

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра**  
**«Оборудование и технология сварочного производства»**

## ОБОРУДОВАНИЕ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ

*Методические указания к самостоятельной работе для студентов  
специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного  
производства» заочной формы обучения*



УДК 621.791.7  
ББК 30.61  
Т 38

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Оборудование и технология сварочного производства» «27» 04 2017 г., протокол № 9.

Составитель: канд. техн. наук, доц. С. М. Фурманов

Рецензент канд. техн. наук, доц.

Даны задания к самостоятельной работе по дисциплине «Оборудование сварки плавлением» для студентов специальности 1-36 01 06 «Оборудование и технология сварочного производства» заочной формы обучения, а также приведены методические указания по ее выполнению, перечень необходимой литературы.

Учебно-методическое издание

## ОБОРУДОВАНИЕ СВАРКИ ПЛАВЛЕНИЕМ

Ответственный за выпуск	В. П. Куликов
Технический редактор	С. М. Фурманов
Компьютерная верстка	С. М. Фурманов

Подписано в печать . Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл.печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Государственное учреждение высшего профессионального образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 24.01.2014.  
Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2017

## Содержание

	Стр.
1. Цель и содержание контрольной работы .....	4
2. Общие сведения о сварочных трансформаторах .....	4
3. Сварочные трансформаторы с подвижными катушками .....	5
4. Задача. Расчет сварочного трансформатора .....	7
5. Пример решения задачи .....	10
6. Список литературы.....	12

## 1. Цель и содержание контрольной работы

Целью контрольной работы является углубленное изучение студентами дисциплины «Оборудование сварки плавлением», получение знаний в области принципа работы и устройства трансформаторов для дуговой сварки плавлением, построения векторных диаграмм и внешних характеристик трансформаторов и эффективного применения их в практической деятельности.

Контрольная работа состоит из решения одной задачи. Вариант задания определяется по списку группы.

Для выполнения работы необходимо знать:

- устройство и основные характеристики источников питания сварочной дуги переменного тока;
- особенности эксплуатации и области применения источников питания сварочной дуги переменного тока.

Рекомендуемый перечень литературных источников не исключает возможность использования другой литературы.

## 2. Общие сведения о сварочных трансформаторах.

*Трансформатором* называется статический электромагнитный аппарат, преобразующий переменный ток одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты. Сварочный трансформатор преобразует сетевое напряжение 220 или 380 В частотой 50 или 60 Гц в пониженное (меньше 141 В), необходимое для сварки. В массовом порядке выпускаются только однопостовые трансформаторы, предназначенные для ручной дуговой сварки покрытыми электродами и для механизированной сварки под флюсом.

Трансформаторы должны обеспечивать легкое зажигание и устойчивое горение дуги при использовании электродов с высокими стабилизирующими свойствами, предназначенных специально для сварки на переменном токе. Низкая устойчивость горения дуги переменного тока является типичным недостатком сварочных трансформаторов. Другой важный недостаток простейших трансформаторов — низкая стабильность режима, обусловленная зависимостью от колебаний напряжения сети.

Главным достоинством трансформаторов является низкая стоимость их изготовления, они в 2...4 раза дешевле выпрямителей и в 6...10 раз дешевле агрегатов одинаковой мощности. Они дешевле и в эксплуатации, имеют сравнительно высокий коэффициент полезного действия (около 0,7...0,9) и низкий удельный расход электроэнергии (около 2...4 кВт·ч на 1 кг расплавленного электродного металла). Трансформаторы проще в эксплуатации, легко поддаются ремонту.

В отличие от силовых трансформаторов несварочного назначения, у которых потери магнитных потоков стремятся уменьшить, большая часть сварочных трансформаторов специально разработана с увеличенным магнитным рассеянием. Это достигается размещением первичной и вторичной обмотки на значительном расстоянии друг от друга. Для получения крутопадающей внешней характеристики используют индуктивность рассеяния трансформатора.

