

Министерство образования и науки Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет
Институт машиностроения
Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

Г.М. Короткова, К.В. Моторин

СВАРОЧНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Лабораторный практикум



УДК 621.791.75(076,5)

ББК 34.641.51-5я73

Рецензенты:

канд. техн. наук, доцент Поволжского государственного
университета сервиса *Н.И. Чернявский*;

канд. техн. наук, доцент Тольяттинского государственного
университета *Д.А. Семистенов*.

Научный редактор Д.А. Семистенов.

Короткова, Г.М. Сварочные трансформаторы : лабораторный практикум / Г.М. Короткова, К.В. Моторин ; науч. ред. Д.А. Семистенов. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2018. – 1 оптический диск.

Даны краткие теоретические сведения по разделу «Сварочные трансформаторы» (дисциплина «Источники питания для сварки»), варианты лабораторных работ, порядок их проведения и основные уравнения сварочных трансформаторов.

Приведены требования к порядку выполнения работ, содержанию отчета, вопросы для самоконтроля.

Практикум предназначен для студентов направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение», направленность «Оборудование и технология сварочного производства» (бакалавры), очной и заочной форм обучения.

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; PIII 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский
государственный университет», 2018



Редактор *Г.В. Данилова*

Технический редактор *Н.П. Крюкова*

Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*

Художественное оформление,

компьютерное проектирование: *И.В. Карасев, Г.В. Карасева*

Дата подписания к использованию 20.02.2018.

Объем издания 33 Мб.

Комплектация издания: компакт-диск, первичная упаковка.

Заказ № 1-92-16.

Издательство Тольяттинского государственного университета

445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,

тел. 8 (8482) 53-91-47, www.tltsu.ru

Содержание

Введение	5
Теоретические сведения	6
Лабораторная работа 1. ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ТС-100 С СЕКЦИОНИРОВАННЫМИ ОБМОТКАМИ	9
Лабораторные работы 2, 3, 4. ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ПОДВИЖНЫМИ МАГНИТНЫМИ ШУНТАМИ ТДМ-140, FERM CONCEPT 310, «РУСИЧ-200»	18
Лабораторная работа 5. ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА С НЕПОДВИЖНЫМИ МАГНИТНЫМИ ШУНТАМИ ТС-200	26
Лабораторная работа 6. ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ШУНТОМ ТС-150	32
Лабораторные работы 7, 8. ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ПОДВИЖНЫМИ ОБМОТКАМИ ТС-300, ТДМ-402 У2	41
Лабораторная работа 9. ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ВИТЫМ МАГНИТОПРОВОДОМ ТС-125	48
Библиографический список	54
Приложение	55

ВВЕДЕНИЕ

Современное состояние всех областей техники на промышленных предприятиях характеризуется разнообразием технологических процессов мелкосерийного и массового производств. Разнообразие процессов сварки плавлением определяет разнообразие источников питания сварочной дуги как по роду тока, так и по способу управления ими.

В настоящее время для сварки конструкционных низколегированных и низкоуглеродистых сталей успешно применяют ручную дуговую сварку покрытыми электродами на переменном токе. В качестве источников питания переменного тока для сварки покрытыми электродами используют сварочные трансформаторы. Кроме этого, сварочные трансформаторы входят в состав других источников, таких как сварочные установки, выпрямители.

В связи с этим становится очевидной необходимость подготовки выпускников по направленности «Оборудование и технология сварочного производства», которые могли бы решать исследовательские и производственные задачи с учетом знания особенностей конструкций сварочных трансформаторов, обеспечивающих высокие технологические свойства и энергетические показатели. Соответствующие требования с этой точки зрения предъявляются к объему профессиональной подготовки выпускников вуза.

В учебном плане предусмотрено изучение дисциплины «Источники питания для сварки». Программа этой дисциплины предусматривает в том или ином объеме изучение разделов «Сварочные трансформаторы», «Установки для сварки на переменном токе», «Сварочные выпрямители» на лабораторных занятиях.

В лабораторном практикуме (раздел «Сварочные трансформаторы») рассмотрены вопросы теории, конструкции, принцип работы и характеристики основных типов сварочных трансформаторов.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Однофазные сварочные трансформаторы для ручной дуговой сварки — это источники питания переменного тока, которые выпускаются с жесткими, падающими или крутопадающими внешними вольт-амперными характеристиками (ВАХ) $U_2 = f(I_2)$ (рис. 1).

Сварочным трансформатором называется электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования одной системы переменного тока в другую с малым напряжением и большим током.

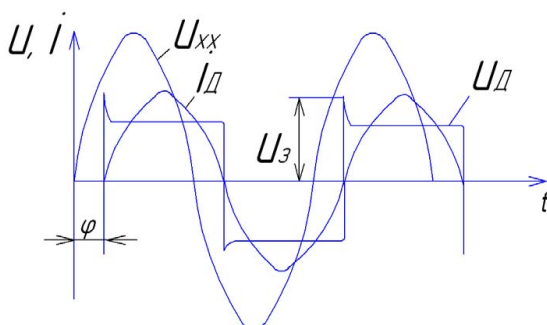


Рис. 1. Форма тока и напряжения сварочной дуги

Падающая вольт-амперная характеристика создается за счет увеличения индуктивности рассеяния X_s самого трансформатора или дросселя, который включается последовательно с трансформатором.

Уравнение внешней вольт-амперной характеристики трансформатора может быть представлено в виде [1; 2; 3]:

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_{xx} - \underline{I}_2 Z, \quad (1)$$

где U_2 , I_2 — вторичные напряжения и ток трансформатора; U_{xx} — напряжение холостого хода; $Z = jX + R$ — полное комплексное сопротивление.

Здесь $X = X_T + X_P$ — индуктивное сопротивление трансформатора и дросселя; $R = R_T + R_P + R_D$ — активные сопротивления трансформатора, дросселя, дуги; j — коэффициент перевода.

После подстановки Z , уравнение (1) примет вид:

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_{xx} - jI_2 \cdot (x_T + x_P) - I_2 \cdot (R_T + R_P + R_D). \quad (2)$$

Из уравнения (2) следует, что формирование вольт-амперной характеристики $U_2(I_2)$ связано с падением напряжения на индуктивных сопротивлениях (X_T или X_p).

Падением напряжения в активных сопротивлениях цепи (R_T , R_p) пренебрегаем, полагая, что $R_T \approx 0$, $R_p \approx 0$, которое определяется сопротивлением проводов обмоток.

Жесткая внешняя вольт-амперная характеристика трансформатора формируется в том случае, если $X_T \approx 0$. Падающую вольт-амперную характеристику можно создать за счет включения последовательно с трансформатором активного сопротивления.

Ток дуги приближенно определим по уравнению [1]

$$I_d \approx \frac{\sqrt{U_{xx}^2 - U_d^2}}{Z}, \quad (3)$$

где U_{xx} — напряжение холостого хода трансформатора, В; U_d — напряжение дуги, В; Z — полное комплексное сопротивление.

В состоянии устойчивого равновесия системы «источник — дуга» $U_d = U_{и}$, тогда статическая ВАХ дуги $U_d(I_d)$ и внешняя ВАХ трансформатора $U_{и}(I_{и})$ должны иметь как минимум одну точку пересечения т. А1 (рис. 2).

Напряжение U_{xx} трансформаторов для ручной дуговой сварки должно быть не более 80 В, при автоматической сварке под слоем флюса может составлять 120 В.

Напряжение на дуге при сварке покрытыми электродами может изменяться от 18 до 42 В в зависимости от длины дуги, диаметра электрода, марки электрода и других параметров (рис. 2). Наличие в покрытии электрода ионизирующих компонентов (калий, кальций, натрий) обеспечивает стабильность горения дуги и смену полярности при сварке на переменном токе.

Из уравнения (3) следует, что ток дуги I_d может быть функцией индуктивного сопротивления X_T при отсутствии дросселя $X_p = 0$, т. е. $I_d = f(X_T)$. При малом индуктивном сопротивлении трансформатора $X_T \approx 0$ и при отсутствии дросселя $X_p = 0$ ток регулируется активным сопротивлением $I_d = f(R)$ (3), т. е. знаменатель имеет минимальное значение, а величина тока дуги — максимальная.

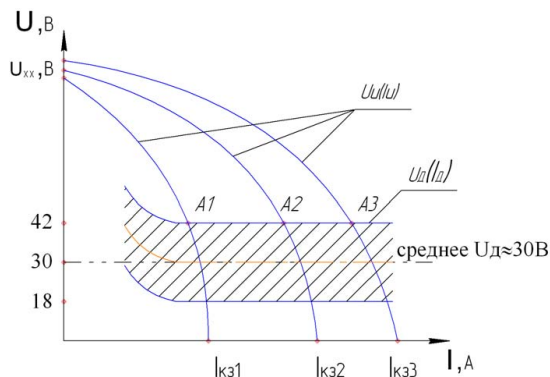


Рис. 2. Статистические вольт-амперные характеристики дуги при сварке покрытыми электродами и внешние характеристики трансформатора

Коэффициент полезного действия η сварочных трансформаторов определяется в точках устойчивого равновесия системы «источник питания – дуга» A1, A2, A3, когда выполняется условие $I_{\text{д}} = I_{\text{и}}$, $U_{\text{д}} = U_{\text{и}}$:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{I_2 U_2}{I_1 U_1} \cdot \frac{\cos \varphi_2}{\cos \varphi_1} = \frac{I_{\text{д}} \cdot U_{\text{д}} \cdot \cos \varphi_2}{I_1 \cdot U_1 \cdot \cos \varphi_1}, \quad (4)$$

где P_1 – активная мощность первичной цепи, Вт; P_2 – активная мощность сварочной цепи в точках устойчивого равновесия системы, Вт; φ – угол сдвига тока дуги ($I_{\text{д}} = I_2$) относительно напряжения холостого хода (рис. 1): $\cos \varphi_1 \approx \cos \varphi_2 = 0,45\text{--}0,55$ [1].

Лабораторная работа 1

ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА ТС-100 С СЕКЦИОНИРОВАННЫМИ ОБМОТКАМИ

Цель работы — изучить конструкцию сварочного трансформатора с секционированными обмотками, принцип формирования внешней вольт-амперной характеристики и способ регулирования тока дуги.

Оборудование и приборы

1. Т1 — сварочный трансформатор типа ТС-100 (рис. 3).
2. R1 — активное сопротивление типа РБ-300.
3. pV_1 , pV_2 — вольтметры электромагнитной системы.
4. pA_1 , pA_2 — амперметры электромагнитной системы.
5. Т2 — трансформатор тока.

Программа работы

1. Изучить конструкцию сварочного трансформатора и способ регулирования сварочного тока.
2. Собрать сварочную цепь с измерительными приборами.
3. Снять показания приборов при трех положениях регулятора сварочного тока в режимах х.х., нагрузка, к.з. Заполнить табл. 1 и 2.
4. Построить графики, провести расчеты и сделать выводы по работе.

Описание сварочного трансформатора ТС-100

Назначение

Сварочный трансформатор ТС-100 предназначен для ручной дуговой сварки покрытыми электродами и может применяться в бытовых условиях при питании от сети 220 В (рис. 3).

Напряжение на дуге при сварке покрытыми электродами может изменяться от 18 до 42 В в зависимости от длины дуги, диаметра электрода, марки электрода и других параметров (рис. 4). Для расчета КПД трансформатора принимаем $U_d = (25-30)$ В. Наличие

в покрытии электрода ионизирующих компонентов (калий, кальций, натрий) обеспечивает стабильность горения дуги при смене полярности переменного тока.



