 1а показан цикл, предусматривающий только достижение нагреваемым телом заданной конечной температуры.

Такой режим характерен для нагрева без выдержки времени для выравнивания температуры тонкостенных изделий из черных металлов или материалов с высоким коэффициентом теплопроводности (алюминия и его сплавов, меди). Наиболее часто этот цикл встречается в печах для нагрева заготовок под горячую деформацию цветных металлов или для закалки тонкостенных изделий.

На рис. 1б показан наиболее распространенный цикл работы печи, включающий выдержку изделий при определенной температуре. Назначение этой выдержки – выравнивание температуры по сечению изделия и обеспечение необходимых превращений в его материале. Этот цикл применяется для процессов закалки, отпуска, нормализации и термохимической обработки металлов.

Цикл, показанный на рис.1в имеет место в печах для отжига металлов, керамики, спекания металлокерамических изделий, получения монокристаллов, когда по технологии процесса требуются медленное охлаждение и выдача изделий из печи после охлаждения при определенной температуре. Печи периодического действия при таком цикле работы имеют низкие экономические показатели. В каждом цикле за период охлаждения печь теряет большое количество теплоты, аккумулированной кладкой в период нагрева и выдержки. Вследствие этого КПД печи низок, а удельный расход электроэнергии велик. Такой цикл используют только для термообработки дорогих материалов (монокристаллов, металлокерамики, тугоплавких металлов).

В печах непрерывного действия охлаждение изделий осуществляется вне печи в специальной камере охлаждения, при этом КПД печи и расход электроэнергии не зависят от времени охлаждения.

В общем случае для цикла работы садочной печи с охлаждением (рис. 1в) расход теплоты за цикл составляет:

$$Q_Ц = Q_{ПОЛ} + Q_{ВСП} + \Sigma Q_{ПОТ} \qquad (1)$$

где $Q_{ПОЛ}$ – количество теплоты, необходимое для нагрева загрузки до заданной конечной температуры, Дж;

$Q_{ВСП}$ – количество теплоты, необходимое для нагрева вспомогательных устройств, входящих вместе с загрузкой в печь (корзин, поддонов, подвесок) и газа, Дж;

$\Sigma Q_{ПОТ}$ – суммарные тепловые потери печи за цикл, Дж.

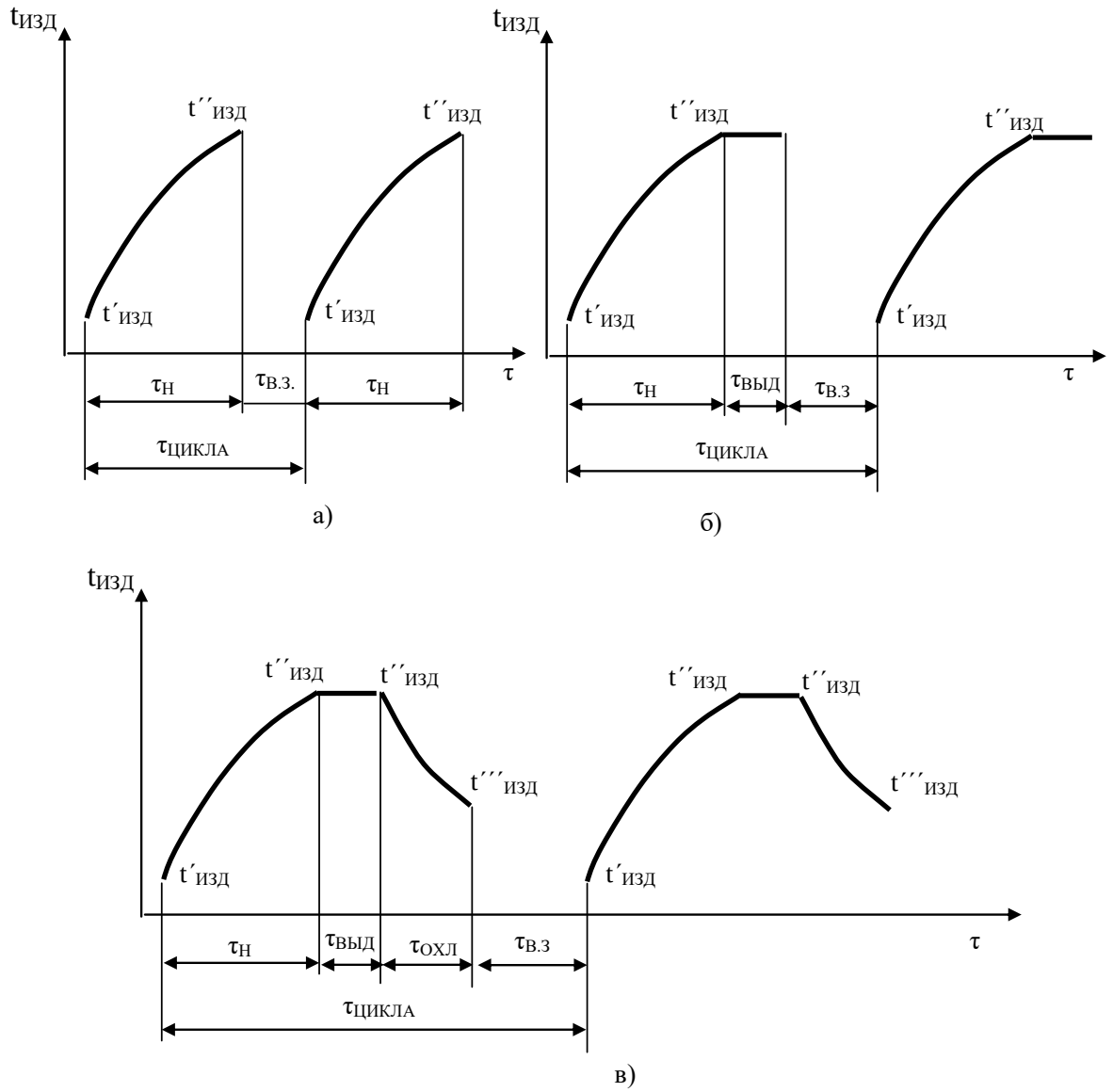


Рисунок 1. Циклы работы печей а) – нагрев без выдержки; б) – нагрев с выдержкой; в) – нагрев с выдержкой и последующим охлаждением

Полезная теплота $Q_{ПОЛ}$, Дж, на нагрев изделий определяется по формуле:

$$Q_{ПОЛ} = c_{ИЗД}\, G_{ИЗД}\, (t''_{ИЗД} - t'_{ИЗД}) = G_{ИЗД}\, (W''_{ИЗД} - W'_{ИЗД}) \qquad (2)$$

где $c_{ИЗД}$ – средняя удельная теплоемкость материала загрузки, Дж/(кг· ˚С)

$G_{ИЗД}$ – масса загрузки, кг;

$t''_{ИЗД}$, $t'_{ИЗД}$ – конечная и начальная температуры изделий, ˚С.

$W''_{изд}$,$W'_{изд}$ – теплосодержание изделий в нагретом и начальном состоянии (см. табл. П2-3 в А.Д. Свенчанский. Электрические промышленные печи. М.: 1975)

Количество теплоты $Q_{ВСП}$, Дж, потребное для нагрева вспомогательных загрузочных приспособлений и газа (защитного или специального), подаваемого в печь от газогенераторных установок или от газовой сети определяется по формуле:

$$Q_{ВСП} = Q_Ж + Q_Г = c_Ж\ G_Ж\ (t''_Ж – t'_Ж) + c_Г\ G_Г\ (t''_Г – t'_Г) \qquad (3)$$

где $c_Ж$ и $c_Г$ – удельные теплоемкости жароупорного материала и газа, Дж/(кг· ˚С);

$G_Ж$ и $G_Г$ – массы вспомогательных жароупорных устройств и газа, расходуемого за цикл работы печи, кг;

$t''_Ж$, $t'_Ж$, $t''_Г$, $t'_Г$ – конечная и начальная температуры жароупорных изделий и газа, ˚С.

Суммарные тепловые потери печи $\Sigma Q_{ПОТ}$, Дж, применительно к циклу, приведенному на рис. 1в (с охлаждением загрузки в печи) равны:

$$\Sigma Q_{ПОТ}=k_П(q_{пот,н}\cdot\tau_Н+q_{пот,выд}\cdot\tau_{выд}+q_{пот,охл}\cdot\tau_{охл}+q_{пот,з,в}\cdot\tau_{з,в}) \qquad (4)$$

где $q_{пот,Н}$ – мощность тепловых потерь через стенки печи в период нагрева, Вт; $q_{пот,выд}$ – то же в период выдержки, Вт; $q_{пот,охл}$ – то же в период охлаждения, Вт; $q_{пот,з,в}$ – мощность тепловых потерь через загрузочные проемы и щели при загрузке и выгрузке, Вт; $k_П$ = 1,15 – 1,3 – коэффициент неучтенных тепловых потерь, который вводится для учета трудно определяемых тепловых потерь (через неплотности и щели конвекцией, через выводы нагревателей, термопары и другие элементы конструкции печи, представляющие собой тепловые короткие замыкания).

Количество теплоты, прошедшее через стенки печи за период охлаждения, равно потерям теплоты, аккумулированной кладкой:

$$q_{пот,охл}\cdot\tau_{охл} = Q''_{акк} – Q'''_{акк} \qquad (5)$$

где $Q''_{акк}$ и $Q'''_{акк}$ – аккумулированная кладкой теплота, соответствующая температурам изделия $t''_{изд}$ и $t'''_{изд}$ (см. рис.1в)

При работе печи по циклам на рис. 1а и б кладка теряет только небольшую часть аккумулированной ею теплоты за период выгрузки и загрузки за счет потерь теплопроводностью через стенки, излучением и конвекцией через открытые проемы.

Суммарные тепловые потери печи $\Sigma Q_{ПОТ}$, Дж для циклов, приведенных на рис. 1а и б, равны:

$$\Sigma Q_{ПОТ} = k_П(q_{ПОТ} \cdot \tau_Ц + q_{З,В} \cdot \tau_{З,В}) \quad (6)$$

Тепловые потери в периоды нагрева и выдержки могут быть приняты одинаковыми и определяются раздельно для участков кладки, отличающихся по конструкции и материалам, по формулам:

$$P_{ПОТ,СТ} = \frac{t_{ВН} - t_{НАР}}{1/(\alpha_{ВН} F_{ВН}) + S/(\lambda F_P) + 1/(\alpha_{НАР} F_{НАР})} \quad (7)$$

где $t_{ВН}$, $t_{НАР}$ – температура внутри и снаружи печи, ˚С; S – толщина стенки, м;

λ – коэффициент теплопроводности материала стенки, Вт/(м·˚С), выбираемый по средней температуре стенки;

F_P – расчетная поверхность стенки, м^2.