Так как обмотки удалены друг от друга, то значительная часть магнитного потока первичной обмотки не связана со вторичной обмоткой. Еще говорят, что у этих трансформаторов увеличенное электромагнитное рассеяние. Индуктивности рассеяния имеют значительную величину, и реактивное сопротивление обмоток оказывает большое влияние на ток трансформатора.

*Принцип действия* такого трансформатора иллюстрирует рис. 1. Наибольшее распространение получила конструктивная схема трансформатора со стержневым магнитопроводом 3, цилиндрическими первичной 1 и вторичной 2 обмотками, разбитыми каждая на две катушки. Подвижная обмотка (обычно вторичная) перемещается винтовым приводом 4. Основной поток трансформатора  $\Phi_T$  замыкается по магнитопроводу, а потоки рассеяния  $\Phi_{1\text{ рас}}$  и  $\Phi_{2\text{ рас}}$  — по воздуху в пространстве между первичной и вторичной обмотками.

Падающая внешняя характеристика у трансформатора с подвижными обмотками получается благодаря увеличенному магнитному рассеянию, вызванному размещением первичной и вторичной обмоток на значительном расстоянии друг от друга.

Плавное регулирование режима производится благодаря перемещению подвижных обмоток. Ступенчатое увеличение тока осуществляется переключением катушек первичных и вторичных обмоток с последовательного на параллельное соединение. Общая кратность регулирования составляет около 16.

### 3. Сварочные трансформаторы с подвижными катушками

*Трансформатор марки ТДМ-503* – трансформатор для дуговой сварки с механическим регулированием сварочного тока (рис. 2) используется для питания электрической дуги при РДС, резке и наплавке металлов однофазным переменным током частотой 50 Гц. Данные трансформаторы представляют собой передвижные установки в однокорпусном исполнении с естественной вентиляцией.