Рис. 3. Внешний вид сварочного трансформатора ТС-100
(изготовил студент С.И. Курисев)

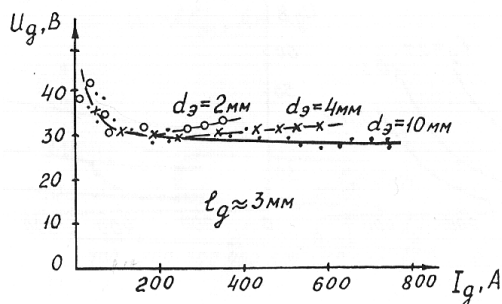


Рис. 4. Статические вольт-амперные характеристики дуги
при сварке покрытым электродом

Описание конструкции

Сварочный трансформатор ТС-100 (рис. 5) состоит из двух разнесенных относительно друг друга катушек W_1 и W_2 первичной обмотки с отпайками, расположенными на разных стержнях магнитопровода, и двух катушек вторичной обмотки W_3 и W_4 , разнесенных между собой по стержню на расстояние ϵ .

Разнесение первичных и вторичных обмоток позволяет создать повышенные магнитные потоки рассеяния Φ_s , а следовательно, и большое индуктивное сопротивление X_s трансформатора. Все катушки первичной и вторичной обмоток закрепляют неподвижно относительно друг друга на стержнях магнитопровода. Шихтованный магнитопровод собран из листовой электротехнической стали.

Регулирование тока дуги производится изменением числа витков в первичной обмотке.

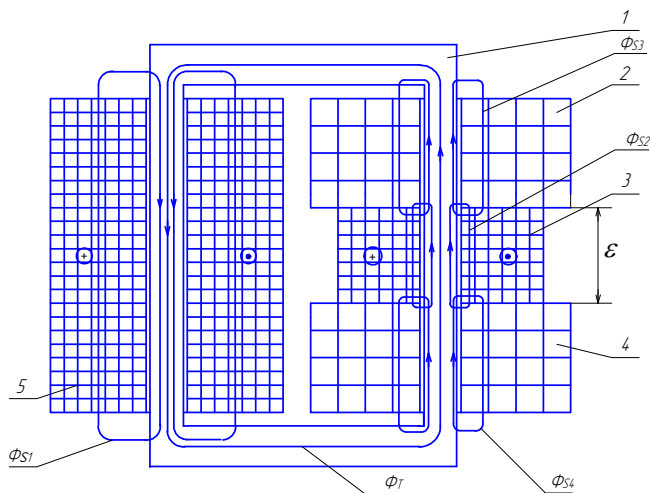


Рис. 5. Электромагнитная схема трансформатора ТС-100:
1 — магнитопровод; 2, 4 — вторичные обмотки W_3 , W_4 ;
3, 5 — первичные обмотки W_1 , W_2

Работа схемы поста

Однофазный сварочный трансформатор с секционированными обмотками ТС-100 относится к трансформаторам с увеличенными потоками рассеяния [4].

Напряжение сети $U_1 = 220$ В подается на первичную обмотку через контакты автомата S_1 (рис. 6).

В режиме холостого хода под действием напряжения U_1 по первичным обмоткам W_1 , W_2 проходит ток холостого хода I_{xx} . Магнитодвижущие силы F_1 , F_2 , равные $I_{xx} \cdot W_1$ и $I_{xx} \cdot W_2$, создают магнитный поток Φ_T . Из-за большого расстояния между обмотками часть магнитного потока Φ_{S1} , минуя вторичную обмотку, замыкается только по воздуху, другая часть Φ_{S2} — по воздуху и вторичным обмоткам W_3 и W_4 (рис. 5).

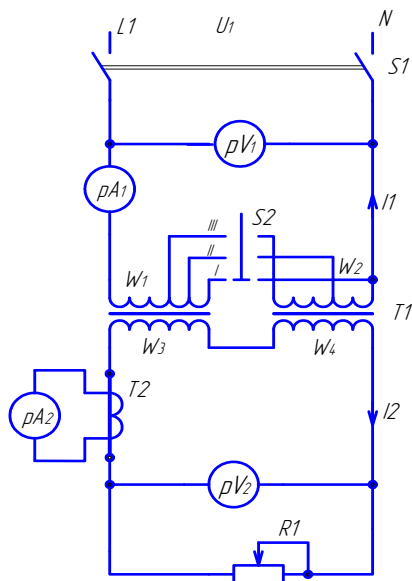


Рис. 6. Принципиальная схема сварочного поста:
 Т1 – сварочный трансформатор; Т2 – трансформатор тока;
 R1 – нагрузка сварочного трансформатора для снятия внешней
 вольт-амперной характеристики ТС-100

Суммарный магнитный поток Φ трансформатора определяется суммой потоков (рис. 5):

$$\Phi = \Phi_T + \Phi_{S1} + \Phi_{S2}. \quad (5)$$

Магнитный поток Φ_T , пронизывая витки вторичной обмотки, создает в ней электродвижущую силу E_2 . В режиме холостого хода $U_2 = E_2$.

В схеме предусмотрено изменение числа витков первичных обмоток W_1 и W_2 переключателем S_2 , а следовательно, и намагничивающих сил F_1 и F_2 , от которых зависят величины магнитных потоков рассеяния Φ_{S1} , Φ_{S2} (рис. 5). Это позволяет регулировать магнитный поток Φ_T в магнитопроводе.

Таким образом, напряжение холостого хода зависит от потоков рассеяния, величина которых определяется обмотками W_1 и W_2 , т. е. $U_{xx} = f(W_1 + W_2)$.

В режиме нагрузки под действием напряжения сети U_1 в первичной обмотке ток I_1 создает $F_1 = I_1 \cdot W_1$ и $F_2 = I_1 \cdot W_2$, во вторичной обмотке ток I_2 создает $F_3 = I_2 \cdot W_3$ и $F_4 = I_2 \cdot W_4$.

Магнитодвижущие силы $F_1 \dots F_4$ создают магнитные потоки $\Phi_1 \dots \Phi_4$. Их суммарный магнитный поток Φ_T проходит только по магнитопроводу трансформатора (рис. 5), а потоки рассеяния Φ_{s1} , Φ_{s2} , Φ_{s3} и Φ_{s4} замыкаются в пространстве между обмотками.

Суммарный поток рассеяния, действующий между обмотками:

$$\Sigma \Phi_s = \Phi_{s1} + \Phi_{s2} - \Phi_{s3} - \Phi_{s4}, \quad (6)$$

где Φ_{s1} , Φ_{s2} — потоки рассеяния, сцепленные только с первичной обмоткой; Φ_{s3} , Φ_{s4} — потоки рассеяния, сцепленные с вторичной обмоткой. Полный магнитный поток трансформатора:

$$\Phi = \Phi_T + \Sigma \Phi_s. \quad (7)$$

Регулированием числа витков W_1 и W_2 изменяется $\Sigma \Phi_s$, а следовательно, и магнитный поток трансформатора:

$$\Phi_T = \Phi - \Sigma \Phi_s.$$

В трансформаторе предусмотрены три ступени регулирования.

На первой ступени число витков первичной обмотки $W_1 = 296$, а $W_2 = 0$. Это означает, что $F_1 = I_1 \cdot W_1$, $\Sigma \Phi_s = \Phi_{s1} - \Phi_{s3} - \Phi_{s4}$, $\Phi_{s2} = 0$ (рис. 5). На этой ступени Φ_T минимальной величины, следовательно, и $I_{д \min}$.

На второй ступени $W_1 = 0,8W_1$ и $W_2 = 0,5W_2$ витков. Суммарное число витков 240. Это означает, что $\Phi_T \approx 0,8\Phi_1 + 0,5\Phi_2$, а $\Sigma \Phi_s \approx 0,8\Phi_{s1} + 0,5\Phi_{s2} - \Phi_{s3} - \Phi_{s4}$. На этой ступени Φ_T средней величины, следовательно, и $I_{д \text{ ср}}$ (рис. 5).

На третьей ступени $W_1 = 0,7W_1$ витков и W_2 полностью включены, тогда число витков в сумме составляет 220. В этом случае $\Phi_T \approx 0,7\Phi_1 + \Phi_2$, а $\Sigma \Phi_s \approx 0,7\Phi_{s1} + \Phi_{s2} - \Phi_{s3} - \Phi_{s4}$. На этой ступени Φ_T максимальной величины, следовательно, и $I_{д \max}$ (рис. 5).

Уравнение ЭДС для вторичной обмотки в режиме нагрузки:

$$\underline{U}_2 = \underline{E}_2 + \Sigma \underline{E}_3 - I_2 R_2, \quad (8)$$

где E_2 — ЭДС вторичной обмотки; $\Sigma E_3 = -jI_2 X_s$ — сумма ЭДС, созданных потоками рассеяния; X_s — индуктивное сопротивление трансформатора; $I_2 R_2$ — падение напряжения в активных сопротивлениях сварочной цепи.

Активное сопротивление сварочной цепи R_2 значительно меньше индуктивного сопротивления трансформатора X_s , поэтому величиной его пренебрегаем. Тогда уравнение ЭДС для вторичной обмотки:

$$\underline{U}_2 = \underline{E}_2 - j\underline{I}_2 X_s. \quad (9)$$

Внешняя вольт-амперная характеристика формируется за счет потоков рассеяния $\Sigma \Phi_s$, которые создаются секционированием и разнесением обмоток. Падающая вольт-амперная характеристика трансформатора, пересекаясь со статической характеристикой дуги, образует точку равновесия энергетической системы или точки устойчивого горения дуги.

Ток дуги регулируется изменением числа витков первичной обмотки (три ступени регулирования).

В режиме к.з. величина $I_{кз}$ ограничена значениями напряжения холостого хода U_{xx} и индуктивным сопротивлением трансформатора X_s :

$$I_{кз} \approx U_{xx} / X_s.$$

Начальное возбуждение дуги при ручной дуговой сварке производится с к.з.

Коэффициент полезного действия η сварочных трансформаторов определяется в точках устойчивого горения дуги при $I_{и} = I_{д}$ и $U_{и} = U_{д}$ по формуле (4).

Указания и пояснения по выполнению работы

1. Собрать схему сварочного поста с измерительной аппаратурой (рис. 6).
2. Определить цену делений и заполнить табл. 1.
3. Установить первую ступень регулирования тока.

Внимание! Включать питающее напряжение можно только после проверки схемы преподавателем или лаборантом!

4. Записать показания приборов в табл. 2 в режимах холостого хода, нагрузок, изменяя количество замкнутых контактов R_n , и короткого замыкания. Далее изменить число витков первичной обмотки, установив переключатель на вторую, затем на третью ступень. Продолжить запись показаний для всех режимов (х.х., нагрузка, к.з.).

5. Построить графики:

- внешней вольт-амперной характеристики $U_2 = f(I_2)$ трансформатора для трех ступеней в одних координатных осях;
- статической вольт-амперной характеристики дуги для ручной дуговой сварки $U_d = f(I_d)$ в тех же координатных осях, что и $U_2 = f(I_2)$ (график перенести с рис. 4).

6. Определить по графику максимальный и минимальный ток дуги и рассчитать кратность регулирования $K_p = I_{d \max} / I_{d \min}$.

7. Рассчитать значения η по формуле (4) для точек устойчивого равновесия системы. (Значения I_1 рассчитать в случае необходимости.)