Расчетная поверхность равна среднему арифметическому из значений внутренней $F_{ВН} = F_1$ и наружной $F_{НАР} = F_2$ поверхностей; $F_P = (F_1 + F_2)/2$, если $F_2/F_1 < 2$ и среднему геометрическому $F_P = \sqrt{F_1 \cdot F_2}$, если $F_2/F_1 > 2$.

$\alpha_{ВН}$, $\alpha_{НАР}$ – коэффициенты теплоотдачи, Вт/(м^2·˚С), количественно выражающие одновременно передачу теплоты излучением и конвекцией с 1 м^2 поверхности в единицу времени при разности температур в 1˚С, см. таблицу 1.

Таблица 1 Значение коэффициента теплоотдачи, $\alpha = \alpha_{КОН} + \alpha_{ИЗЛ}$, Вт/(м^2·˚С)

Температура воздуха, ˚С	Температура стенки, ˚С								
	40	50	60	80	100	200	300	400	500
+ 10	10,6	11,5	12,2	13,4	14,5	20,0	26,7	34,6	44,5
+20	10,4	11,2	12,1	13,3	14,5	20,2	27,0	35,0	45,4

Потери излучением $Q_{ИЗЛ}$, Дж, за время выгрузки и загрузки через печные проемы равны:

$$Q_{ИЗЛ} = q_{ИЗЛ} \cdot \tau_{З,В} = \phi \cdot c_S \cdot \varepsilon_{КЛ} \left[\left(\frac{T_{ПЕЧИ}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{НАР}}{100} \right)^4 \right] F_{ПР} \cdot \tau_{З,В} \qquad (8)$$

где ψ – коэффициент диафрагмирования, учитывающий глубину проема и экранирующее действие его стен (см. рис. 2).

$\varepsilon_{КЛ}$ – коэффициент теплового излучения материала внутреннего слоя кладки ($\varepsilon_{КЛ}$ =0,75–0,85)

c_S = 5,7 Вт/(м^2 · К^4) – излучательная способность абсолютно черного тела (шероховатая поверхность, отражающая все падающие на нее лучи, называется абсолютно белой поверхностью; поверхность, полностью поглощающая все падающие на нее лучи, называется абсолютно черной поверхностью (сажа); по закону Кирхгофа абс. черное тело обладает максимальной способностью излучать энергию, поэтому оно является эталоном, с которым сравнивают излучательную способность других тел.

$T_{ПЕЧИ}$, $T_{НАР}$ – температуры внутри и снаружи печи, К;

$F_{ПР}$ – площадь излучаемого проема, м^2;

$\tau_{З,В}$ – время загрузки, выгрузки, с;

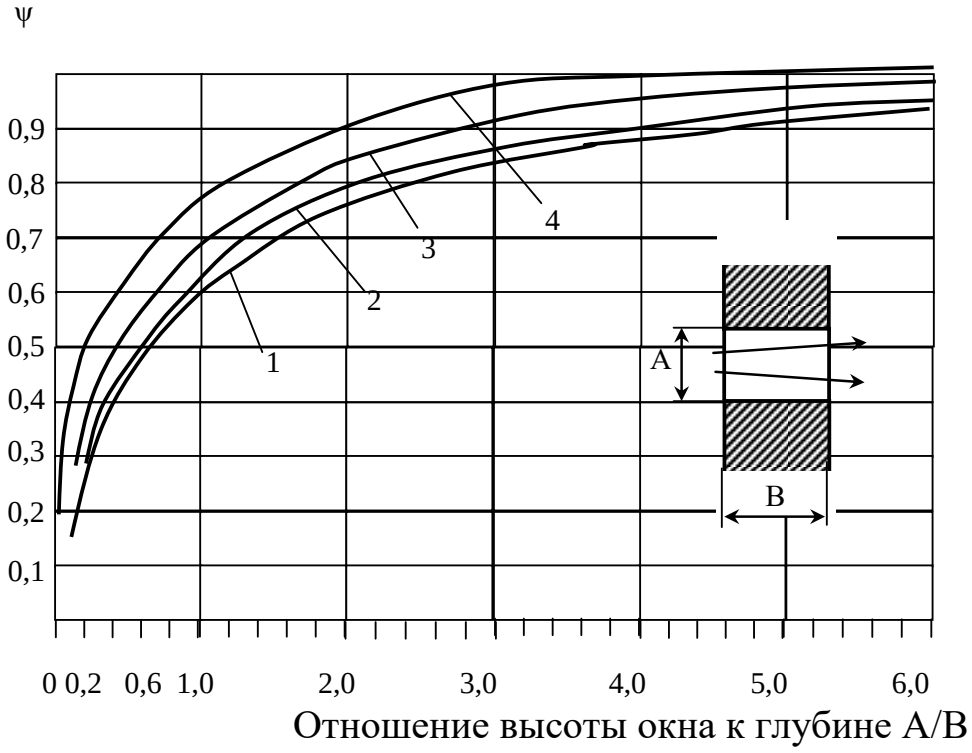


Рисунок 2. Коэффициент диаффрагмирования. 1– круглое отверстие; 2 – квадратное; 3 – прямоугольное с соотношением сторон 2:1; 4 – узкая щель

Тепловые потери через стенки работающей печи можно определить по таблице 2. Для этого кожух печи надо разбить на участки и измерить с помощью термощупа температуру кожуха по отдельным участкам.

Для каждой стенки печи (боковой, верхней, торцевой) по результатам измерений определяют ее среднюю температуру и по ней – мощность тепловых потерь, кВт:

$$P_{ПОТ} = p_0 F_{СТ} \quad (9)$$

Потребная мощность печи периодического действия $P_{ПОТР}$, Вт, определяется по расходу теплоты в период нагрева, т.к. именно в этот период требуется максимальное количество энергии:

$$P_{ПОТР} = \frac{Q_Н}{\tau_Н} \quad (10)$$

Таблица 2

Тепловые потери p_0, кВт/м^2 , кожуха печи при температуре окружающего воздуха 10 и 20˚С

Температура воздуха, ˚С	Температура кожуха печи, ˚С							
	30	40	50	60	80	100	120	150
+ 10	0,2	0,32	0,46	0,61	0,91	1,3	1,71	2,4
+ 20	0,098	0,21	0,437	0,483	0,80	1,16	1,36	2,26

Для циклов на рис. 1в:

$$Q_Н = Q_{ПОЛ} + Q_{ВСП} + q_{пот,Н} \cdot \tau_Н + q_{пот,охл} \cdot \tau_{охл} + Q_{изл} = Q_Ц - q_{пот,выд} \cdot \tau_{выд} \quad (11)$$

Для циклов на рис. 1 а,б составляющая $q_{пот,охл} \cdot \tau_{охл} = 0$.

Полученное значение потребной мощности надо увеличить на 10–50%; установленная мощность печи P, Вт, равна:

$$P = k_М P_{ПОТР} = (1,1 – 1,5) P_{ПОТР} \quad (12)$$

Коэффициент запаса мощности $k_М$ учитывает:

- возможность понижения напряжения сети против номинального значения;
- увеличение сопротивления нагревательных элементов с течением времени («старение» материала нагревателей);

- форсирование режима разогрева печи из холодного состояния.

Чем выше рабочая температура печи и чем массивнее кладка, тем больше теплоты аккумулируется кладкой, тем бóльшим следует принимать коэффициент запаса мощности для уменьшения времени разогрева печи с холодного состояния.

Удельный расход электроэнергии *w*, кВт· ч/кг, т.е. расход ее на единицу массы материала, обрабатываемого в печи, равен:

$$w = Q_Ц/G_{ИЗД} \qquad (13)$$

где $G_{ИЗД}$ – масса загрузки, обрабатываемой в печи, кг.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с конструкцией ЭПС, расположением всех ее узлов. Начертить конструктивную схему ЭПС.
2. Ознакомиться с электрооборудованием ЭПС. Начертить электрическую схему питания ЭПС.
3. Включить ЭПС в сеть, определить при этом характер включения (имеется или отсутствует бросок тока включения).
4. Измерить силу тока и падение напряжения на нагревателях.
5. Измерить сопротивление нагревателей.
6. Вычислить подводимую мощность ЭПС.
7. Вычислить тепловые потери через стенки работающей печи.
8. Определить количество теплоты, необходимое для нагрева загрузки до заданной конечной температуры (размеры и масса нагреваемых деталей – по указанию преподавателя).
9. Определить тепловые потери через печные проемы (дверцы).
10. Рассчитать потребную мощность печи.
11. По результатам пунктов 1 – 10 определить характеристику ЭПС, как потребителя электроэнергии.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Дать описание конструкции ЭПС, с приложением конструктивной схемы.
2. Начертить электрическую схему питания ЭПС.
3. Таблицы с результатами опытов.
4. Результаты расчетов по пунктам 7-10.
5. Характеристика ЭПС как потребителя электроэнергии.
6. Вывод (по результатам сравнения мощностей, вычисленных по пунктам 6 и 10).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Конструкции ЭПС.
2. Обозначение ЭПС.
3. Режимы работы ЭПС.
4. Материалы, применяемые при изготовлении ЭПС.
5. Назначение и основные стадии теплового расчета.
6. Назначение и основные стадии электрического расчета ЭПС.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПЕЧАХ СОПРОТИВЛЕНИЯ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: 1) изучить устройство и принцип действия автоматического потенциометра; 2) исследовать работу схемы двухпозиционного регулирования температуры.

ОБЪЕКТ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ

Основная задача устройств автоматического регулирования температуры в электрических печах сопротивления (ЭПС) состоит в обеспечении заданного температурного режима нагреваемых изделий. Воздействие на температуру печи производится изменением подводимой к ЭПС электрической мощности. Для точного поддержания заданного температурного режима необходимо, чтобы подводимая мощность была равна мощности, потребляемой печью при заданном температурном режиме или мощности потерь.

На практике для регулирования температуры применяются системы дискретного (позиционного) и непрерывного регулирования. При непрерывном регулировании мощность, подводимая к печи, изменяется плавно от нуля до полного значения с помощью соответствующего регулятора.

При позиционном регулировании мощность, подводимая к печи, изменяется по ступенчатому закону. В зависимости от числа ступеней, возможно двухпозиционное, (две ступени: «ВКЛЮЧЕНО» и «ВЫКЛЮЧЕНО») или многопозиционное (чаще всего, трехпозиционное – три ступени: «ПОЛНАЯ МОЩНОСТЬ» – «ЧАСТИЧНАЯ МОЩНОСТЬ» – «ВЫКЛЮЧЕНО») регулирование.