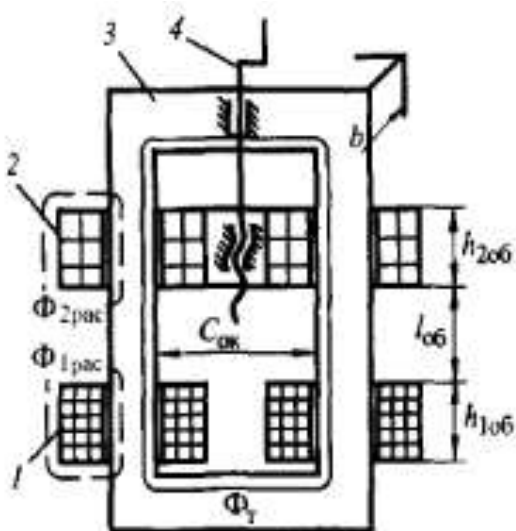


Рис. 1. Конструктивная схема трансформатора с подвижными обмотками

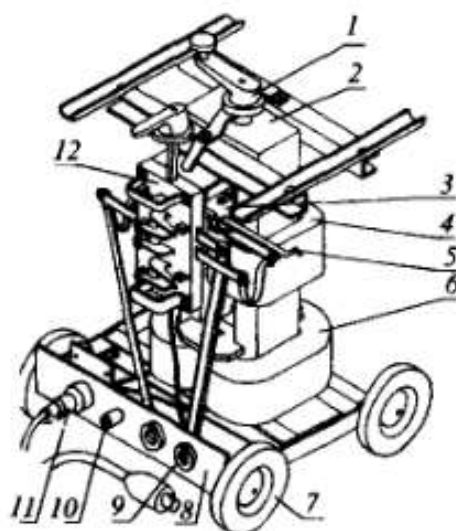


Рис. 2. Конструкция трансформатора ТДМ-503

Он имеет стержневой магнитопровод 2, первичную 6 и вторичную 4 обмотки, переключатель диапазонов тока 12, регулятор тока 1, раму 8, колеса 7 и не показанный на рисунке кожух. Магнитопровод набран из холоднокатаной электротехнической стали толщиной 0,5 мм. Сердечник трансформатора стержневого типа. Первичная и вторичная обмотки имеют по две катушки, расположенные попарно на стержнях магнитопровода. Цилиндрические катушки первичной обмотки намотаны алюминиевым проводом со стекловолоконистой изоляцией, пропитаны электротехническим лаком, неподвижно закреплены у нижнего ярма. Катушки вторичной обмотки намотаны «на ребро» алюминиевой шиной, изолированы стеклолентой и также пропитаны лаком, они скреплены друг с другом с помощью пластмассовой обоймы 3. Перечисленные обмоточные и изоляционные материалы относятся к классу F, т. е. обеспечивают работоспособность при температуре их нагрева до 155°C. В обойму впрессована гайка, которая при вращении ходового винта обеспечивает перемещение всего пакета вторичных катушек, т.е. плавное регулирование сварочного тока. К обойме прикреплен также токоуказатель 5, перемещающийся по прорези шкалы на кожухе трансформатора. Ножевым переключателем 12 изменяют соединение друг с другом катушек как первичной так и вторичной обмоток, получая два диапазона регулирования тока. На раме трансформатора имеются два байонетных разъема 9 для подключения сварочных проводов, сетевой штепсельный разъем 11 и болт заземления 10.

Принципиальная электрическая схема трансформатора приведена на рис. 3,а. Для снижения помех радиоприему трансформатор снабжен емкостным фильтром из конденсаторов С1, С2. На каждом стержне размещено по одной катушке первичной и вторичной обмотки. Каждая первичная катушка состоит из двух секций, например, Т.11 и Т.12 или Т.13 и Т.14. С помощью переключателя S выполняется последовательное или параллельное соединение катушек как первичной, так и вторичной обмотки. Переключатель S показан в положении, обеспечивающем параллельное соединение катушки первичной обмотки Т.11, Т.12 с катушкой Т.13, Т.14, а также параллельное соединение катушек Т.21 и Т.22 вторичной обмотки, что соответствует диапазону больших токов. Крайние внешние характеристики (рис. 3,б) для этого диапазона показаны сплошными линиями, левая соответствует верхнему положению вторичной обмотки, правая — нижнему ее положению, т.е. предельному сближению с первичной обмоткой.

При другом положении переключателя попарно-последовательно соединяются катушки первичной и вторичной обмотки — секция Т.11 катушки первичной обмотки соединяется последовательно с секцией Т.13, а катушка вторичной обмотки Т.21 последовательно соединяется с катушкой Т.22, что обеспечивает диапазон малых токов. Внешние характеристики для этого случая изображены пунктиром на рис. 3,б. При таком соединении отключаются секции Т.12 и Т.14 первичных катушек, в результате чего напряжение холостого хода повышается, что благоприятно отражается на устойчивости процесса сварки при малых токах. Общая кратность регулирования тока при этом около 7, что вполне достаточно по условиям сварки покрытыми электродами.