8. Определить коэффициент трансформации в режиме холостого хода:

$$K_{mp} \approx \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{W_1 + W_2}{W_3 + W_4}. \quad (10)$$

Содержание отчета

1. Титульный лист (приложение).
2. Название лабораторной работы.
3. Цель работы.
4. Электромагнитная схема сварочного трансформатора, электрическая схема поста с измерительной аппаратурой.
5. Табл. 1 и 2.
6. Графики зависимостей $U_2 = f(I_2)$ для трех ступеней и $U_d = f(I_d)$ в одних координатных осях; $I_d = f(W_1 + W_2)$. Выводы.

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких узлов состоит сварочный трансформатор ТС-100?
2. Какой внешней ВАХ обладает сварочный трансформатор ТС-100 и за счет чего она формируется?
3. За счет чего регулируется величина сварочного тока и чему равен $K_{рег}$?
4. Какие значения КПД получены в работе?
5. В каких пределах изменяется величина X_s ?
6. Какие материалы можно сваривать на ТС-100, каким диаметром электрода?
7. Укажите недостатки конструкции.

Таблица 1

Измерительные приборы (пример)

№	Условные обозначения приборов в схеме	Измеряемый параметр	Цена деления (пример)	Дата гос. проверки*
1	pA_1	I_1, I_{xx}	5 А/дел	10.01.2016
2	pU_1	U_1		
3	pA_2	$I_2, I_{кз}$		
4	T_2	$I_2, I_{кз}$		
5	pU_2	U_{xx}, U_2, U_d		

* Проводится через полтора года.

Таблица 2

Результаты измерений и расчетов

Кол-во витков $W_1 + W_2$	Ре-жим	Измерение				Расчет			
		$U_1, В$	$U_2, В$	$I_1, А$	$I_2, А$	$P_1, ВА$	$P_2, ВА$	η	$X_s, Ом$
1 сту-пень (296)	XX								
	H1								
	H2								
	H3								
	H4								
	H5								
	H6								
	K3								
2 сту-пень (240)	XX								
	H1								
	H2								
	H3								
	H4								
	H5								
	H6								
	K3								

Кол-во витков $W_1 + W_2$	Ре- жим	Измерение				Расчет			
		U_1 , В	U_2 , В	I_1 , А	I_2 , А	P_1 , ВА	P_2 , ВА	η	X_s , Ом
3 сту- пень (220)	ХХ								
	Н1								
	Н2								
	Н3								
	Н4								
	Н5								
	КЗ								

Лабораторные работы 2, 3, 4

ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ПОДВИЖНЫМИ МАГНИТНЫМИ ШУНТАМИ ТДМ-140, FERM CONCEPT 310, «РУСИЧ-200»

Цели работы: изучить принцип работы сварочного трансформатора с магнитным шунтом, принцип формирования вольт-амперной характеристики, способ регулирования тока и область применения, приобрести навыки работы с оборудованием.

Оборудование и приборы

1. Т1 — сварочный трансформатор с магнитным шунтом ТДМ-140, «Русич-200» или Ferm Concept 310 (рис. 8).
2. R_n — активное сопротивление типа РБ-300.
3. pV1, pV2 — вольтметры электромагнитной системы.
4. pA1, pA2 — амперметры электромагнитной системы.
5. Т2 — трансформатор тока.

Программа работы

1. Изучить конструкцию сварочного трансформатора с подвижным магнитным шунтом и способ регулирования сварочного тока.
2. Собрать сварочную цепь с измерительными приборами.
3. Снять показания приборов при трех положениях регулятора сварочного тока в режимах х.х., нагрузка, к.з. Заполнить табл. 2. (лабораторная работа 1).
4. Построить графики, провести расчеты и сделать выводы.

Описание сварочного трансформатора с подвижным магнитным шунтом

Назначение

Сварочные трансформаторы с подвижными магнитными шунтами предназначены для ручной дуговой сварки при питании от сети $U_1 = 220$ В. Напряжение на дуге при сварке покрытыми электродами может изменяться от 18 до 42 В в зависимости от длины дуги, диаметра электрода, марки электрода и других параметров (рис. 4 в лабо-

раторной работе 1). Наличие в покрытии электрода ионизирующих компонентов (калий, кальций, натрий) обеспечивает стабильность горения дуги при смене полярности переменного тока.

Описание конструкции трансформаторов ТДМ-140 и Ferm Concept 310

Сварочный трансформатор броневого типа состоит из замкнутого Ш-образного магнитопровода (рис. 7), на среднем стержне которого закреплены первичная W_1 и вторичная W_2 обмотки, разнесенные относительно друг друга на расстояние ε . Между обмотками расположен магнитный шунт 3, который может перемещаться между боковыми стержнями магнитопровода с помощью винтовой пары.

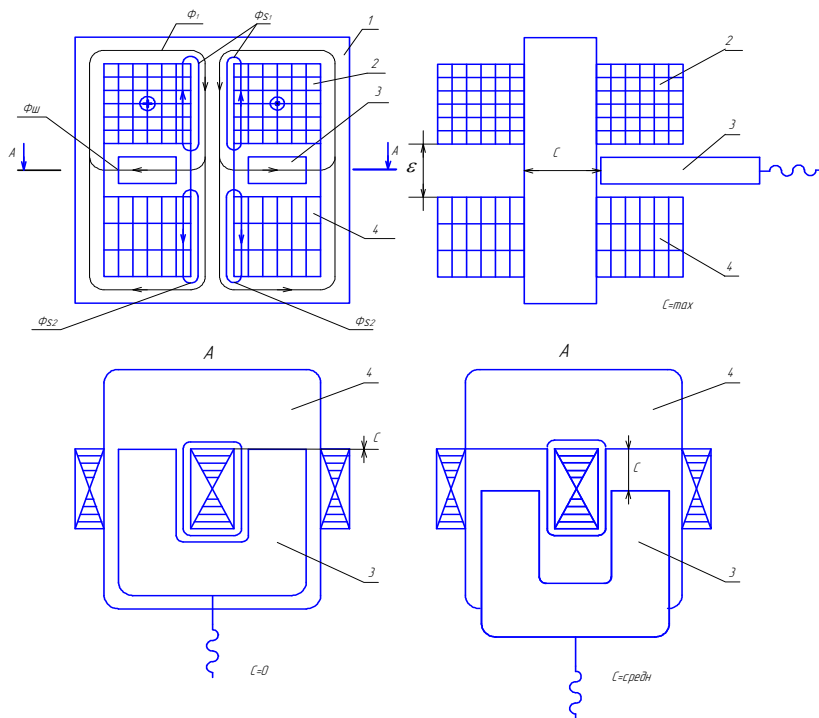


Рис. 7. Электромагнитная схема сварочных трансформаторов ТДМ-140 и Ferm Concept 310: 1 – магнитопровод; 2 – первичная обмотка W_1 ; 3 – магнитопровод шунта; 4 – вторичная обмотка W_2

Работа схемы поста

Напряжение сети $U_1 = 220$ В подается через контакты автоматов QF и S на первичную обмотку W_1 (рис. 10).

В режиме холостого хода сварочная цепь разомкнута (ножи балластного реостата R_H разомкнуты) и ток во вторичной цепи I_2 равен нулю $I_2 = 0$.

В режиме нагрузки предполагается формирование сварного соединения с заданными параметрами, когда $U_d \neq 0$, $I_d \neq 0$. Сопротивление дуги R_d заменено активным сопротивлением нагрузки R_H , величина которого регулируется количеством замкнутых ножей.

Под действием U_1 по первичной обмотке W_1 протекает ток I_1 , создавая намагничивающую силу $F_1 = I_1 \cdot W_1$, а затем магнитные потоки Φ_1 , Φ_2 .

В сварочной цепи ток I_2 создает намагничивающую силу $F_2 = I_2 \cdot W_2$ и магнитные потоки Φ_2 , $\Phi_{\Sigma 2}$.

Потоки рассеяния первичной $\Phi_{\Sigma 1}$ и вторичной $\Phi_{\Sigma 2}$ обмоток имеют возможность замкнуться через подвижный магнитный шунт $З$ (рис. 7).

В зависимости от положения шунта внутри магнитопровода есть возможность регулировать величину суммарного потока рассеяния $\Sigma \Phi_s = \Phi_{\Sigma 1} + \Phi_{\Sigma 2}$, а следовательно, и величину индуктивного сопротивления трансформатора X_s .

Внешний вид трансформатора ТДМ-140 приведен на рис. 8, а, а трансформатора Ferm Concept 310 — на рис. 8, в.



Рис. 8. Внешний вид сварочных трансформаторов для РДС

Описание конструкции трансформатора «Русич»

Сварочный трансформатор броневого типа состоит из Ш-образного магнитопровода (рис. 7), на среднем стержне которого закреплены неподвижно первичная W_1 и вторичная W_2 обмотки, разнесенные относительно друг друга на расстояние ε . Между обмотками на среднем стержне расположен подвижный магнитный шунт 3, который может перемещаться с помощью винтовой пары внутри среднего стержня.

Внешний вид трансформатора «Русич» приведен на рис. 8, б.

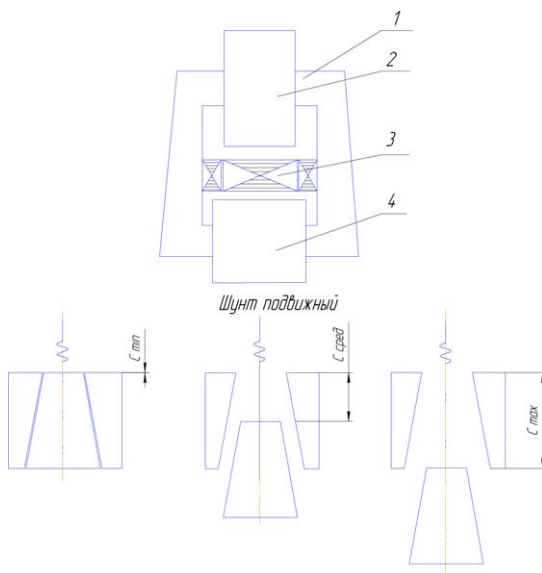


Рис. 9. Электромагнитная схема сварочного трансформатора «Русич»:
1 — магнитопровод; 2 — первичная обмотка W_1 ; 3 — магнитопровод шунта;
4 — вторичная обмотка W_2

Работа схемы поста

Однофазные сварочные трансформаторы с подвижными магнитными шунтами относятся к трансформаторам с увеличенными потоками рассеяния.

Напряжение сети $U_1 = 220$ В подается на первичную обмотку через контакты автомата QF и S_1 (рис. 10).

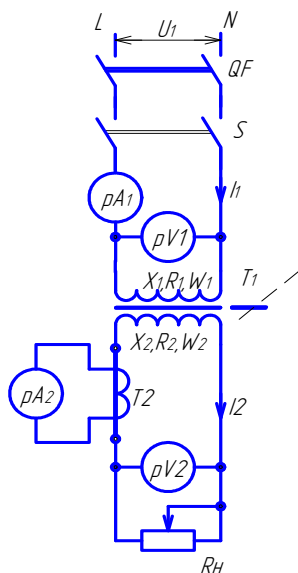


Рис. 10. Принципиальная схема сварочного поста с ТДМ-140, «Русич» и Ferm Concept 310: Т1 – сварочный трансформатор; Т2 – трансформатор тока; R_H – балластное сопротивление

Уравнение ЭДС для вторичной обмотки в режиме нагрузки имеет вид:

$$\underline{U}_2 = \underline{E}_2 + \Sigma \underline{E}_S - I_2 R_2,$$

где E_2 – ЭДС вторичной обмотки; $\Sigma E_S = -jI_2 X_S$ – ЭДС, созданная потоками рассеяния; X_S – индуктивное сопротивление: $X_S = \text{var}$ и зависит от положения магнитного шунта.