Лабораторная установка состоит из ЭПС шахтного типа (СШОЛ – 1,6.2/12), автоматического потенциометра ЭПД-120 со встроенным позиционным регулятором ППР1-М, термопары (сплав хромель-алюмель, соответственно, градуировка потенциометра ХА от 0 до 600˚С) и лабораторного автотрансформатора. Регулятор ППР-1М дает возможность осуществить двухпозиционное регулирование.

Потенциометры являются наиболее распространенными приборами для измерения, регистрации и регулирования температуры. Они считаются самыми совершенными вторичными

приборами термоэлектрических датчиков – термопар, вместе с которыми они составляют термометр.

Автоматические потенциометры имеют относительно простое устройство. Они состоят из фазочувствительного усилителя, с выхода которого напряжение подается на управляющие обмотки реверсивного двигателя. Последний имеет кинематическую связь с механизмом перемещения стрелки – указателя температуры. На вход фазочувствительного усилителя сигнал подается с измерительной схемы, к которой подключена термопара контролирующая температуру в печи.

Имеется также механизм движения диаграммы, на которой производится запись (автоматически) температуры, выполненный на синхронном электроприводе.

Принцип действия потенциометра состоит в том, что термо-Э.Д.С. с термопары уравновешивается (компенсируется) равным ей по величине, но обратным по знаку напряжением от вспомогательного источника, которое затем измеряется в схеме с высокой точностью.

Питание потенциометра осуществляется переменным током напряжением 127 В с частотой 50 Гц через понижающий разделительный трансформатор 220/127 В.

Большинство ЭПС, в том числе и применяемая, характеризуется значительной тепловой инерцией, обусловленной теплоемкостью загрузки, футеровки и т.д. Поэтому температура печи изменяется сравнительно медленно и для поддержания в таких печах заданной температуры не требуется соответствия мгновенных значений подводимой и потребляемой мощностей. Достаточно, если соответствие будет выполнено для средних значений мощностей за относительно длинный промежуток времени. Поскольку в этом случае среднее значение температуры печи будет равно заданному, а мгновенное ее значение будет изменяться, это позволяет упростить схему регулирования температуры, применив двухпозиционную систему со ступенчатым изменением мощности, подводимой к нагревателям печи.

Система двухпозиционного регулирования температуры по сравнению с системой непрерывного регулирования, при обеспечении одинаковой заданной точности (достижимой при двухпозиционном регулировании) поддержания параметра, отличается:

– значительной простотой аппаратурной реализации;
– большей экономичностью изготовления и обслуживания (в частности простотой наладки системы, что очень важно);
– большей надежностью функционирования и т.д.

Рассмотрим далее применяемую в установке систему двухпозиционного регулирования температуры ЭПС, построенную на основе автоматического потенциометра ЭПД-120 со встроенным регулятором ППР1-М и с исполнительным устройством на основе тиристора (см. рис. 3).

Термопара Т, установленная в ЭПС, присоединена ко вторичному измерительному прибору П (автоматический потенциометр ЭПД-120). Регулятор ППР1-М, размещенный в потенциометре, включает промежуточное реле РП, которое замыкает входную цепь коммутирующего тиристора VS, на управляющий электрод которого начинают поступать импульсы с СУТ (система управления тиристором). Работа СУТ синхронизирована питающим напряжением, подаваемым также на нагревательный элемент (Н.Э.) печи и осуществляется выключателем SB.

Если температура в печи ниже значения установленного на потенциометре (задается перед проведением эксперимента), то регулятор ППР1-М включает реле РП, а следовательно и тиристор VS. К Н.Э. печи начнет подводиться полная мощность $P_{НОМ}$ и температура печи начинает расти (рис.4). При нагреве печи до температуры $t_З + \delta t$ контакт РП будет разомкнут ППР1-М, тиристор отключит Н.Э. печи и ее температура начнет снижаться. При температуре $t_З - \delta t$ контакт регулятора снова замкнется и замкнет контакт РП, а тиристорVS включится очередным импульсом с СУТ – нагревательный элемент Н.Э. вновь будет включен. Температура печи начнет расти вновь и т.д.

Таким образом, процесс регулирования температуры по двухпозиционному принципу состоит в изменении ее по пилообразной кривой вокруг заданного значения в пределах интервала $\pm \delta t$, определяемого зоной неоднозначности (гистерезиса) состояния регулятора ППР1-М. Средняя потребляемая мощность при этом будет зависеть от соотношения времени включенного $\tau_{ВКЛ}$ и отключенного $\tau_{ОТК}$ состояния Н.Э. печи. Поскольку по мере прогрева печи потребляемая мощность снижается, то $\tau_{ВКЛ}$ будет

уменьшаться, а $\tau_{ОТК}$ – возрастать и этот процесс будет длиться до полного нагрева печи до заданной температуры.

Как следует из теории автоматического регулирования в этом случае по мере разогрева печи ее кривая нагрева будет идти круче, а кривая остывания положе, поэтому соотношение интервалов времени будет уменьшаться, а следовательно будет падать и средняя мощность (рис. 4). Причем средняя мощность подводимая к нагревательным элементам ЭПС все время приводится в соответствии с мощностью необходимой для поддержания постоянной температуры. Таким образом, регулируемая величина (температура) при использовании двухпозиционного регулятора испытывает непрерывные колебания, т.е. автоколебательный режим является его рабочим режимом. Из этого следует, что значение потребляемой мощности будет соответственно изменяться и для поддержания температуры с заданной точностью потребуется, прежде всего, уменьшение зоны нечувствительности (неоднозначности) регулятора.

Применяемый двухпозиционный регулятор обеспечивает соответствие средней подводимой мощности $P_{СР}$ значению потребляемой мощности $P_{ПОТ}$ и средняя температура печи $t_{СР}$ поддерживается на заданном уровне. Однако действительные колебания температуры печи бывают значительно больше, что связано с наличием запаздывания в системе регулятор – печь. Основным источником запаздывания является обычно инерция термоэлектрического термометра – термопары, особенно при использовании защитных чехлов – керамических (внутренняя изоляция) и металлических (верхний, защищающий от механических повреждений).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с электрооборудованием установки, с устройством и принципом действия автоматического потенциометра и с функционированием системы позиционного регулирования.

2. Включить печь и нагревать ее до заданной преподавателем температуры, устанавливаемой на шкале потенциометра задатчиком ППР1-М.

3. Во время нагрева и при поддержании заданной температуры фиксировать время (через определенные интервалы в 5, 10 или 15

минут), температуру на шкале потенциометра и подводимую мощность.

Результаты занести в таблицу 3.

Таблица 3

Время								
Температура								
Мощность								

Процесс экспериментального исследования работы системы регулирования довольно длительный и снятие кривой $t = \varphi(\tau)$ обычно продолжается 2,0 часа и более. Поэтому при получении данных необходимо предварительно прорисовать график изменения температуры и ограничиться двумя колебаниями на графике.

4. По полученным данным построить график изменения во времени температуры (на миллиметровой бумаге): $t = \varphi(\tau)$.

5. Сделать обоснованные выводы по результатам исследования.

Экспериментальное исследование проводится после теоретического изучения потенциометра и системы двухпозиционного регулирования и после детального ознакомления с потенциометром и регулятором.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

1. Наименование, цель работы и основные сведения об электрооборудовании установки (с паспортными данными).

2. Схему установки, таблицу результатов эксперимента и построенную по полученным данным графическую зависимость $t = \varphi(\tau)$.

3. Выводы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы основные способы регулирования температуры ЭПС и в чем заключается сущность ее регулирования?

2. Каково устройство и принцип действия автоматического потенциометра?

3. Почему для регулирования температуры ЭПС предпочтение отдается двухпозиционным системам?

4. Объясните, как осуществляется двухпозиционное регулирование температуры?

5. Каково влияние инерционности термометра на процесс регулирования температуры?