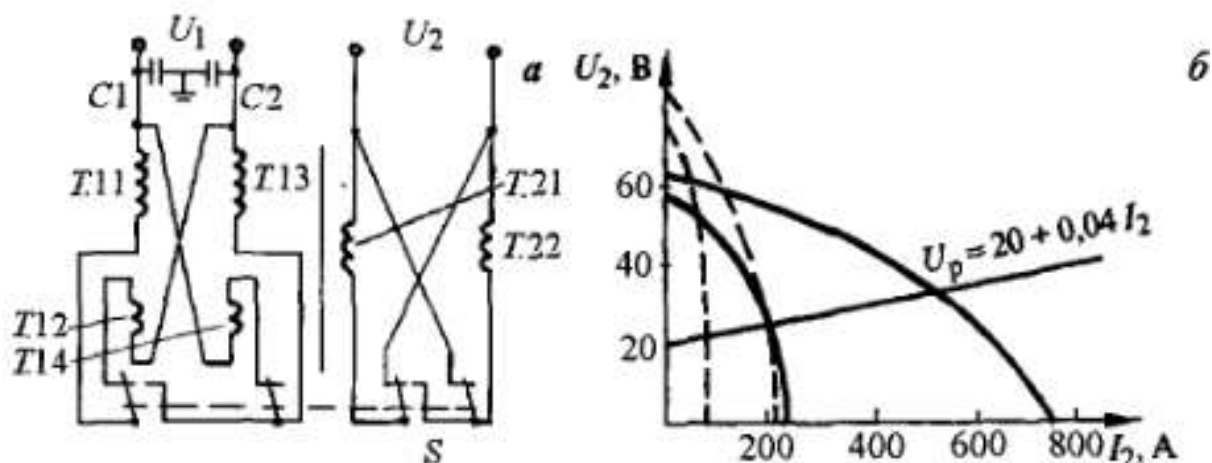


Рис. 3. Принципиальная схема (а) и внешние характеристики (б) трансформатора ТДМ-503

#### 4. Задача. Расчет сварочного трансформатора.

Напишите уравнение и постройте внешнюю характеристику сварочного трансформатора с повышенным рассеянием, соответствующую сварке на максимально допустимом токе.

##### 4.1. Исходные данные:

$I_{2Н}$  – номинальный сварочный ток источника питания, А;  
 $ПН_H$  – номинальная продолжительность нагрузки, %;  
 $U_{20}$  – напряжение холостого хода, В;  
 $ПН_p$  – рабочая продолжительность нагрузки, %;  
 $\cos \varphi_K, \varphi_K$  – сдвиг фаз между напряжением  $U_{20}$  и током  $I_{K3}$  при коротком замыкании.

Исходные данные к задаче даны в таблице 1.

##### 4.2. Порядок решения задачи

Так как  $ПН_p$  отличается от  $ПН_H$ , то определим величину допустимого сварочного тока по формуле:

$$I_{2\text{доп}} = I_{2Н} \cdot \sqrt{\frac{ПН_H}{ПН_p}}, \quad (1)$$

Напряжение на дуге при токе  $I_d = I_{2\text{доп}}$ :

$$U_{д0} = 20 + 0,04 \cdot I_{2\text{доп}}, \quad (2)$$

Угол  $\varphi_K = \arccos(\cos \varphi_K)$

Угол  $\alpha = 180^\circ - \varphi_K$

Таблица 1 – Исходные данные

№ варианта	$I_{2H}$	ПНН%	$U_{20}$	ПНР%	$\cos \varphi_K$
1	160	20	60	30	0,22
2	160	25	65	35	0,24
3	160	30	70	40	0,26
4	160	35	75	55	0,28
5	160	40	80	60	0,3
6	250	20	60	40	0,22
7	250	25	65	50	0,24
8	250	30	70	45	0,26
9	250	35	75	55	0,28
10	250	40	80	60	0,3
11	315	55	65	40	0,22
12	315	60	70	70	0,24
13	315	65	75	50	0,26
14	315	70	80	75	0,28
15	315	75	65	80	0,3
16	400	55	70	40	0,32
17	400	60	75	70	0,22
18	400	65	80	50	0,24
19	400	70	65	75	0,26
20	400	75	70	80	0,28
21	500	55	75	40	0,3
22	500	60	80	70	0,32
23	500	65	65	50	0,22
24	500	70	70	75	0,24
25	500	75	75	80	0,26
26	600	55	60	60	0,3
27	600	60	65	70	0,32
28	600	65	70	50	0,34
29	600	70	75	75	0,36
30	600	75	60	80	0,38
31	700	55	65	60	0,34
32	700	60	60	70	0,36
33	700	65	75	55	0,38
34	700	70	70	75	0,4
35	700	75	65	80	0,42