Ток дуги I_D рассчитывается по формуле

$$I_D \approx \frac{\sqrt{U_{XX}^2 - U_D^2}}{X_T + X_P}, \quad (11)$$

где X_T , X_P – индуктивное сопротивление вторичной обмотки трансформатора и дросселя (реактивное); $U_D = U_H$ – в состоянии устойчивого равновесия, т. е. при пересечении характеристик дуги и трансформатора или горении дуги.

Активными сопротивлениями сварочной цепи пренебрегаем ($R_2 \approx 0$).

При полностью вставленном шунте, т. е. $C = 0$ (рис. 9), магнитный поток шунта $\Phi_{\text{ш}}$ максимальный, а основной магнитный поток трансформатора минимальный, следовательно, сварочный ток тоже минимальный. Если магнитный шунт вытянуть из трансформатора (C – среднее или тах), то магнитный поток шунта уменьшается, а основной поток возрастает, что приводит к увеличению сварочного тока. Изменяя положение шунта, можно регулировать величину сварочного тока.

В режиме короткого замыкания $U_2 \approx 0$, величина тока $I_2 = I_{\text{кз}}$:

$$I_{\text{кз}} \approx \frac{U_{\text{хх}}}{X_{\text{с}}}. \quad (12)$$

Для ручной дуговой сварки $I_{\text{кз}} = (1,2-1,3) I_{\text{д}}$, так как с этого режима начинается возбуждение дуги при ручной дуговой сварке.

Коэффициент полезного действия сварочных трансформаторов определяется в точках устойчивого горения дуги при $I_{\text{и}} = I_{\text{д}}$ и $U_{\text{и}} = U_{\text{д}}$ по формуле (4), где $I_{\text{и}}$, $U_{\text{и}}$ – ток и напряжение источника; $I_{\text{д}}$, $U_{\text{д}}$ – ток и напряжение дуги.

Указания и пояснения по выполнению работы

1. Собрать схему поста в соответствии с рис. 10. Определить цену делений приборов и заполнить табл. 1.

2. Установить шунт в положение, когда он полностью вдвинут в магнитопровод, т. е. $C \approx 0$ (рис. 9).

Внимание! Включать питающее напряжение можно только после проверки схемы преподавателем или лаборантом!

3. Записать показания приборов в графу «Измерения» таблицы 3, изменяя режимы работы трансформатора (х.х., нагрузка, к.з.). Количеством замкнутых ножей от 1 до 6 на балластном реостате $R_{\text{н}}$ регулируем нагрузку трансформатора.

4. Продолжить эксперимент в положениях магнитного шунта при C – среднее и C – тах , продолжая записывать показания приборов в табл. 3.

5. По результатам эксперимента построить в одних координатных осях:

- внешние вольт-амперные характеристики трансформатора $U_2 = f(I_2)$ для трех положений магнитного шунта;
- статическую вольт-амперную характеристику дуги для ручной дуговой сварки $U_d = f(I_d)$ перенести с рис. 4.

6. Определить краткость регулирования $K_p = I_{d \max} / I_{d \min}$ по результатам эксперимента.

7. Рассчитать значения η по формуле (4) для точек устойчивого равновесия системы И–Д.

8. Определить коэффициент трансформации $K_{тр} = U_1 / U_{xx}$.

9. Построить график регулировочной кривой $I_d = f(C)$.

10. Рассчитать X_s .

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких узлов состоит сварочный трансформатор?
2. Какой внешней ВАХ обладает сварочный трансформатор и за счет чего она формируется?
3. За счет чего регулируется величина сварочного тока и чему равен коэффициент регулирования тока $K_{рег}$?
4. Какие значения КПД получены в работе?
5. В каких пределах изменяется величина X_s ?
6. Какие материалы можно сваривать, используя трансформатор, и каким диаметром электрода?
7. Укажите недостатки конструкции.

Содержание отчета

1. Титульный лист (приложение).
2. Название лабораторной работы.
3. Цель работы.
4. Электромагнитная схема сварочного трансформатора.
5. Электрическая схема лабораторного поста с измерительной аппаратурой.
6. Табл. 1. Измерительные приборы.
7. Табл. 3. Результаты измерений и расчетов.
8. Графики зависимостей $U_2 = f(I_2)$, $U_d = f(I_d)$, $\eta = f(I_d)$.
9. Выводы. Указать способ формирования внешней вольт-амперной характеристики $U_2 = f(I_2)$, способ регулирования тока дуги $I_d = f(?)$ и выявленные недостатки конструкции.

Таблица 3

Результаты измерений и расчетов

Зазор в шунте C , мм	Ре- жим	Измерение				Расчет			
		U_1 , В	U_2 , В	I_1 , А	I_2 , А	P_1 , ВА	P_2 , ВА	η	X , Ом
1 ступень ($C \approx 0$)	ХХ								
	Н1								
	Н2								
	Н3								
	Н4								
	Н5								
	Н6								
	К3								
2 ступень ($C =$ среднее)	ХХ								
	Н1								
	Н2								
	Н3								
	Н4								
	Н5								
	Н6								
	К3								
3 ступень ($C - \max$)	ХХ								
	Н1								
	Н2								
	Н3								
	Н4								
	Н5								
	Н6								
	К3								

Лабораторная работа 5

ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА С НЕПОДВИЖНЫМИ МАГНИТНЫМИ ШУНТАМИ ТС-200

Цель работы — изучить принцип работы сварочного трансформатора с увеличенными потоками рассеяния и тиристорным управлением величины тока.

Оборудование и приборы

1. Т1 — сварочный трансформатор типа ТС-200 (рис. 11).
2. R1 — активное сопротивление типа РБ-300.
3. pV_1 , pV_2 — вольтметры электромагнитной системы.
4. pA_1 , pA_2 — амперметры электромагнитной системы.
5. Т2 — трансформатор тока.

Описание сварочного трансформатора ТС-200

Назначение

Сварочный трансформатор ТС-200 (рис. 11) предназначен для ручной дуговой сварки в производственных условиях. Статическая ВАХ дуги при сварке покрытыми электродами приведена на рис. 2.

Описание конструкции

Сварочный трансформатор стержневого типа ТС-200 состоит из разнесенных относительно друг друга обмоток W_1 , W_2 и $W_{дд}$, каждая из которых выполнена из двух катушек. Обмотки W_1 , W_2 и $W_{дд}$ разнесены между собой по стержню на расстояние ε_1 и ε_2 (рис. 12).

Разнесение обмоток позволяет создать потоки рассеяния Φ_s . Катушки первичной, вторичной и дежурной обмоток закрепляют неподвижно относительно друг друга на стержнях магнитопровода (рис. 12). Между обмотками расположены магнитные шунты и закреплены неподвижно. Замкнутый шихтованный магнитопровод собран из электротехнической стали.

Регулирование тока дуги производится тиристорами VS_1 , VS_2 , включенными встречно-параллельно между собой и последовательно с обмоткой W_2 . Угол открытия тириستоров α регулируется $U_{упр}$. Цепи

управления тиристорами VS_1 , VS_2 питаются от блока управления (БУ). Дежурная обмотка $W_{\text{дд}}$ обеспечивает заданное значение $I_{\text{д}}$.



Рис. 11. Сварочный трансформатор ТС-200

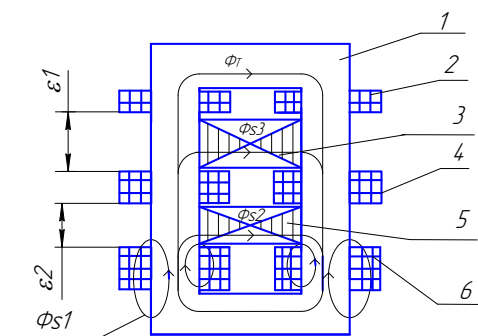


Рис. 12. Электромагнитная схема ТС-200: 1 — магнитопровод; 2 — обмотка дежурной дуги $W_{\text{дд}}$; 3, 5 — магнитопровод шунта; 4 — вторичные обмотки W_2 ; 6 — первичные обмотки W_1

Работа схемы поста

Однофазный сварочный трансформатор с разнесенными обмотками ТС-200 относится к трансформаторам с увеличенными потоками рассеяния.

Напряжение сети $U_1 = 380$ В подается на первичную обмотку через контакты автоматов включения QF и S (рис. 13).

В режиме холостого хода под действием напряжения U_1 по первичной обмотке W_1 течет ток холостого хода $I_{\text{хх}}$.

Магнитодвижущая сила F_1 , равная $I_{\text{хх}} \cdot W_1$, создает магнитный поток Φ_1 . Из-за большого расстояния между обмотками часть маг-

нитного потока, минуя вторичную обмотку и $W_{\text{дд}}$, замыкается по воздуху Φ_{s1} , часть потока рассеяния Φ_{s2} проходит через неподвижный магнитный шунт, другая часть Φ_{s3} проходит через другой шунт.

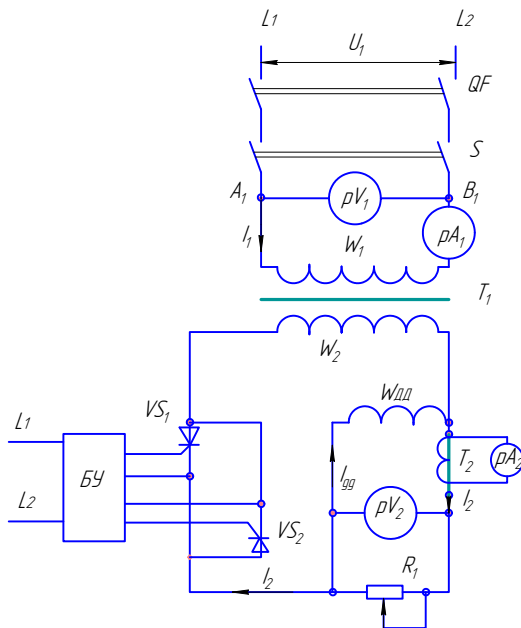


Рис. 13. Принципиальная схема ТС-200

Суммарный магнитный поток $\Sigma\Phi$ трансформатора определяется суммой потоков:

$$\Sigma\Phi = \Phi_T + \Phi_{s1} + \Phi_{s2} + \Phi_{s3}. \quad (13)$$

Магнитный поток Φ_T создает электродвижущую силу $E_2 = 4,44fW_2\Phi_T$. В режиме холостого хода $U_2 \approx E_2$.

В режиме нагрузки под действием напряжения сети U_1 в первичной обмотке ток I_1 создает $F_1 = I_1 \cdot W_1$, во вторичной обмотке $I_2 - F_2 = I_2 \cdot W_2$, $I_{\text{д}} - F_3 = I_{\text{д}} \cdot W_{\text{дд}}$.

Магнитодвижущие силы $F_1 \dots F_3$ создают магнитные потоки $\Phi_1 \dots \Phi_3$. Их суммарный магнитный поток Φ проходит по магнитопроводу, потоки рассеяния Φ_{s1} , Φ_{s4} , Φ_{s5} замыкаются в пространстве между обмотками, а Φ_{s2} , Φ_{s3} замыкаются по магнитопроводу шунта.