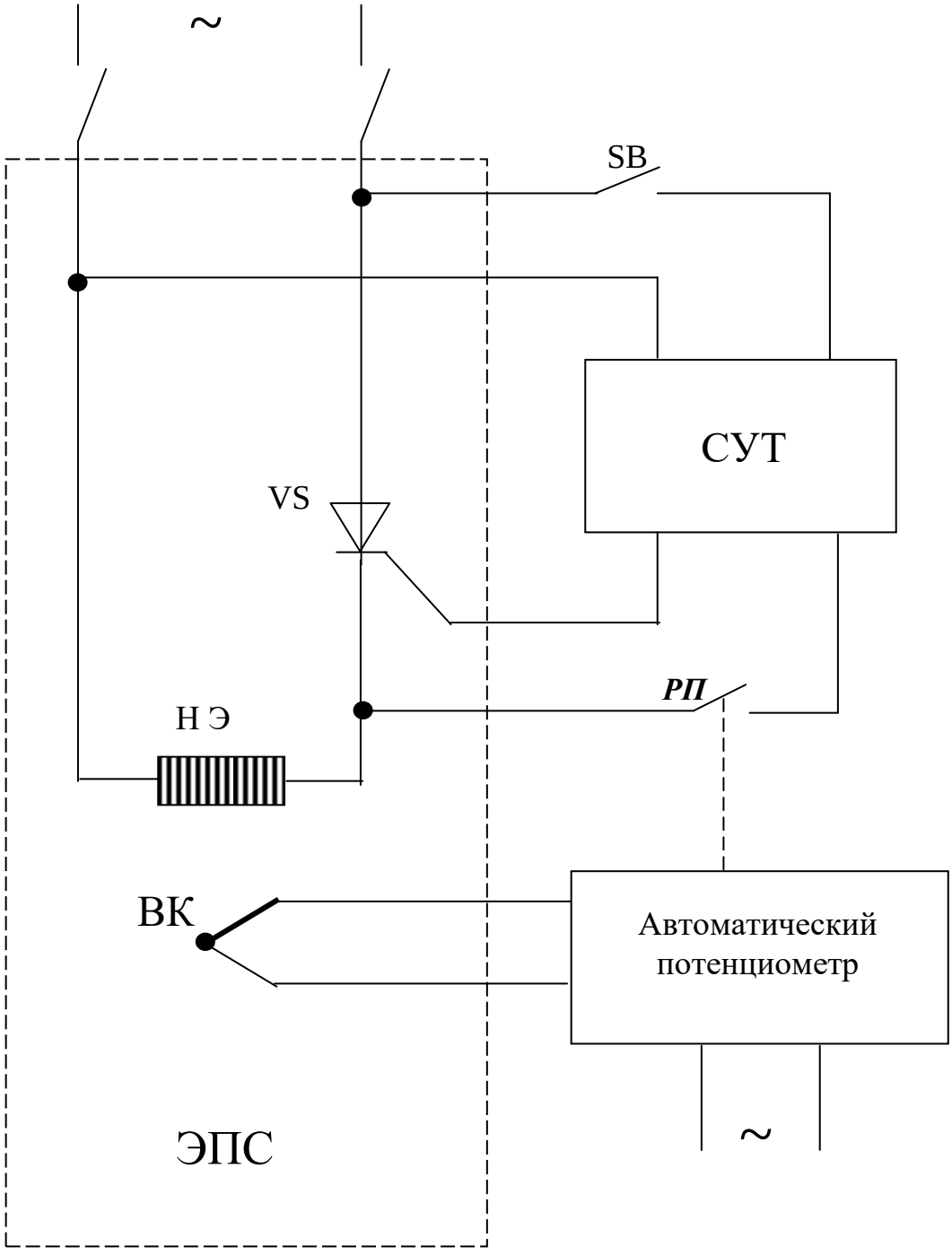


Рисунок 3. Упрощенная структурная схема контроля и регулирования температуры

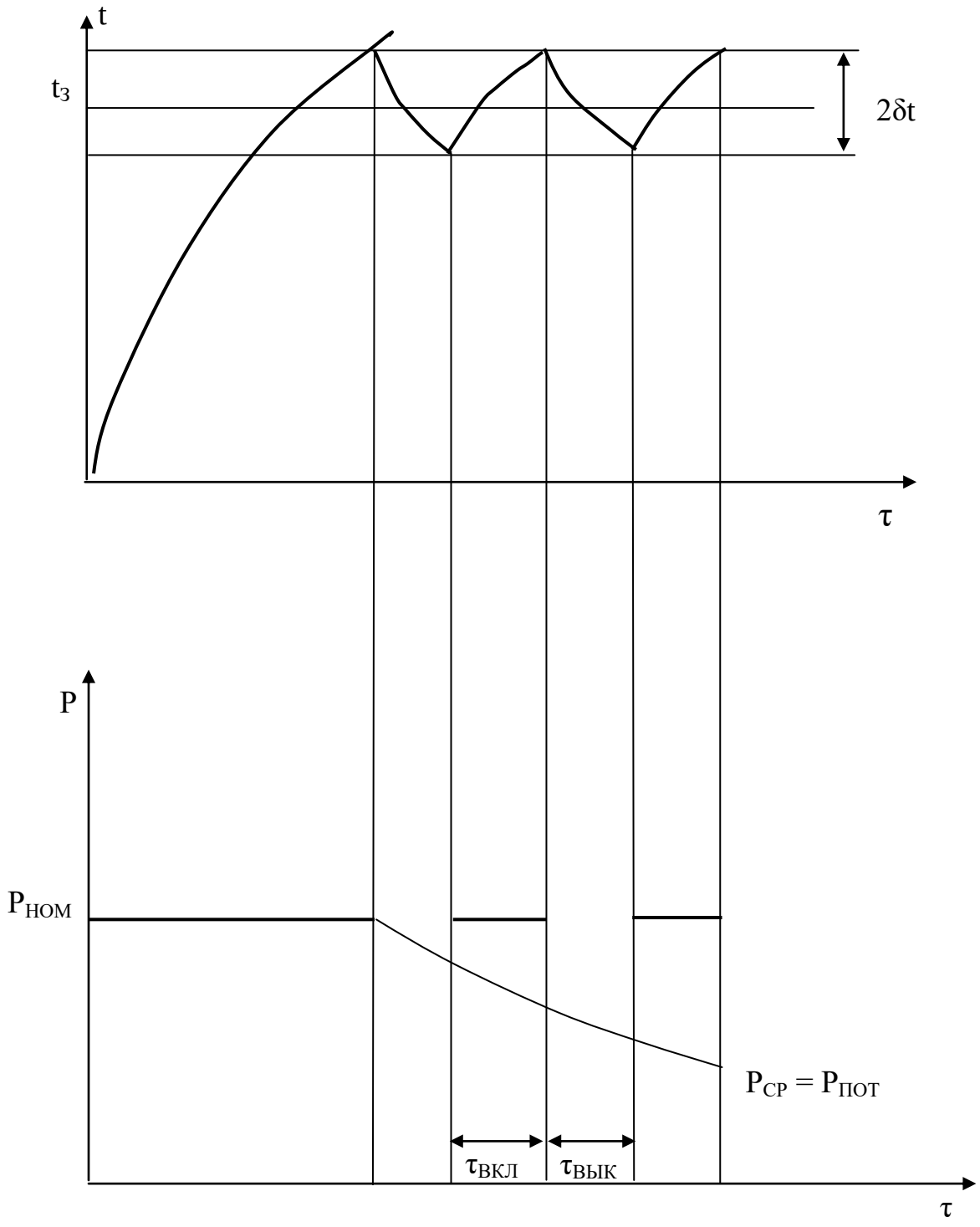


Рисунок 4. Процесс двухпозиционного регулирования температуры

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ ВЫПРЯМИТЕЛЯ ВС-300

Цель работы: 1). Изучить конструкцию и принцип работы выпрямителя. 2). Освоить методику испытания и порядок снятия внешних характеристик выпрямителя. 3). Произвести анализ полученных характеристик.

КОНСТРУКЦИЯ ВЫПРЯМИТЕЛЯ ВС-300

Выпрямитель ВС-300 предназначен для полуавтоматической сварки плавящимся электродом в среде защитных газов, а также может быть использован для ручной дуговой сварки плавящимся электродом.

Выпрямитель представляет собой преобразователь трехфазного переменного тока напряжением 380 В в постоянный, напряжением от 20 до 40 В (рис. 5,6).

Понижающий трансформатор I

В выпрямителях обычно используются трехфазные понижающие трансформаторы с нормальным или повышенным магнитным рассеянием. Трехфазные трансформаторы обеспечивают равномерную загрузку питающей сети по фазам. При работе источника на малых токах обмотки трансформатора соединены в звезду (Y), при работе на больших токах – в треугольник (Δ).

Выходное напряжение трансформатора в режиме холостого хода определяется как

$$U_2 = U_{XX} = U_1 \frac{\omega_2 \cdot K_\mu}{\omega_1} \qquad (14)$$

де U_1- напряжение на первичной обмотке трансформатора;

ω_1- число витков первичной обмотки трансформатора;

ω_2 - число витков вторичной обмотки трансформатора;

K_μ – коэффициент магнитной связи между обмотками.

Трансформатор выпрямителя ВС-300 с нормальным магнитным рассеянием, для него $К_{\mu} \approx 1$. Первичная обмотка разбита на 24 секции с различным числом витков в каждой.

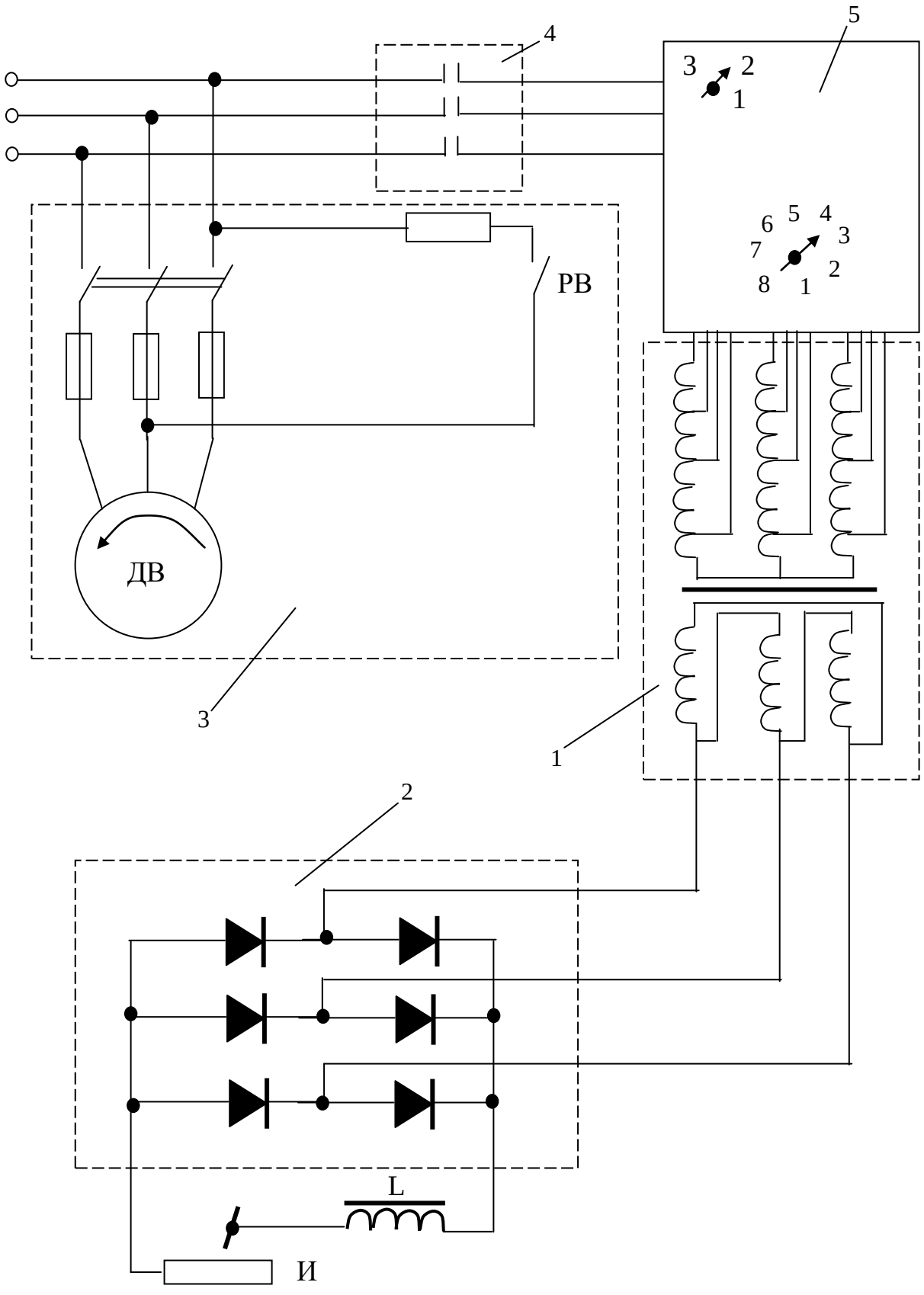


Рисунок 5. Принципиальная электрическая схема выпрямителя ВС-300:1–силовой трехфазный трансформатор; 2–выпрямляющий блок; 3–пускозащитная аппаратура; 4–контактная группа магнитного пускателя; 5 – блок переключателей обмоток трансформатора; И - изделие

Переключая секции, можно получить 24 значения напряжения на выходе трансформатора. Для этой цели выпрямитель имеет два переключателя, расположенных на боковой стенке – один для грубой регулировки напряжения (3 ступени) и второй – для тонкой регулировки (8 ступеней в каждой из трех).