Строим векторную диаграмму трансформатора (рис. 4). Построение начинаем с вектора  $U_{до}$  (точка А). Выбираем масштаб по напряжению  $m_H$  [В/см], тогда длины векторов:

$$l_{U_{до}} = \frac{U_{до}}{m_H}, \text{ см}; \quad l_{U_{20}} = \frac{U_{20}}{m_H}, \text{ см}.$$

От конца вектора  $U_{до}$  (точка D) откладываем угол  $\varphi_K$ . Далее от точки А радиусом  $R = l_{U_{20}}$  делаем засечку на пересечении с углом  $\varphi_K$  (точка В) от точки В опускаем перпендикуляр до пересечения с продолжением вектора  $U_{до}$  (точка С).

По теореме синусов из  $\Delta ABD$ :

$$\frac{U_{20}}{\sin \alpha} = \frac{U_{до}}{\sin \gamma} = \frac{I_{2доп} \cdot Z_H}{\sin \varphi} \quad (3)$$

Найдем  $\sin \gamma$ :

$$\sin \gamma = \frac{U_{до} \cdot \sin \alpha}{U_{20}}; \quad (4)$$

$$\gamma = \arcsin(\sin \gamma);$$

$$\varphi = 180^\circ - (\alpha + \gamma).$$

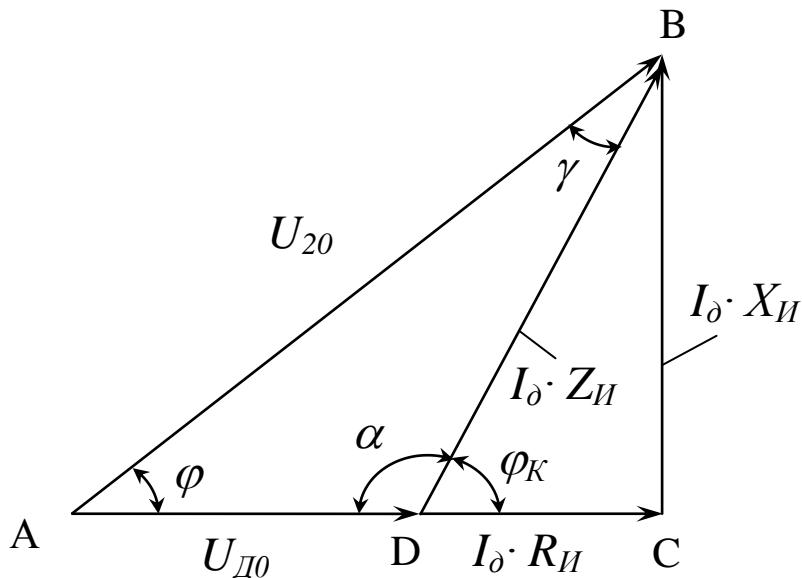


Рисунок 4. – Векторная диаграмма трансформатора.

Найдем активное сопротивление источника питания – трансформатора. Из  $\Delta BCD$  видно, что

$$R_{И} = Z_{И} \cdot \cos \varphi_K \quad (5)$$

Из уравнения (3) полное  $Z_{II}$ , а затем индуктивное  $X_{II}$  сопротивление трансформатора:

$$Z_{II} = \frac{U_{20} \cdot \sin \varphi}{I_{2\text{доп}} \cdot \sin \alpha}, \text{ Ом} \quad (6)$$

$$X_{II} = \sqrt{Z_{II}^2 - R_{II}^2}, \text{ Ом} \quad (7)$$

Из  $\Delta BCD$  определим ток короткого замыкания трансформатора:

$$I_{KЗ} = \frac{U_{20}}{Z_{II}}, \text{ А} \quad (8)$$

Из  $\Delta ABC$  определяем уравнение внешней характеристики трансформатора  $U_{\delta}=f(I_{\delta})$

$$U_{\delta} = \sqrt{U_{20}^2 - (I_{\delta} \cdot X_{II})^2} - I_{\delta} \cdot R_{II} \quad (9)$$