Суммарный поток рассеяния, действующий между обмотками,

$$\sum \Phi_s = \Phi_{s1} + \Phi_{s2} + \Phi_{s3} - \Phi_{s4} - \Phi_{s5}, \quad (14)$$

где Φ_{s1} — поток рассеяния, сцепленный только с первичной обмоткой; Φ_{s4} , Φ_{s5} — потоки рассеяния, сцепленные с вторичной обмоткой и $W_{дд}$; Φ_{s2} , Φ_{s3} — потоки рассеяния, проходящие через магнитный шунт.

Полный магнитный поток трансформатора:

$$\Phi = \Phi_T + \sum \Phi_s \quad (15)$$

На этой ступени Φ_T достигает максимальной величины, а следовательно, и ток дуги максимальный $I_{д\max}$.

Уравнение ЭДС для вторичной обмотки в режиме нагрузки имеет вид:

$$\dot{U}_2 = \dot{E}_2 + \sum \dot{E}_s - \dot{I} \cdot R_2, \quad (16)$$

где $\dot{E}_2$ — ЭДС вторичной обмотки; $\sum \dot{E}_s = -j\dot{I}_2 X_s$ — сумма ЭДС, созданных потоками рассеяния; X_s — индуктивное сопротивление трансформатора, расчет которого рекомендуется выполнять по [1]; I_2 , R_2 — падение напряжения в активных сопротивлениях сварочной цепи.

Активное сопротивление сварочной цепи R_2 значительно меньше индуктивного сопротивления трансформатора X_T , поэтому величиной его пренебрегаем, тогда уравнение для вторичной обмотки принимает вид:

$$\dot{U}_2 \approx \dot{E}_2 - j\dot{I}_2 X_s. \quad (17)$$

Внешняя ВАХ формируется за счет потоков рассеяния $\sum \Phi_s$, которые создаются благодаря разнесению обмоток и введением магнитных шунтов.

Ток дуги регулируется тиристорами во вторичной обмотке за счет изменения угла открытия α . В режиме к.з. величина $I_{кз}$ ограничена значениями U_{xx} и X_s : $I_{кз} \approx U_{xx}/X_s$. Начальное возбуждение дуги при ручной дуговой сварке производится с к.з.

Указания и пояснения по выполнению работы

1. Собрать схему сварочного поста с измерительной аппаратурой.
2. Определить цену делений приборов и заполнить табл. 1.
3. Установить одно из значений регулятора тока (α -min).

4. Записать показания приборов в графу «Измерения» табл. 4 в режимах холостого хода и нагрузок. При нагрузке увеличивать количество замкнутых контактов R_1 от 1 до 6. (Режим к.з. — все ножи замкнуты.) Показания снимать для трех значений регулятора тока (α -min, α -ср., α -max).

5. Построить на одном графике:

- внешние ВАХ $U_2 = f(I_2)$ для трех положений регулятора тока;
- статическую ВАХ дуги для ручной дуговой сварки $U_d = f(I_d)$ (рис. 4).

Получить на графике точки пересечения характеристик А1, А2, А3.

6. Определить из графика краткость регулирования

$$K_p = I_{d \max} / I_{d \min}.$$

7. Рассчитать значения η по формуле (4) для точек А1, А2, А3 устойчивого равновесия системы «источник — дуга».

8. Определить коэффициент трансформации $K_{\text{тр}} = U_1 / U_{\text{хх}}$.

9. Построить график регулировочной кривой $I_d = f(\alpha)$.

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких узлов состоит сварочный трансформатор?
2. Какой внешней ВАХ обладает сварочный трансформатор и за счет чего она формируется?
3. За счет чего регулируется величина сварочного тока и чему равен коэффициент регулирования тока $K_{\text{рег}}$?
4. Какие значения КПД получены в работе?
5. В каких пределах изменяется величина X_s ?
6. Какие материалы можно сваривать, используя трансформатор, и каким диаметром электрода?
7. Укажите недостатки конструкции.

Содержание отчета

1. Титульный лист (приложение).
2. Название лабораторной работы.
3. Цель работы.
4. Электромагнитная схема сварочного трансформатора.
5. Электрическая схема лабораторного поста с измерительными приборами.

6. Табл. 1. Измерительные приборы.
7. Табл. 4. Результаты измерений и расчетов.
8. Графики зависимостей $U_2 = f(I_2)$, $U_d = f(I_d)$, $I_d = f(\alpha)$.
9. Выводы.

Таблица 4

Результаты измерений и расчетов

α , град.*	Ре- жим	Измерение				Расчет			
		U_1 , В	U_2 , В	I_1 , А	I_2 , А	P_1 , ВА	P_2 , ВА	η	X_s , Ом
1 сту- пень min	XX								
	H1								
	H2								
	H3								
	H4								
	H5								
	H6								
	K3								
2 сту- пень среднее	XX								
	H1								
	H2								
	H3								
	H4								
	H5								
	H6								
	K3								
3 сту- пень max	XX								
	H1								
	H2								
	H3								
	H4								
	H5								
	H6								
	K3								

* α — задается преподавателем или лаборантом.

Лабораторная работа 6

ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ШУНТОМ ТС-150

Цели работы: изучить принцип работы сварочного трансформатора с электромагнитным шунтом, принцип формирования внешней вольт-амперной характеристики, способ регулирования тока и область применения, приобрести навыки работы с оборудованием.

Оборудование и приборы

1. Т1 – сварочный трансформатор с электромагнитным шунтом ТС-150 (рис. 16).
2. R_n – активное сопротивление типа РБ-300.
3. pV1, pV2 – вольтметры электромагнитной системы.
4. pA1, pA2 – амперметры электромагнитной системы.
5. Т2 – трансформатор тока.

Программа работы

1. Изучить конструкцию сварочного трансформатора и способ регулирования сварочного тока.
2. Собрать сварочную цепь с измерительными приборами.
3. Снять показания приборов при трех значениях тока в обмотке шунта в режимах х.х., нагрузка, к.з. Заполнить табл. 1. Ток в обмотке электромагнитного шунта можно изменять в диапазоне от 0 до 10 А.
4. Построить графики, провести расчеты и сделать выводы.

Описание сварочного трансформатора с электромагнитными шунтами

Назначение

Сварочные трансформаторы с электромагнитными шунтами можно использовать для РДС, сварки под слоем флюса. Промышленность выпускает источники питания для сварки неплавящимся электродом, в состав которых входят трансформаторы с электромагнитными шунтами. Напряжение на дуге при сварке покрытыми

электродами может изменяться от 18 до 42 В в зависимости от длины дуги, диаметра электрода, марки электрода и других параметров.

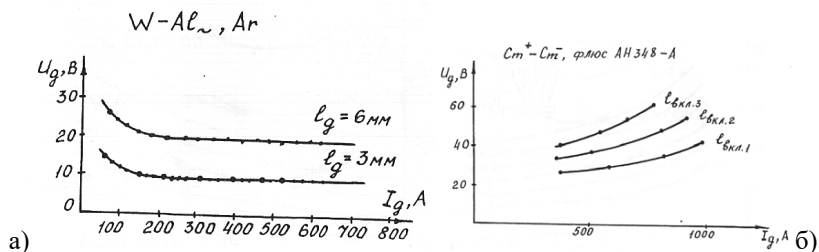


Рис. 14. Статические вольт-амперные характеристики дуг

Наличие в покрытии электрода ионизирующих компонентов (калий, кальций, натрий) обеспечивает стабильность горения дуги при смене полярности переменного тока. При сварке под слоем флюса $U_d = 24-52$ В. При сварке неплавящимся электродом $U_d = 10-20$ В. На рис. 4 и 14 приведены статические вольт-амперные характеристики указанных дуг.

Описание конструкции трансформатора ТС-150

Сварочный трансформатор стержневого типа состоит из замкнутого магнитопровода (рис. 15), на стержнях которого закреплены неподвижно первичная W_1 и вторичная W_2 обмотки, разнесенные относительно друг друга на расстояние ε .

Между обмотками расположен электромагнитный шунт 3, на стержнях которого размещена обмотка подмагничивания. Обмотка подмагничивания шунта питается от специального блока питания постоянного тока. Величина тока подмагничивания регулируется плавно в диапазоне от 0 до 10 А.

Для регулирования индуктивного сопротивления трансформатора в необходимых пределах увеличено расстояние между обмотками (рис. 15).

Плавное регулирование I_y и связанное с этим изменение $\Phi_{ш}$ приводят к изменению потока Φ_2 . Регулирование I_y и вызванное этим изменение потокораспределения позволяют плавно регулировать Φ_2 , а следовательно, величину I_2 от $I_{д \min}$ до $I_{д \max}$.

Максимальная величина тока дуги I_d достигается при $I_{y \max}$. В этом режиме происходит полное вытеснение переменного магнитного потока в стержни трансформатора.

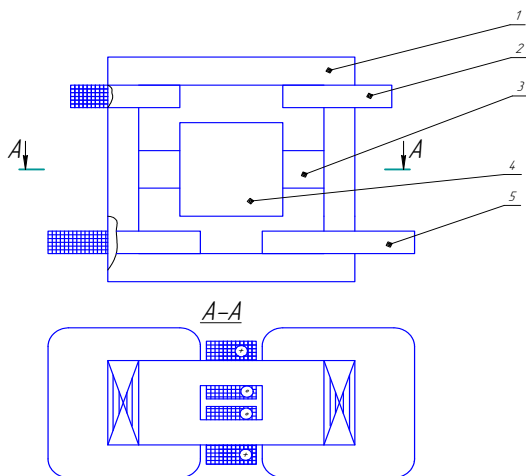


Рис. 15. Конструкция трансформатора ТС-150: 1 – магнитопровод; 2 – первичные обмотки W_1 ; 3 – магнитопровод шунта; 4 – обмотки шунта $W_{ш}$; 5 – вторичные обмотки W_2



Рис. 16. Внешний вид сварочного трансформатора ТС-150 (изготовил К.В. Моторин)

Работа схемы поста

Трансформатор с электромагнитным шунтом относится к группе трансформаторов с увеличенными потоками рассеяния.

Напряжение сети $U_1 = 380$ В подается через контакты автомата S_1 на первичные обмотки W_1 трансформатора (рис. 17).