Выпрямительный блок 2

Собран по трехфазной мостовой схеме выпрямления из селеновых вентилей. Каждый вентиль пропускает ток в одном направлении в течение одной трети периода, поэтому пульсация выпрямленного тока имеет шестифазную частоту (300 Гц при частоте питающей сети 50 Гц.

Таким образом, при трехфазной мостовой схеме выпрямления кривые выпрямленного напряжения и тока получаются достаточно хорошо сглаженными, что очень важно для создания условий устойчивого горения дуги.

Линейный сглаживающий дроссель L

Включается последовательно в сварочную цепь и служит для ограничения пиковых значений токов короткого замыкания, возникающих при шунтировании дуги каплями переносимого металла с электрода в сварочную ванну, а также для сглаживания фронта нарастания тока короткого замыкания (Рис.8). При наличии линейного дросселя в сварочной цепи сварочная ванна формируется спокойно без разбрызгивания.

Пуско-защитная аппаратура 3

Предназначена для подключения выпрямителя под нагрузку и защиты выпрямляющего блока от перегрева. Охлаждение выпрямляющего блока воздушное принудительное и создается вентилятором с приводным эл. двигателем. Воздушный поток, воздействуя на пластину воздушного реле «РВ», замыкает контакт «К» тяговой обмотки магнитного пускателя «ПМ», что приводит к замыканию его контактной группы 4 и подключению самого источника в сеть. При неправильном направлении вращения

вентилятора или его повреждении не произойдет включение выпрямителя, а если он находится в состоянии работы, то произойдет его отключение.

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с конструкцией выпрямителя, расположением всех его основных узлов и соединений.

2. Собрать электрическую цепь для проведения испытаний выпрямителя под нагрузкой, используя в качестве последней балластный реостат РБ (рис.7).

3. В режиме холостого хода (нагрузка на источник отсутствует), пользуясь переключателями ступеней первичной обмотки трансформатора (3 ступени грубое регулирование и 8 ступеней – плавное), определить возможный диапазон и значения выпрямленного напряжения холостого хода (24 значения). Результаты занести в таблицу 4.

Таблица 4 Значение напряжения холостого хода выпрямителя

Положение переключателя плавной регулировки	Положение переключателя грубой регулировки		
	1	2	3
1.			
2.			
3.			
4.			
и т.д.			

4. Задаваясь различными значениями тока нагрузки с помощью балластного реостата, получить данные для построения вольт-амперных характеристик источника. Построить графическую зависимость для трех значений холостого хода: U_{XX} =38 В; U_{XX} =20 В; U_{XX} =30 В;

Результаты свести в таблицу 5.

Таблица 5

№ оп.	U_{XX} =20 В		U_{XX} =30 В		U_{XX} =38 В	
	$I_{Д,}$ А	$U_{Д,}$ В	$I_{Д,}$ А	$U_{Д,}$ В	$I_{Д,}$ А	$U_{Д,}$ В
1						
2						

3						
4						
и т.д.						

СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

В отчете необходимо представить:

1. Описание конструкции, принципа действия выпрямителя согласно его электрической схемы.
2. Электрическую схему внешнего соединения на нагрузку.
3. Таблицы полученных результатов.
4. Внешние вольтамперные характеристики источника, вычерченные на миллиметровой бумаге.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. К какому типу относится трансформатор выпрямителя ВС-300, какова его внешняя вольтамперная характеристика?
2. Назовите основные параметры сварочного трансформатора и дайте их определения.
3. В каких выпрямителях может отсутствовать сглаживающий дроссель?
4. Поясните схему выпрямителя переменного тока.

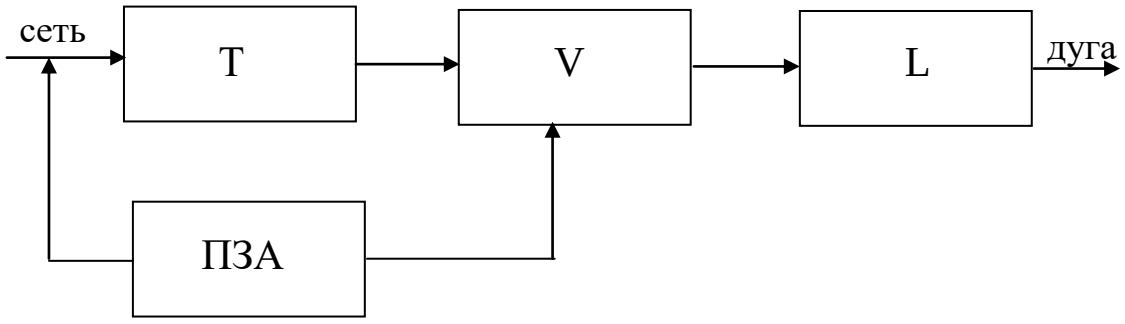


Рисунок 6. Функциональная блок-схема выпрямителя

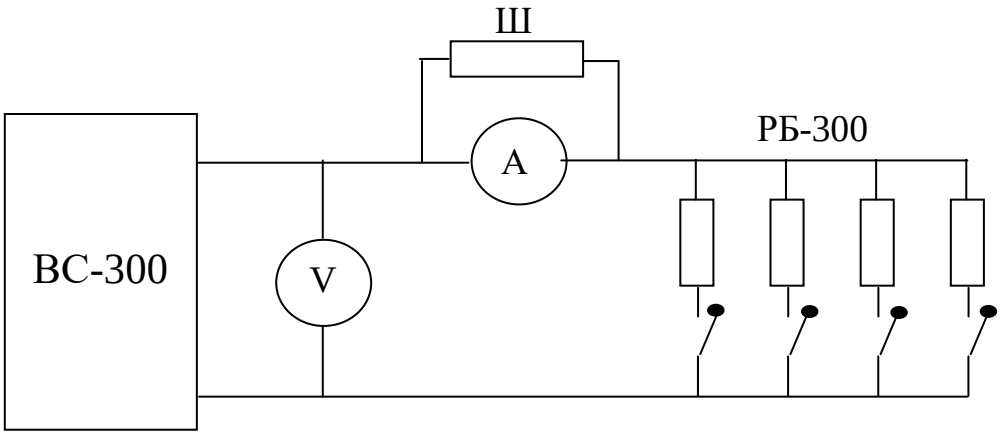


Рисунок 7. Схема включения источника под нагрузку

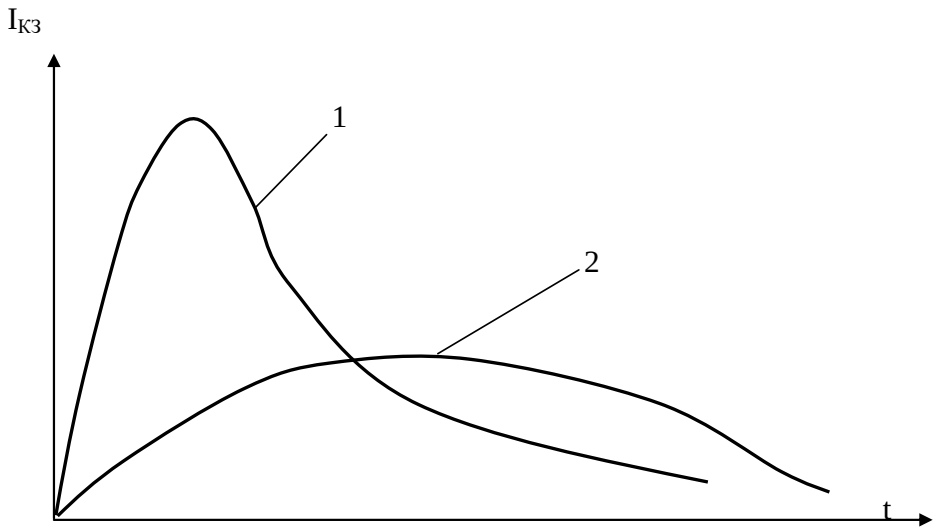


Рисунок 8. Характер изменения токов короткого замыкания ($I_{КЗ}$) во времени

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4
ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ И СНЯТИЕ ВНЕШНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСФОРМАТОРА ТИПА СТШ-500

Цель работы: Изучение конструкции, технологических данных, правила включения и регулирования режима однопостового сварочного трансформатора с повышенным магнитным рассеянием.

КОНСТРУКЦИЯ ТРАНСФОРМАТОРА

Трансформатор СТШ-500 предназначен для ручной дуговой сварки плавящимся электродом. Электрическая схема трансформатора СТШ-500 с повышенным магнитным рассеянием и подвижным магнитным шунтом представлена на рис.9.

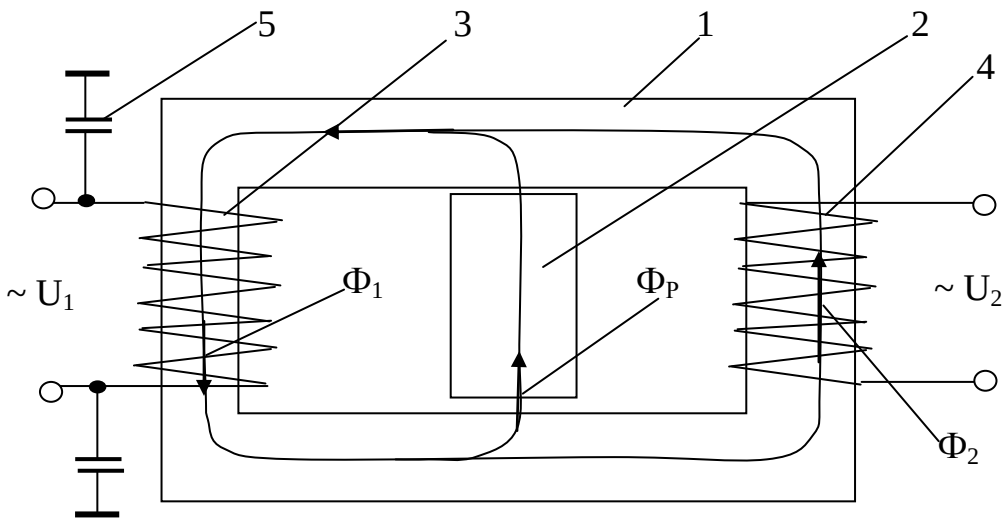


Рисунок 9. Принципиальная электромагнитная схема сварочного трансформатора СТШ-500:

1- сердечник трансформатора; 2- подвижный магнитный шунт; 3- первичная обмотка; 4- вторичная обмотка; 5- конденсаторы фильтра

Сердечник трансформатора 1 выполнен сплошным из штампованных листов электротехнической стали. Катушки первичной обмотки трансформатора выполнены из изолированного алюминиевого провода прямоугольного сечения, катушки вторичной обмотки 4 – из голой алюминиевой шины.