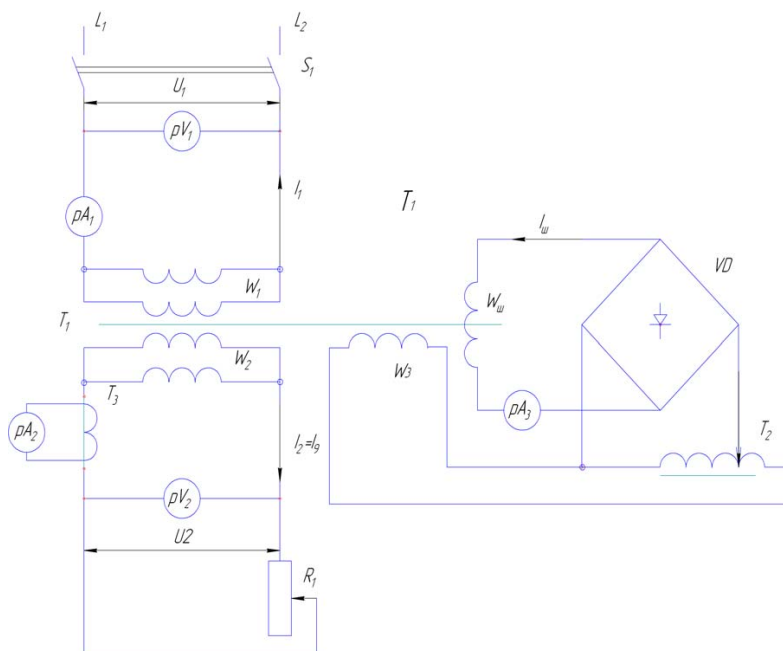


Рис. 17. Принципиальная схема сварочного поста: Т1 – сварочный трансформатор; Т2 – автотрансформатор; Т3 – трансформатор тока; R_1 – активное сопротивление; VD – диодный выпрямительный мост

В режиме холостого хода под действием напряжения U_1 по первичной обмотке W_1 течет ток холостого хода I_{xx} . Магнитодвижущая сила F_1 , равная $I_{xx} \cdot W_1$, создает магнитный поток Φ_T . Из-за большого расстояния между обмотками W_1 и W_2 часть Φ_{st} магнитного потока, минуя вторичную обмотку, замыкается по воздуху, часть $\Phi_{ш}$ – по магнитопроводу шунта, если «позволяет» $\Phi_{ш}$, который зависит от магнитодвижущей силы $F_{ш} = I_{ш} \cdot W_{ш}$, создаваемой обмоткой шунта (рис. 17, 18).

Суммарный магнитный поток Φ трансформатора определяется суммой потоков:

$$\Phi = \Phi_T + \Phi_S + \Phi_{SH}. \quad (18)$$

Магнитный поток Φ_T создает во вторичной обмотке электро-движущую силу E_2 :

$$E_2 = 4,44fW_2\Phi_T \quad (19)$$

где $\Phi_T = \Phi - \Phi_{S1} - \Phi_{SH}$.

Φ_{SH} — магнитный поток рассеяния, величина которого регулируется магнитным потоком шунта Φ_{SH} . Если $I_{SH} = 0$, то $\Phi_{SH} = 0$, тогда поток рассеяния Φ_{SH} достигает максимальной величины. Если I_{SH} установить максимальной величины (в данной конструкции это $I_{SH} = 10$ А), то намагничивающая сила электромагнитного шунта $F_{SH} = I_{SH} \cdot W_{SH}$ создает Φ_{SH} максимальной величины и не пропустит через магнитопровод шунта магнитный поток рассеяния Φ_{SH} ($\Phi_{SH} = 0$) (рис. 18, б).

Магнитный поток Φ_T связанный с витками вторичной обмотки, зависит от величины тока шунта I_{SH} в режиме холостого хода. Следовательно, $E_2 = f(I_{SH})$. Напряжение холостого хода также зависит от величины тока в обмотках шунта: $U_{XX} = f(I_{SH})$.

В режиме нагрузки под действием напряжения сети U_1 в первичной обмотке ток I_1 создает магнитодвижущую силу $F_1 = I_1 \cdot W_1$, во вторичной обмотке ток $I_2 - F_2 = I_2 \cdot W_2$. Магнитодвижущие силы F_1 и F_2 создают магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 , суммарный поток Φ_T которых проходит в основном по магнитопроводу (рис. 18, б).

Если $I_{SH} = 0$, то $\Phi_{SH} = 0$, тогда магнитный поток рассеяния Φ_{SH} равняется максимальной величине. Потоки рассеяния Φ_{S1} , Φ_{S2} , Φ_{SH} достигают максимальной величины, а Φ_T — минимальной. Это означает, что $I_{d \min}$ (рис. 18, а).

Если установить I_{SH} максимальной величины, то созданная в шунте магнитодвижущая сила $F_{SH} = I_{SH \max} \cdot W_{SH} \geq 1,2 I_1 \cdot W_1$. Это соотношение выбрано таким образом, чтобы «преградить путь» магнитному потоку рассеяния трансформатора через магнитопровод шунта, «заставив» его пойти по магнитопроводу самого трансформатора. В этом случае поток рассеяния $\Phi_{SH} \approx 0$, а Φ_T достигнет максимальной величины, значит, и $I_{d \max}$.

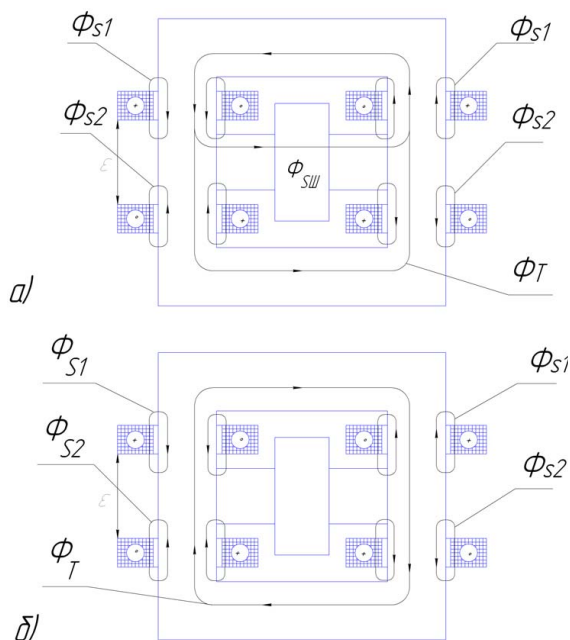


Рис. 18. Электромагнитные схемы сварочного трансформатора в режиме нагрузки: $a - I_{\text{ш}} = 0; \Phi_{\text{ш}} = 0; \Phi_{\text{ssh}} = \max$; $б - I_{\text{ш}} = 10 \text{ A}; \Phi_{\text{ssh}} \approx 0$

Таким образом, ток дуги плавно регулируется в этой конструкции изменением тока шунта $I_{\text{ш}}: I_{\text{д}} = f(I_{\text{ш}})$.

Коэффициент трансформации определяется соотношением:

$$K_{\text{ТР}} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2(1 - K_{\text{М}})}, \quad (20)$$

где $K_{\text{М}}$ – коэффициент магнитной связи трансформатора:

$$K_{\text{М}} = \Phi_{\text{Т}}/\Phi \approx (\Phi - \sum \Phi_{\text{S}})/\Phi \approx 1 - \sum \Phi_{\text{S}}/\Phi < 1.$$

В режиме к.з. величина $I_{\text{кз}}$ ограничена значениями U_{xx} и X_{S} :

$$I_{\text{кз}} \approx U_{\text{xx}}/X_{\text{S}}. \quad (21)$$

Начальное возбуждение дуги при автоматической сварке под флюсом производится с к.з. (касанием электродной проволокой изделия).

Указания и пояснения по выполнению работы

1. Собрать схему сварочного поста с измерительной аппаратурой.
2. Определить цену делений и заполнить табл. 1.
3. Установить минимальное значение $I_{\text{ш}}$ в диапазоне от 0 до 10 А.
4. Записать показания приборов в табл. 5, изменяя количество замкнутых ножей R_1 . Изменив значение тока шунта, повторить запись показаний, опять изменяя количество замкнутых ножей R_1 . Затем провести измерение при третьем значении тока шунта.

5. Построить на одних координатных осях графики:

- внешних вольт-амперных характеристик $U_2 = f(I_2)$ для трех значений $I_{\text{ш}}$;
- статической вольт-амперной характеристики дуги для РДС, или сварки под флюсом, сварки неплавящимся электродом $U_{\text{д}} = f(I_{\text{д}})$ (рис. 3, 14). Получить три точки пересечения А1, А2, А3.

6. Построить для точек устойчивого равновесия системы «источник – дуга» А1, А2, А3 график регулировочной кривой $I_2 = f(I_{\text{ш}})$. Определить $K_{\text{р}} = I_{\text{д max}} / I_{\text{д min}}$.

7. Рассчитать значения η по формуле (4) для точек устойчивого равновесия системы А1, А2, А3. Значения I_1 определить по графику $I_1 = f(I_2)$. Коэффициенты мощности $\cos \varphi_1$ и $\cos \varphi_2$ принять 0,55–0,6.

8. Определить коэффициент трансформации в режиме холостого хода:

$$K_{\text{тр}} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{W_1 + W_2}{W_3 + W_4}.$$

Содержание отчета

1. Титульный лист (приложение).
2. Название лабораторной работы.
3. Цель работы.
4. Электромагнитная схема сварочного трансформатора, электрическая схема поста с измерительной аппаратурой.
5. Табл. 1 и 5.
6. Графики зависимостей $U_2 = f(I_2)$ для трех значений $I_{\text{ш}}$ и $U_{\text{д}} = f(I_{\text{д}})$ в одних координатных осях; $I_{\text{д}} = f(I_{\text{ш}})$.
7. Выводы. Указать способ формирования $U_2 = f(I_2)$, способ регулирования $I_{\text{д}}$ и недостатки конструкции с вашей точки зрения.

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких узлов состоит сварочный трансформатор ТС-150?
2. Какой внешней ВАХ обладает сварочный трансформатор и за счет чего она формируется?
3. За счет чего регулируется величина сварочного тока и чему равен коэффициент регулирования тока $K_{\text{рег}}$?
4. Какие значения КПД получены в работе?
5. В каких пределах изменяется величина X_s ?
6. Какие материалы можно сваривать, используя трансформатор, и каким диаметром электрода?
7. Какие недостатки конструкции вы обнаружили?

Таблица 5

Результаты измерений и расчетов

Ток шунта $I_{\text{ш}}, \text{A}^*$	Ре- жим	Измерение				Расчет			
		$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$I_1, \text{А}$	$I_2, \text{А}$	$P_1, \text{ВА}$	$P_2, \text{ВА}$	η	$X_s, \text{Ом}$
$I_{\text{ш min}}$	ХХ								
	Н1								
	Н2								
	Н3								
	Н4								
	Н5								
	Н6								
	КЗ								
$I_{\text{ш средн.}}$	ХХ								
	Н1								
	Н2								
	Н3								
	Н4								
	Н5								
	Н6								
	КЗ								

Ток шунта $I_{\text{ш}}, \text{А}^*$	Ре- жим	Измерение				Расчет			
		$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$I_1, \text{А}$	$I_2, \text{А}$	$P_1, \text{ВА}$	$P_2, \text{ВА}$	η	$X_s, \text{Ом}$
$I_{\text{ш max}}$	ХХ								
	Н1								
	Н2								
	Н3								
	Н4								
	Н5								
	Н6								
	КЗ								

* $I_{\text{ш}}$ задается преподавателем.

Лабораторные работы 7, 8

ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ПОДВИЖНЫМИ ОБМОТКАМИ ТС-300, ТДМ-402 У2

Цель работы — изучить конструкцию сварочного трансформатора с подвижными обмотками, принцип формирования внешней вольт-амперной характеристики (ВАХ) и способ регулирования тока дуги.

Оборудование и приборы

1. Т1 — сварочный трансформатор с подвижными обмотками типа ТС-300 (рис. 19, *а*) или ТДМ-402 У2 (рис. 19, *б*).
2. R_1 — активное сопротивление типа РБ-300.
3. pV_1, pV_2 — вольтметры электромагнитной системы.
4. pA_1, pA_2 — амперметры электромагнитной системы.
5. Т2 — трансформатор тока.

Описание сварочного трансформатора с подвижными обмотками

Назначение

Сварочные трансформаторы ТС-300 и ТДМ-402 У2 (рис. 19) предназначены для ручной дуговой сварки покрытыми электродами.