Подвижный магнитный шунт 2 размещается в окне сердечника трансформатора. Для плотной посадки шунта используются распирающие пружины. Положение магнитного шунта регулируется вручную с помощью ходового винта. Трансформатор имеет указатель (ориентировочный) величины сварочного тока.

Для снижения помех радиоприема, создаваемых при сварке, трансформатор снабжен емкостным фильтром из двух конденсаторов 5 типа КБГ-И 0,01 мкф каждый на рабочее напряжение 600 В. Конденсаторы смонтированы на стороне высокого напряжения и подключены между каждым зажимом первичной обмотки трансформатора и кожухом.

Внимание! При пробое конденсатора первичная обмотка соединяется с кожухом, поэтому включение трансформатора в сеть без заземления не допускается! Конденсаторы необходимо систематически проверять.

ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ РАБОТЫ

В режиме холостого хода ток дуги $I_Д = 0$. Коэффициент трансформации:

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2 K_\mu} \qquad (15)$$

где U_1 – напряжение на первичной обмотке трансформатора;

U_2 – напряжение на вторичной обмотке трансформатора;

$К_\mu$ – коэффициент магнитной связи между обмотками

В этом случае напряжение на вторичной обмотке называют напряжением холостого хода:

$$U_2 = U_{xx} = U_1 \frac{\omega_2 K_\mu}{\omega_1} \qquad (16)$$

При полностью выдвинутом магнитном шунте большая часть магнитного потока, создаваемого первичной обмоткой ($Ф_1$), замыкается через основной сердечник, а при полностью вдвинутом – через шунт, т.е. рассеивается, и только незначительная его часть ($Ф_1$) пронизывает витки вторичной обмотки.

Коэффициент магнитной связи $К_\mu$ в этом случае значительно меньше единицы, а коэффициент рассеяния магнитного потока (σ) максимален: $\sigma = 1 - К_\mu^2$.

Магнитный поток рассеяния создает дополнительное индуктивное сопротивление трансформатора X_T:

$$X_T = \frac{2\pi\nu\omega_2^{\,2}}{R_\mu}\sigma, \qquad (17)$$

где ν – частота питающего тока, Гц;

ω_2 – число витков вторичной обмотки;

R_μ – коэффициент рассеяния магнитного потока.

Таким образом, изменяя положение магнитного шунта, обеспечивается возможность регулирования основного параметра режима сварки – тока дуги.

К.П.Д. сварочного трансформатора с учетом потерь в трансформаторе и дуге:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{I_д U_д \lambda_д}{I_д U_д \cos\varphi_1}, \qquad (18)$$

где P_2 – мощность сварочной дуги;

P_1 – активная мощность, потребляемая трансформатором из сети;

$\cos\varphi_1$ – коэффициент мощности трансформатора (изменяется от 0,1 при холостом ходе до 0,55 при номинальной нагрузке)

$\lambda_д$ – коэффициент мощности дуги (изменяется в пределах 0,85-0,95).

ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с устройством трансформатора.

2. Собрать электрическую схему согласно рис.10. В качестве нагрузки используется балластный реостат РБ, имеющий ряд секций с определенным омическим сопротивлением. Величина тока во вторичной цепи определяется с помощью трансформатора тока ТТ.

3. При отключенной нагрузке определить напряжение холостого хода для различных положений магнитного шунта. Построить зависимость напряжения холостого хода от положения магнитного шунта.

4. Задаваясь рядом значений тока нагрузки I_2 (включая последовательно ряд нагрузок балластного реостата по возрастающей степени) определить соответствующее напряжение на выходе источника – U_2 (табл.6).

Проделать вышеуказанное для трех положений магнитного шунта:

а) шунт полностью вдвинут;

б) шунт полностью выдвинут;

в) шунт в среднем положении.

По полученным данным построить зависимость $U_и = f(I_д)$

5. Построить зависимость величины тока дуги от положения магнитного шунта. Для этого, задав нагрузку на источник балластным реостатом, определить значение тока нагрузки через каждые пять оборотов ходового винта, начиная с положения шунта полностью вдвинутого. Построить график зависимостей (табл.7).

Таблица 6 Таблица результатов

Положение шунта	$U_{хх}$, В	$I_д$, А	$U_и$, В
Шунт вдвинут			
Шунт выдвинут			
Среднее положение шунта			

Таблица 7 Таблица результатов

Нагружение на источник. Положение шунта	I секция РБ $I_д$, А	2 секция РБ $I_д$, А
Шунт вдвинут		
+ 5 оборотов (выдвинут)		
+ 10 оборотов (выдвинут)		
+15 оборотов (выдвинут)		

Шунт полностью выдвинут		

СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. Дать описание устройства сварочного трансформатора и его основные уравнения работы.

2. Вычертить в масштабе полученные внешние характеристики трансформатора.

3. Построить графическую зависимость тока дуги от положения магнитного шунта.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение сварочных трансформаторов.

2. Назовите основные параметры сварочных трансформаторов и дайте их определения (коэффициент магнитной связи, коэффициент трансформации, коэффициент рассеяния магнитного потока, индуктивное сопротивление).

3. Поясните, как меняются основные параметры трансформатора с выдвижением магнитного шунта и постройте соответствующие зависимости графически.

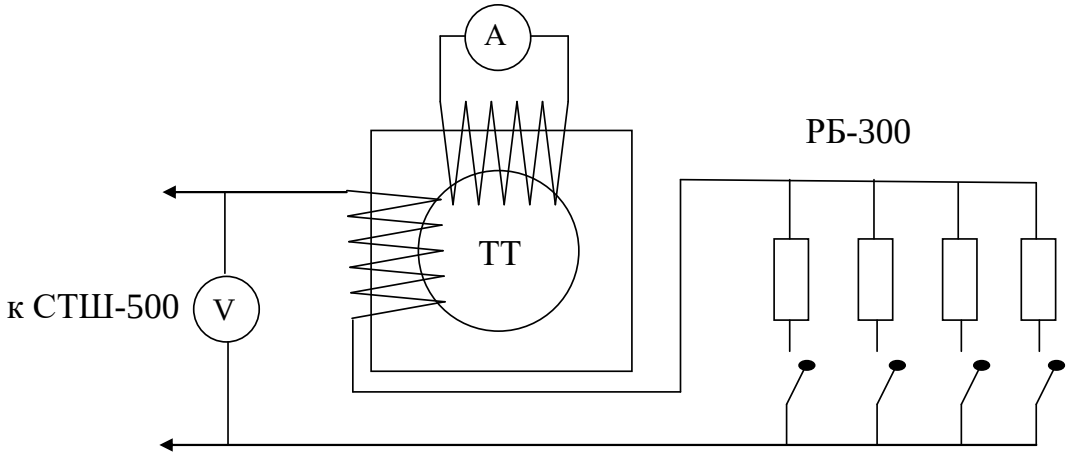


Рисунок 10. Принципиальная электромагнитная схема включения трансформатора под нагрузку

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОПЛАЗМЕННОЙ УСТАНОВКИ «МУЛЬТИПЛАЗ - 2500»

Цель работы: 1) изучить конструкцию, технические характеристики, правила включения и регулирования режима, технику безопасности микроплазменной установки «Мультиплаз – 2500». 2) исследовать влияние работы установки на систему электроснабжения предприятия при сварке металлов.

ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Установка микроплазменная «Мультиплаз - 2500»
Вольтметр переменного тока
Амперметр переменного тока
Фазометр
Трансформатор тока
Анализатор электропотребления AR-5

Образцы листовой стали 3 мм, присадочная проволока 2 мм, вода, этиловый спирт, сварочная маска, рукавицы.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Сварка плавлением, в особенности электродуговая сварка, является основным технологическим процессом сварочного производства. На многих предприятиях широко применяются установки дуговой и контактной сварки с инверторными и выпрямительными источниками питания. Сварочные выпрямители питаются в основном от сетей 0,38 кВ. Мощность сварочных машин автоматической сварки однофазным током промышленной частоты достигает 1,5 МВ·А, сварки трехфазной дугой – нескольких МВ·А.

В некоторых цехах машиностроительных предприятий удельный вес сварочных машин в нагрузке может достигать 80 %.

С начала 80-х гг. вместе с началом использования силовых транзисторов ученые стали замечать, что сварочные выпрямители оказывают негативное влияние на работу другого электрооборудования.

По своему воздействию на несинусоидальность питающей сети сварочные нагрузки можно разделить на две категории: установки дуговой и контактной электросварки переменного тока, установки дуговой электросварки постоянного тока. Установки дуговой электросварки переменного тока воздействуют на питающую сеть аналогично дуговым сталеплавильным печам.

Включение сварочных машин контактной электросварки производится с помощью игнитронных или тиристорных ключей, которые для плавного регулирования сварочного тока снабжаются системами фазового регулирования угла зажигания, что приводит к искажению тока высшими гармониками, уровень которых аналогичен уровню гармоник для дуговой сварки переменного тока.

Определение токов гармоник, генерируемых установками дуговой электросварки постоянного тока, аналогично определению токов гармоник для вентильных преобразователей. Рекомендуется учитывать только 3, 5, 7, 11, 13-ю гармоники.

В последнее десятилетие все промышленно развитые страны стали уделять особое внимание энергосберегающим технологиям и качеству электроэнергии электрических сетей. Вызвано это тем, что в начале 90-х гг. они столкнулись с проблемой постоянного ухудшения качества электроэнергии питающих сетей, заключающейся в искажении синусоидальной формы напряжения и тока. Это незамедлительно привело к повышению потерь и понижению надежности эксплуатации электрооборудования. Такое явление вызвано увеличением количества оборудования с нелинейными трехфазными и однофазными нагрузками, которые генерируют в электрическую сеть высшие гармоники тока. Для определения степени искажения кривых тока и напряжения используется коэффициент (гармоник) *THDi* (Total Harmonic Current Distortion), применяемый за рубежом.

Однофазные импульсные источники питания с бестрансформаторным входом, выпрямители, инверторы, частотно-управляемые электроприводы, компьютерные системы,

телекоммуникационная и офисная аппаратура, энергосберегающие лампы и другие однофазные нелинейные нагрузки из-за своей массовости привели к увеличению *THDi* до 90–140 %, особенно за счет генерации в сеть 3-й и кратных ей гармоник тока до 80 % (токи нулевой последовательности). Высшие гармоники тока увеличивают коэффициент нелинейных искажений напряжения *KU* сетей, доводя его до 7 % и выше.

Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 июля 2013 г. № 400-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 32144—2013 в России введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июля 2014 г. Стандарт разработан на основе применения ГОСТ Р 54149—2010.

Настоящий стандарт устанавливает показатели и нормы качества электрической энергии (КЭ) в точках передачи электрической энергии пользователям электрических сетей низкого, среднего и высокого напряжения систем электроснабжения общего назначения переменного тока частотой 50 Гц.

Приемлемые значения коэффициента K_U ограничены 3% для индивидуальных нелинейных нагрузок. Допустимое значение определено 5% для совокупных нагрузок сети. Отечественные нормативные документы допускают значение K_U до 8%, при котором уже существенно искажается синусоидальное напряжение сети.

Значение коэффициента нелинейных искажений тока *THDi* при работе однофазных сварочных источников питания лежит в диапазоне 8,7–121,5%, а напряжения K_U – 2,2–6,7%, что свидетельствует о плохой электромагнитной совместимости большинства однофазных сварочных источников питания. Особенно опасна генерация 3-й и кратных ей гармоник тока.

Наиболее широкий спектр высших гармоник тока генерируют однофазные сварочные инверторы, которые более всего искажают синусоидальную форму тока и напряжения сети, что требует обязательного применения фильтров высших гармоник тока.

Установка «Мультиплаз - 2500» имеет однофазный источник питания плазменной дуги инверторного типа и поэтому выше перечисленные нормы и показатели КЭ весьма актуальны для нее.

Установка «Мультиплаз - 2500» предназначена для сварки, пайки и резки различных материалов. Она позволяет сваривать

черные и низколегированные стали, в том числе некоторые сорта нержавеющих сталей, сплавы алюминия, сплавы медной группы и чугуны. Технологические возможности установки позволяют также осуществлять процессы резки и пайки различных сочетаний металлов.

Технические характеристики установки «Мультиплаз – 2500» приведены в таблице 8.

Таблица 8

Наименование параметра	Ед. изм.	Величина
Напряжение питающей сети, однофазное	В	220
Частота питающей сети	Гц	50-60
Потребляемая мощность, максимальная	Вт	2500
Габаритные размеры источника питания	мм	325x170x115
Масса блока питания	кг	5,5
Масса плазменной горелки (плазматрона)	кг	0,7
Температура пламени, максимальная	°С	8000
Расход рабочей жидкости (вода или смесь вода-спирт), максимальный	л/час	0,25
Напряжение х.х. (сопло-металл), не более	В	48



Рисунок 11. Внешний вид установки «Мультиплаз – 2500»

Техническое описание и принцип работы

Плазменная установка "Мультиплаз-2500" является генератором низкотемпературной плазмы, полученной путём нагрева до температуры ионизации паров рабочей жидкости, заливаемой в горелку перед проведением работ. Установка состоит из блока питания и плазменной горелки.

Блок питания

Блок питания инверторного типа с принудительным воздушным охлаждением выполняет функции стабилизатора тока и имеет крутопадающую выходную характеристику. Устойчивая стабилизация тока электрической дуги в плазменной горелке при номинальном напряжении сети (220В) осуществляется в диапазоне выходных напряжений от 80 до 220 вольт. На передней панели блока питания находятся: органы управления, выходной разъем кабеля горелки, разъем заземления и индикаторы.

На задней панели блока питания находятся электрокабель с вилкой и вентилятор.

Горелка (плазматрон)

Горелка является основной частью установки, генерирующей низкотемпературную плазму. Горелка состоит из следующих частей: см. рисунок 13.

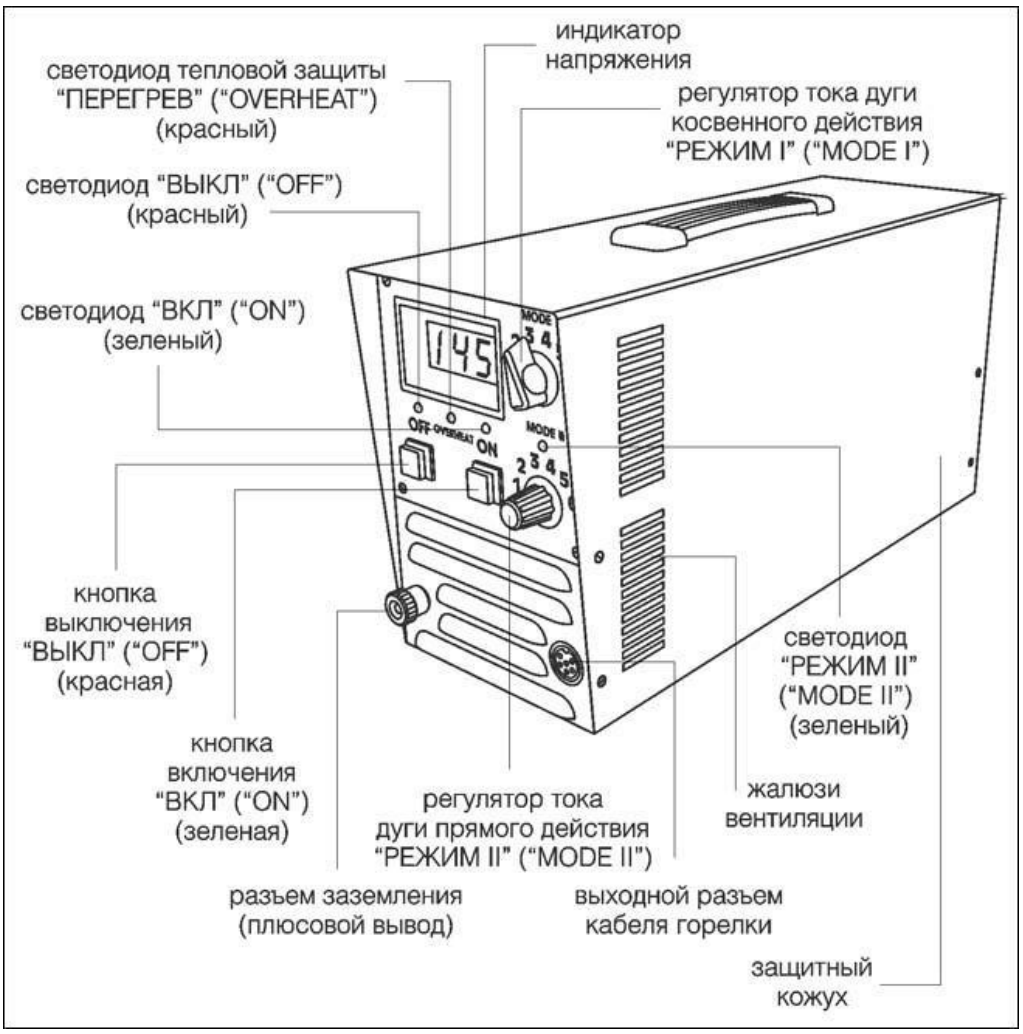


Рисунок 12. Передняя панель установки

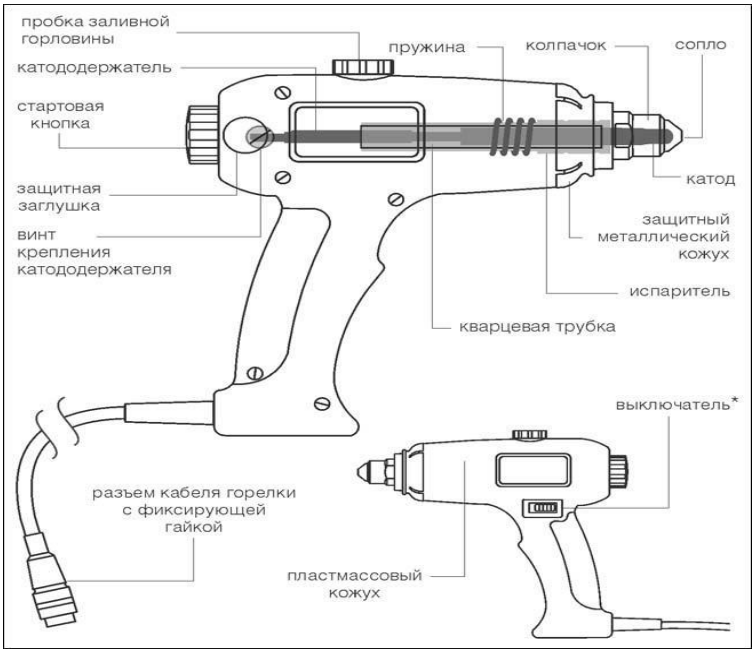


Рисунок 13. Схема горелки

Принцип работы горелки

Оператор, после заправки горелки рабочей жидкостью и включения блока питания, для возбуждения дуги кратковременно нажимает стартовую кнопку. При этом происходит замыкание катода и сопла горелки. В момент отпускания стартовой кнопки между катодом и соплом возникает электрическая дуга. Энергия дуги разогревает сопло, сопло разогревает испаритель, испаритель разогревает рабочую жидкость, превращая её в пар. Пар под действием внутреннего давления (0,4 - 1,0 атм.) устремляется к единственному выходному отверстию в сопле. Выходя через отверстие в сопле, пар увлекает за собой электрическую дугу и сжимает её. Сжатие дуги приводит к повышению её температуры. Сжатая электрическая дуга нагревает пар до температуры ионизации.

Установка может работать в двух режимах. Режим дуги косвенного действия "РЕЖИМ I" ("MODE I"). Дуга горит между катодом и соплом. Переносчиком энергии на обрабатываемый материал является только плазменная струя. Режим дуги прямого действия "РЕЖИМ II" ("MODE II"). В цепь режущего (сварочного) тока включен обрабатываемый электропроводный материал и дуга горит между ним и катодом внутри плазменной струи. За счет этого тепловая энергия, поступающая на обрабатываемый материал, существенно увеличивается.

Меры безопасности при работе

Безопасность плазменной установки "Мультиплаз 2500"обеспечивается конструкторскими решениями, производственной и эксплуатационной документацией. В конструкции установки предусмотрен ряд автоматических защит, выключающих выходное напряжение блока питания в следующих случаях:

- наличие короткого замыкания в горелке в течение пяти секунд;
- превышение допустимой температуры горелки и блока питания;
- обрыв цепи датчика температуры горелки;
- наличие на выходе блока питания напряжения холостого хода свыше пяти секунд.