Описание конструкции

Магнитопровод сварочного трансформатора выполнен из электротехнической стали. Первичные и вторичные обмотки в целях экономии электротехнических материалов выполнены из двух катушек, расположенных на стержнях магнитопровода (рис. 19).

Первичные обмотки трансформатора W_1 закреплены неподвижно в нижнем положении. Катушки вторичной обмотки W_2 закреплены между собой неподвижно и перемещаются вдоль стержней магнитопровода винтовой парой относительно первичных обмоток на расстояние от $\varepsilon = 0$ до $\varepsilon = 140$ мм (рис. 20).



Рис. 19. Сварочный трансформатор ТС-300 (а) и ТДМ-402 У2 (б)

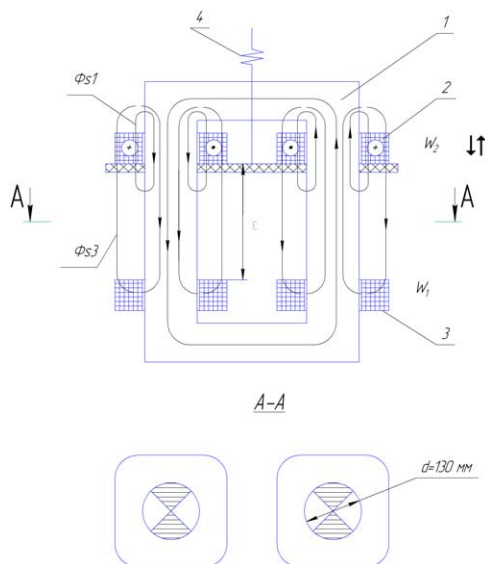


Рис. 20. Электромагнитная схема сварочного трансформатора с подвижными обмотками: 1 – магнитопровод; 2 – вторичная обмотка W_2 ; 3 – первичная обмотка W_1 ; 4 – винтовая пара

Работа схемы поста

Напряжение сети $U_1 = 220$ В или 380 В подается на обмотку W_1 через контакты автомата S_{11} . На рис. 21 приведено включение трансформатора на 220 В.

В режиме холостого хода сварочная цепь разомкнута (ножи реостата R_1 разомкнуты).

Под действием напряжения U_1 по первичной обмотке W_1 течет ток холостого хода I_{xx} . Магнитодвижущая сила F_{xx} , равная $I_{xx} \cdot W_1$, создает магнитный поток Φ . Из-за большого расстояния между первичными и вторичными обмотками часть магнитного потока Φ_{s1} рассеивается и, минуя вторичную обмотку, замыкается по воздуху.

Суммарный магнитный поток Φ трансформатора определяется суммой потоков:

$$\Phi = \Phi_o + \Phi_{s1}. \quad (22)$$

Магнитный поток Φ_o создает во вторичной обмотке электродвижущую силу E_2 . В режиме холостого хода $U_2 = E_2$.

Таким образом, напряжение холостого хода зависит от потока рассеяния Φ_s , величина которого определяется расстоянием ϵ между обмотками: $U_{xx} = f(\epsilon)$.

В режиме нагрузки, когда горит сварочная дуга, сварочная цепь замкнута. Под действием напряжения сети U_1 в первичной обмотке ток I_1 создает магнитодвижущую силу $F_1 = I_1 \cdot W_1$, во вторичной обмотке ток $I_2 - F_2 = I_2 \cdot W_2$.

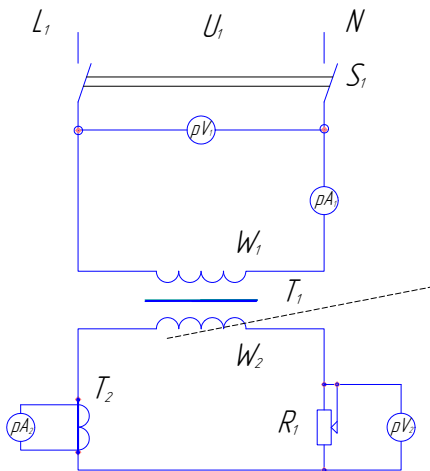


Рис. 21. Принципиальная схема сварочного поста

Магнитодвижущие силы F_1 и F_2 создают суммарный магнитный поток Φ . Часть суммарного магнитного потока Φ_T проходит по магнитопроводу, а часть магнитного потока Φ_S замыкается по воздуху между обмотками и называется потоком рассеяния Φ_S .

Суммарный магнитный поток рассеяния, действующий между обмотками:

$$\sum \Phi_S = \Phi_{S1} + \Phi_{S2} + \Phi_{S3} - \Phi_{S4}, \quad (23)$$

где Φ_{S1} , Φ_{S2} — потоки рассеяния, сцепленные только первичной обмоткой; Φ_{S3} — поток рассеяния, сцепленный с первичной обмоткой и частично со вторичной; Φ_{S4} — поток рассеяния, сцепленный только со вторичной обмоткой.

Полный магнитный поток трансформатора при разнесенных обмотках, когда расстояние между ними $\varepsilon_{\max}$, определяется суммой потоков:

$$\Phi = \Phi_T + \sum \Phi_S. \quad (24)$$

При $\varepsilon_{\max}$ между обмотками потоки рассеяния достигают своей максимальной величины $\sum \Phi_{S \max}$, магнитная связь между обмотками, т. е. магнитный поток трансформатора уменьшается:

$$\Phi_T = \Phi - \sum \Phi_{S \max}. \quad (25)$$

Магнитный поток Φ_T , сцепленный с витками вторичной обмотки, в этом случае минимален, поэтому и $I_2 = I_{\text{д min}}$.

При минимальном расстоянии между обмотками $\varepsilon \approx 0$, а магнитные потоки рассеяния минимальны $\Phi_{S2} \approx 0$, $\Phi_{S3} \approx 0$, тогда уравнение (23) принимает вид $\sum \Phi_S = \Phi_{S1} - \Phi_{S4}$. В этом случае суммарный поток рассеяния по величине минимальный, поэтому ток в сварочной цепи имеет максимальное значение.

Уравнение ЭДС вторичной обмотки в режиме нагрузки:

$$U_2 = E_2 + \sum E_3 - I_2 \cdot R_2, \quad (26)$$

где E_2 — ЭДС вторичной обмотки; $\sum E_3 = -j \cdot I_2 \cdot X_S$ — сумма ЭДС, созданных потоками рассеяния; X_S — индуктивное сопротивление трансформатора; $I_2 \cdot R_2$ — падение напряжения в активных сопротивлениях сварочной цепи.

Активное сопротивление сварочной цепи R_2 значительно меньше индуктивного сопротивления трансформатора X_S , поэтому величиной его пренебрегаем.

Таким образом, внешняя ВАХ трансформатора с подвижными обмотками формируется за счет потоков рассеяния.

Ток для двух крайних положений обмоток, т. е. когда $\varepsilon = 0$ и $\varepsilon_{\max} = 130$ мм, определяется по формуле (3) (теоретические сведения) и позволяет судить о диапазоне его изменения.

В трансформаторах с подвижными обмотками индуктивное сопротивление рассеяния определяется по формуле

$$X_S = \omega \cdot \mu_0 \cdot W_2 \cdot W_2 g (\varepsilon_{\max} - \varepsilon) + X_0, \quad (27)$$

где ω — круговая частота; μ_0 — магнитная проницаемость вакуума, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-9}$ Ом · с/см; W_2 — количество витков во вторичной обмотке ($W_2 = 64$); g — проводимость, зависящая от геометрических размеров магнитопровода, $g = 2,72$; X_0 — минимальное индуктивное сопротивление, для данной конструкции $X_0 = 0,52$ Ом; ε — текущее значение расстояния между W_1 и W_2 (см).

Для данной конструкции трансформатора формула примет вид:

$$X_S \approx 4,4 \cdot (\varepsilon_{\max} - \varepsilon) + 0,52. \quad (28)$$

Тогда уравнение (3), учитывая, что $X_p = 0$, запишем в виде:

$$I_d \approx \frac{\sqrt{U_{xx}^2 - U_d^2}}{4,4(\varepsilon_{\max} - \varepsilon) + 0,52}. \quad (29)$$

Если учесть, что U_{xx} мало зависит от ε , то из уравнения следует, что $I_d = f(X_S)$ или $I_d = f(\varepsilon)$.

В режиме КЗ величина тока $I_{KЗ}$ ограничена значениями U_{xx} и X_S : $I_{KЗ} \approx U_{KЗ}/X_S$. Начальное возбуждение дуги при ручной дуговой сварке производится с к.з., поэтому $I_{KЗ}$ должен быть больше I_d , т. е. $I_{KЗ} > I_d$.

Указания и пояснения по выполнению работы

1. Собрать схему поста с измерительной аппаратурой.
2. Определить цену делений приборов и заполнить табл. 1.
3. Установить максимальное расстояние между обмотками $\varepsilon_{\max}$ и записать показания приборов в графу «Измерения» табл. 6, изменяя режимы работы трансформатора (х.х., нагрузка, к.з.). Снять ВАХ ТС-300 или ТДМ-402У2, изменяя количество замкнутых ножей R_H . Установить среднее расстояние ε между обмотками и опять снять показания во всех режимах. Продолжить записывать показания при минимальном расстоянии $\varepsilon = 0$.

4. Построить в одних координатных осях графики:

- внешней ВАХ трансформатора $U_2 = f(I_2)$ для трех значений ε ;
- статической ВАХ дуги для ручной дуговой сварки $U_d = f(I_d)$ (рис. 4) и обозначить точки устойчивого равновесия системы А1, А2, А3.

5. Построить график регулировочной кривой $I_d = f(\varepsilon)$ для точек устойчивого равновесия системы «источник – дуга». Определить кратность регулирования: $K_p = I_{d \max} / I_{d \min}$.

6. Рассчитать значения X_s по формуле (12) для точек устойчивого равновесия А1, А2, А3 системы «источник – дуга».

7. Вычислить значения η по формуле (4) для точек устойчивого равновесия А1, А2, А3 системы (значения I_1 при необходимости определить по графику $I_1 = f(I_2)$).

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких узлов состоит сварочный трансформатор?
2. Какой внешней ВАХ обладает сварочный трансформатор и за счет чего она формируется?
3. За счет чего регулируется величина сварочного тока и чему равен коэффициент регулирования тока $K_{\text{рег}}$?
4. Какие значения КПД получены в работе?
5. В каких пределах изменяется величина X_s ?
6. Какие материалы можно сваривать, используя трансформатор, и каким диаметром электрода?
7. Укажите недостатки конструкции.

Содержание отчета

1. Титульный лист (приложение).
2. Название лабораторной работы.
3. Цель работы.
4. Электромагнитная схема сварочного трансформатора.
5. Электрическая схема лабораторного поста с измерительной аппаратурой.
6. Табл. 1. Измерительные приборы.
7. Табл. 6. Результаты измерений и расчетов.
8. Графики зависимостей $U_2 = f(I_2)$, $U_d = f(I_d)$, $I_d = f(\varepsilon)$.

9. Выводы. Указать способ формирования вольт-амперной характеристики $U_2 = f(I_2)$, способ регулирования тока дуги $I_d = f(?)$ и выявленные недостатки конструкции.