Безопасность аппарата обеспечивается также ограничением напряжения холостого хода между соплом горелки и обрабатываемым металлом (корпусом блока) значением менее 48 вольт при отсутствии дуги прямого действия.

Необходимо исключить попадание расплавленного металла и пламени горелки на блок питания.

Нельзя располагать блок питания вблизи нагревательных приборов.

При работе необходимо использовать трехпроводный сетевой удлинитель с сечением проводов не менее 1,5мм^2 и сопротивлением провода заземления до 0,1 Ом.

Запрещается!

Проводить работы с установкой без специальных защитных очков с темными стеклами, а при работе в "РЕЖИМЕ II" ("MODE II") - без маски сварщика. Рекомендуемая степень затемнения 4 DIN для работы в "РЕЖИМЕ I" ("MODE I") и 5,5 DIN для работы в "РЕЖИМЕ II" ("MODE II").

Обрабатывать горелкой свежеокрашенные конструкции.

Работать в одежде с пятнами горючих веществ.

Работать с предметами, заполненными опасными веществами, льдом, а также находящимися под давлением или электрическим напряжением.

Работать с окрашенными и оцинкованными материалами, с флюсами в непроветриваемом помещении.

Нарушать "Правила безопасной эксплуатации электроустановок потребителей" и требования стандартов системы безопасности труда по ГОСТ 12.3.003-86 и ДСТУ 2456-94.

Пользоваться сетевой розеткой без заземления.

Работать на металлическом и сыром полу без изолирующего коврика для ног.

Устанавливать блок питания и работающую горелку на поверхность с наклоном больше 10° без фиксаторов от опрокидывания.

Работать в пыльных помещениях и помещениях, где ведется абразивная обработка металлов.

Использовать аппарат лицам, не достигшим 18-ти летнего возраста.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. Используя руководство по эксплуатации, ознакомьтесь с конструкцией установки, расположением всех ее основных узлов, органов управления и соединений.

2. Подготовьте установку к проведению сварки.

3. Соберите электрическую цепь для проведения испытаний установки под нагрузкой в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 14.

3. Запустите плазмотрон:

- переведите регулятор "РЕЖИМ I" ("MODE I") в положение "4";

- нажмите кнопку "ВКЛ" ("ON") блока питания;

- убедитесь, что загорелся светодиод “ВКЛ” (“ON”) и показания индикатора напряжения находятся в пределах от 250 до 350 В;

- в течение 5 секунд после нажатия кнопки “ВКЛ” (“ON”) нажмите до упора стартовую кнопку (при касании катода с соплом напряжение упадет до 0 - 5 В) и плавно отпустите ее (напряжение на загоревшейся дуге составит 20 - 80 В);

- через несколько секунд из сопла плазмотрона должен появиться факел, а напряжение увеличится до 80 - 160 В.

4. Отрегулируйте режим работы

Режим работы регулируется изменением величины тока и напряжения. Сила тока регулируется на передней панели блока питания регуляторами тока. Сила тока в режиме дуги косвенного действия устанавливается регулятором “РЕЖИМ I” (“MODE I”)

Положение регулятора "РЕЖИМ I" ("MODE I")	1	2	3	4	5	6
Сила тока, А (в режиме дуги косвенного действия)	2,5	3,5	4,5	5,5	7	8,5

Сила тока в режиме дуги прямого действия устанавливается регулятором “РЕЖИМ II” (“MODE II”) и изменяется от значения, установленного регулятором “РЕЖИМ I” (“MODE I”), до 8,5А в положении“6”.

Перед каждым переключением регулятора тока “РЕЖИМ I” (“MODE I”) на одно положение убедитесь, что показания индикатора напряжения находятся в интервале 140 - 180 В.

Напряжение косвенной дуги регулируется вращением стартовой кнопки горелки. Вращение по часовой стрелке увеличивает напряжение, против - понижает. Величина напряжения отображается при этом на индикаторе блока питания.

5. Проведите сварку в режиме дуги косвенного действия (“РЕЖИМ I” (“MODE I”) при разных значениях сварочного тока, одновременно снимайте показания амперметра, фазометра и анализатора AR-5:

- сварка в режиме дуги косвенного действия сходна с газовой сваркой. Величину тока устанавливайте переключением регулятора “РЕЖИМ I” (“MODE I”) соблюдая последовательность переключения, в соответствии с толщиной металла и рекомендациями “Технологического приложения”.

Сварка в режиме дуги прямого действия сходна с аргонно-дуговой сваркой:

- подсоедините зажим провода держателя присадки к свариваемой детали и запустите горелку;
- включите режим дуги прямого действия повернув переключатель “РЕЖИМ II” (“MODE II”) до загорания светодиода “РЕЖИМ II” (“MODE II”);
- поднесите сопло с "горящим" факелом к свариваемой детали на расстояние 1,5 - 2,0 мм;
- убедитесь, что электрическая дуга «соединилась» со свариваемой деталью; не допускайте соприкосновения сопла с деталью. Старайтесь поддерживать расстояние между соплом и деталью 3 - 7 мм;
- при сварке держите горелку с наклоном около 70^{o} к свариваемой поверхности, одновременно снимайте показания амперметра, фазометра и анализатора AR-5. Проведите сварку при разных значениях сварочного тока.

Запрещается

- Применять присадочную проволоку без держателя присадки и перчаток сварщика.
- Работать в режиме дуги прямого действия без перчаток и маски сварщика. Рекомендуемая степень затемнения 5,5 DIN.

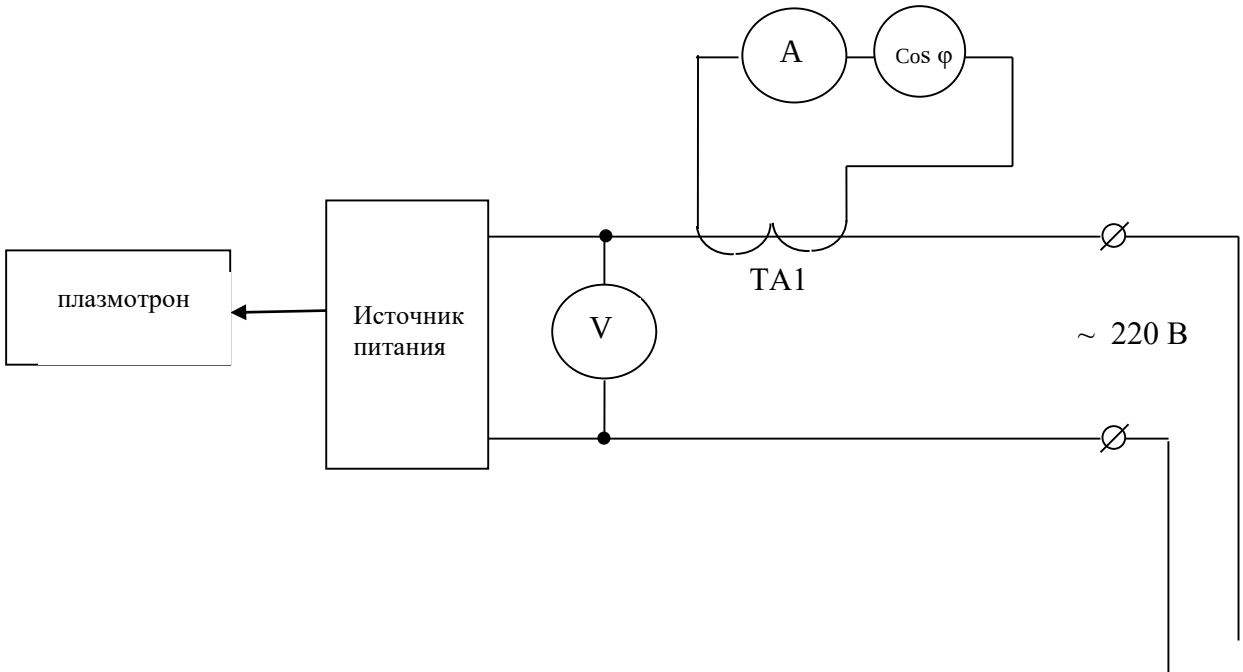
6. Запишите показания приборов в таблицу 9.

Таблица 9

Вид режима дуги	Показания приборов				
	V, В	I, А	P, кВт	Q, кВА	Cos φ
Сварка дугой косвенного действия					
Сварка дугой прямого действия					

4. Задаваясь различными значениями тока нагрузки, получите данные для построения характеристик. Постройте графическую зависимость коэффициента мощности от силы сварочного тока.

5. Сформулируйте вывод с перечнем рекомендаций по эффективной эксплуатации установки.



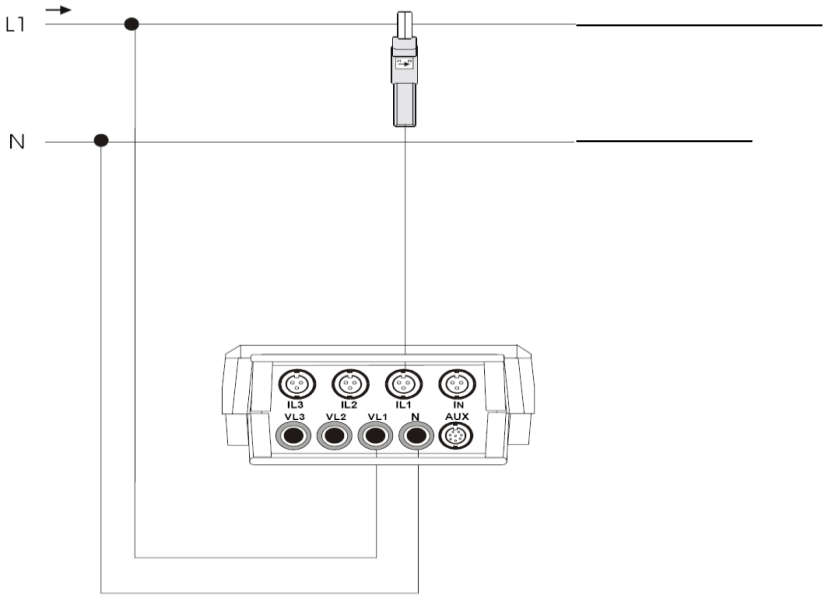


Рисунок 14. Схема внешних соединений

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фомичев Е.П. Электротехнологические промышленные установки. Киев: Вища школа,1979. - 264 с.
2. Электротехнологические промышленные установки /Под ред. А.Д. Свенчанского. М.: Энергоиздат, 1982. - 400 с.
3. Свенчанский А.Д., Трейзон З.Л. и др. Автоматизация электротермических установок – М.: Энергия, 1980.
4. Браткова О.Н. Источники питания сварочной дуги. – М.: Высшая школа. 1982. – 182 с.