Таблица 6

Результаты измерений и расчетов

Расстояние между обмотками ε , мм*	Режим	Измерение				Расчет			
		U_1 , В	U_2 , В	I_1 , А	I_2 , А	P_1 , ВА	P_2 , ВА	η	X , Ом
1 ступень ($\varepsilon \approx 0$)	XX								
	H1								
	H2								
	H3								
	H4								
	H5								
	H6								
	K3								
2 ступень (ε -средн.)	XX								
	H1								
	H2								
	H3								
	H4								
	H5								
	H6								
	K3								
3 ступень (ε -max)	XX								
	H1								
	H2								
	H3								
	H4								
	H5								
	H6								
	K3								

* ε — задается преподавателем или лаборантом.

Лабораторная работа 9

ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ВИТЫМ МАГНИТОПРОВОДОМ ТС-125

Цель работы — изучить конструкцию сварочного трансформатора с витым магнитопроводом и неподвижными обмотками, принцип формирования внешней вольт-амперной характеристики.

Оборудование и приборы

1. Т1 — сварочный трансформатор с неподвижными обмотками типа ТС-125 (рис. 22).
2. R_H — активное сопротивление типа РБ-300.
3. pU_1 , pU_2 — вольтметры электромагнитной системы.
4. pA_1 , pA_2 — амперметры электромагнитной системы.
5. Т2 — трансформатор тока.

Описание сварочного трансформатора с витым магнитопроводом и неподвижными обмотками

Назначение

Сварочный трансформатор ТС-125 (рис. 22) предназначен для ручной дуговой сварки покрытыми электродами.

Описание конструкции

Сварочный трансформатор ТС-125 (рис. 22) состоит из витого магнитопровода, первичной и вторичной катушек, которые неподвижно закреплены на железе. Магнитопровод сварочного трансформатора выполнен из электротехнической стали и согнут в виде полукольца. Навивка магнитопровода из ленты устраняет стыки и снижает потери в железе на 20 %. Из-за неподвижного закрепления обмоток и отсутствия возможности их перемещения трансформатор не имеет возможности регулировать сварочный ток. Регулирование может выполняться другим способом, например, за счет включения в сварочную цепь каких-либо элементов. Первичная катушка намотана медным проводом и питается от сети 220 В. Вторичная катушка намотана алюминиевым проводом.



Рис. 22. Сварочный трансформатор ТС-125
(изготовил М.А. Анисимов, 2008)

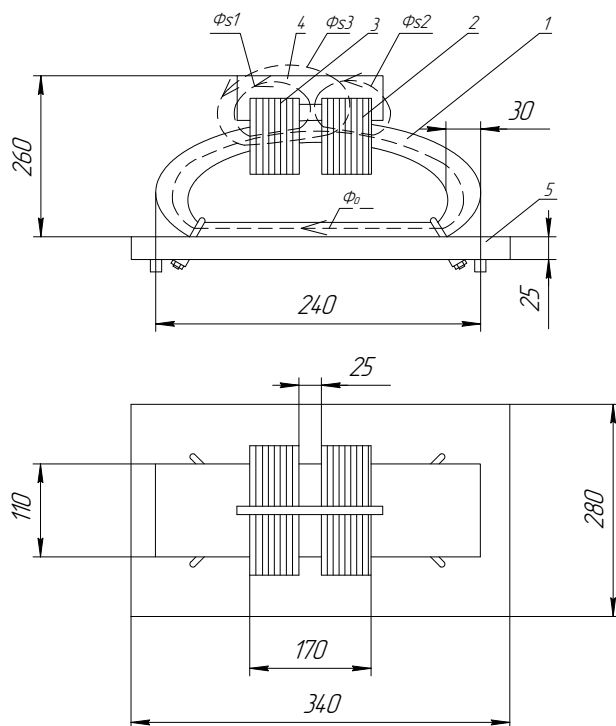


Рис. 23. Электромагнитная схема сварочного трансформатора с витым магнитопроводом и неподвижными обмотками: 1 – магнитопровод;
2 – вторичная обмотка W_2 ; 3 – первичная обмотка W_1 ;
4 – фиксирующая пластина

Расстояние между первичной и вторичной катушками неизменно, так как катушки зафиксированы диэлектрической скобой на расстоянии 25 мм друг от друга (рис. 23).

Для уменьшения вибрации и шума в процессе эксплуатации за счет больших магнитных полей стенки корпуса трансформатора выполнены комбинированными: из диэлектрического материала и штампованного металла. Для удобства перемещения трансформатора вручную на корпусе предусмотрены две ручки. Основание трансформатора выполнено из текстолита. Колеса трансформатора неповоротные (рис. 22).

На верхней панели установлены сигнальная лампа и автомат включения. На боковой панели корпуса к трансформатору подводится питающее напряжение (220 В), а с противоположной стороны на изоляционной пластине выведены две шпильки для подключения сварочных проводов.

Работа схемы поста

Напряжение сети $U_1 = 220$ В подается на обмотку W_1 через контакты автомата S_1 (рис. 24).

В режиме холостого хода сварочная цепь разомкнута (ножи резистора R_H разомкнуты).

Под действием напряжения U_1 по первичной обмотке W_1 течет ток холостого хода I_{xx} . Магнитодвижущая сила F_{xx} , равная $I_{xx} \cdot W_1$, создает магнитный поток Φ . Из-за большого расстояния между первичными и вторичными обмотками часть магнитного потока Φ_{s1} рассеивается и, минуя вторичную обмотку, замыкается по воздуху.

Суммарный магнитный поток Φ трансформатора определяется суммой потоков:

$$\Phi = \Phi_o + \Phi_{s1}. \quad (30)$$

Магнитный поток Φ_o создает во вторичной обмотке электродвижущую силу E_2 . В режиме холостого хода $U_2 \approx E_2$.

Таким образом, напряжение холостого хода зависит от потока рассеяния Φ_s , величина которого определяется расстоянием ϵ между обмотками: $U_{xx} = f(\epsilon)$.

В режиме нагрузки, когда сварочная цепь замкнута, под действием напряжения сети U_1 в первичной обмотке ток I_1 создает магни-

тодвижущую силу $F_1 = I_1 \cdot W_1$, во вторичной обмотке ток I_2 создает $F_2 = I_2 \cdot W_2$.

Магнитодвижущие силы F_1 и F_2 создают суммарный магнитный поток Φ . Часть суммарного магнитного потока Φ_o проходит по магнитопроводу, а часть Φ_s замыкается по воздуху между обмотками, Φ_s называют потоком рассеяния.

Суммарный магнитный поток рассеяния, действующий между обмотками:

$$\sum \Phi_s = \Phi_{s1} + \Phi_{s2} + \Phi_{s3}, \quad (31)$$

где Φ_{s1} — поток рассеяния, сцепленный только с первичной обмоткой; Φ_{s2} — поток рассеяния, сцепленный только со вторичной обмоткой; Φ_{s3} — поток рассеяния, сцепленный с первичной обмоткой и частично со вторичной.

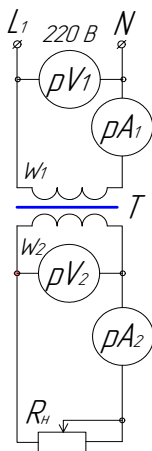


Рис. 24. Принципиальная схема сварочного поста

Полный магнитный поток трансформатора определяется суммой потоков:

$$\Phi = \Phi_o + \sum \Phi_s. \quad (32)$$

В режиме к.з. все ножи реостата R_H замкнуты или сварочная цепь замкнута проводом, величина тока $I_{кз}$ ограничена значениями U_{xx} и X_s : $I_{кз} \approx U_{кз}/X_s$. Поэтому к.з. для такого трансформатора является рабочим режимом. Начальное возбуждение дуги при ручной дуго-

вой сварке производится с к.з., поэтому $I_{кз}$ должен быть больше $I_{д}$, т. е. $I_{кз} > I_{д}$.

Указания и пояснения по выполнению работы

1. Собрать схему поста с измерительной аппаратурой (рис. 24).
2. Определить цену делений приборов со схемы и заполнить табл. 1.
3. Записать показания приборов в графу «Измерения» табл. 7, изменяя режимы работы трансформатора (х.х., нагрузка, к.з.). Количество замкнутых ножей $R_{н}$ регулируем нагрузку трансформатора.
4. Построить на одних осях графики:
 - внешней ВАХ $U_2 = f(I_2)$;
 - статической ВАХ дуги для ручной дуговой сварки $U_{д} = f(I_{д})$ (рис. 4).Получить точку их пересечения А1.
5. Определить кратность регулирования: $K_p = I_{д\max} / I_{д\min}$.
6. Определить значения X_s из формулы (12) для точки устойчивого равновесия системы «источник — дуга» А1. Значение ε подставлять в метрах.
7. Рассчитать значения η по формуле (4) для точки устойчивого равновесия системы А1.

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких узлов состоит сварочный трансформатор?
2. Какой внешней ВАХ обладает сварочный трансформатор и за счет чего она формируется?
3. За счет чего регулируется величина сварочного тока и чему равен коэффициент регулирования тока $K_{рег}$?
4. Какие значения КПД получены в работе?
5. В каких пределах изменяется величина X_s ?
6. Какие материалы можно сваривать, используя трансформатор, и каким диаметром электрода?
7. Укажите недостатки конструкции.

Содержание отчета

1. Титульный лист.
2. Название лабораторной работы.
3. Цель работы.
4. Электромагнитная схема сварочного трансформатора.
5. Электрическая схема лабораторного поста с измерительной аппаратурой.
6. Табл. 1. Измерительные приборы.
7. Табл. 7. Результаты измерений и расчетов.
8. Графики зависимостей $U_2 = f(I_2)$, $U_d = f(I_d)$.
9. Выводы. Указать способ формирования вольт-амперной характеристики $U_2 = f(I_2)$, возможный способ регулирования тока дуги $I_d = f(?)$ и выявленные недостатки конструкции.

Таблица 7

Результаты измерений и расчетов

Расстояние между обмотками ε , мм	Режим	Измерение				Расчет		
		U_1 , В	U_2 , В	I_1 , А	I_2 , А	P_1 , ВА	P_2 , ВА	η
1 ступень ($\varepsilon \approx 25$ мм)	ХХ							
	Н1							
	Н2							
	Н3							
	Н4							
	Н5							
	Н6							
	КЗ							

Библиографический список

1. Милютин, В.С. Источники питания для сварки : учеб. для вузов / В.С. Милютин, М.П. Шалимов, С.М. Шанчуров. — М. : АЙРИС-ПРЕСС, 2007. — 379 с. — (Высшее образование).
2. Короткова, Г.М. Источники питания технологических установок : учебное пособие (рабочая программа, метод. указ., задания к контрольной работе) / Г.М. Короткова. — Тольятти : ТГУ, 2001. — 56 с.
3. Короткова, Г.М. Источники питания для сварки : учебное пособие для студентов специальности «Оборудование и технология сварочного производства» / Г.М. Короткова, Р.А. Цепенев. — Куйбышев : Изд-во КуАИ, 1978. — 38 с.
4. Технология и оборудование сварки плавлением : лабораторный практикум / В.П. Сидоров [и др.] ; под ред. В.П. Сидорова [и др.]. — Тольятти : ТГУ, 2007. — 363 с.
5. Моторин, К.В. Сварочные трансформаторы : метод. указ. / К.В. Моторин. — Тольятти : ТолПИ, 1995. — 19 с.

Тольяттинский государственный университет
Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением
и родственные процессы»

ОТЧЕТ

по лабораторным работам

Студент	Моторин К.В.
Группа	МСбз-0000
Преподаватель	Короткова Г.М.

Тольятти 2017