Задаем значения  $I_{\delta}$  от 0 до  $I_{KЗ}$  и вычисляем значения  $U_{\delta}$ . Данные вычислений заносим в таблицу 2 и строим внешнюю характеристику  $U_{\delta}=f(I_{\delta})$ :

Таблица 2 – Расчет внешней характеристики  $U_{\delta}=f(I_{\delta})$

$I_{\delta}, \text{А}$	0	100	200	300	400	500	...	$I_{KЗ}$
$U_{\delta}, \text{В}$								

## 5. Пример решения задачи

Исходные данные представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные

$I_{2Н}$	ПН <sub>Н</sub> %	$U_{20}$	ПН <sub>Р</sub> %	$\cos \varphi_K$
350	50	60	80	0.36

Определим величину допустимого сварочного тока по формуле (1):

$$I_{2\text{доп}} = 350 \cdot \sqrt{\frac{50}{80}} = 276.7 \text{ А,}$$

Напряжение на дуге при токе  $I_{\delta} = I_{2\text{доп}}$  по формуле (2):

$$U_{\delta 0} = 20 + 0,04 \cdot 276.7 = 31.1 \text{ В,}$$

$$\varphi_K = \arccos 0.36 = 68.9^{\circ}$$

$$\alpha = 180^{\circ} - 68.9^{\circ} = 111.1^{\circ}$$

Строим векторную диаграмму по представленной выше методике (см. рис. 4). Выбираем масштаб по напряжению  $m_H=10$  В/см, тогда длины векторов составят:

$$l_{U_{до}} = \frac{31.1}{10} \approx 3.1 \text{ см}; \quad l_{U_{20}} = \frac{60}{10} = 6 \text{ см.}$$

Из  $\Delta ABD$  (см. рис. 4) по формуле (4) найдем  $\sin \gamma$ :

$$\sin \gamma = \frac{31.1 \cdot \sin 111.1^\circ}{60} = 0.4833;$$

$$\gamma = \arcsin 0.4833 = 28.9^\circ ;$$

$$\varphi = 180^\circ - (111.1^\circ + 28.9^\circ) = 40^\circ.$$

Найдем полное  $Z_{II}$  по формуле (6), а затем индуктивное  $X_{II}$  по формуле (7) сопротивление трансформатора:

$$Z_{II} = \frac{60 \cdot \sin 40^\circ}{276.7 \cdot \sin 111.1^\circ} = 0.15 \text{ Ом}$$

$$X_{II} = \sqrt{0.15^2 - 0.054^2} = 0.14 \text{ Ом}$$

Найдем активное сопротивление трансформатора по формуле (5)

$$R_{II} = 0.15 \cdot 0.36 = 0.054 \text{ Ом}$$

Определим ток короткого замыкания трансформатора по формуле (8):

$$I_{кз} = \frac{60}{0.15} = 400 \text{ А}$$

Рассчитываем внешнюю характеристику трансформатора  $U_\partial=f(I_\partial)$  по формуле (9):

$$U_\partial = \sqrt{U_{20}^2 - (I_\partial \cdot X_{II})^2} - I_\partial \cdot R_{II}$$

Задаем значения  $I_\partial$  от 0 до  $I_{кз}$  и вычисляем значения  $U_\partial$ . Данные вычислений заносим в таблицу 4 и строим внешнюю характеристику  $U_\partial=f(I_\partial)$  (рисунок 5):

Таблица 4 – Результаты расчета внешней характеристики  $U_{\partial}=f(I_{\partial})$ 

$I_{\partial}, A$	0	100	200	300	400
$U_{\partial}, B$	60	53	42.4	27	0.3

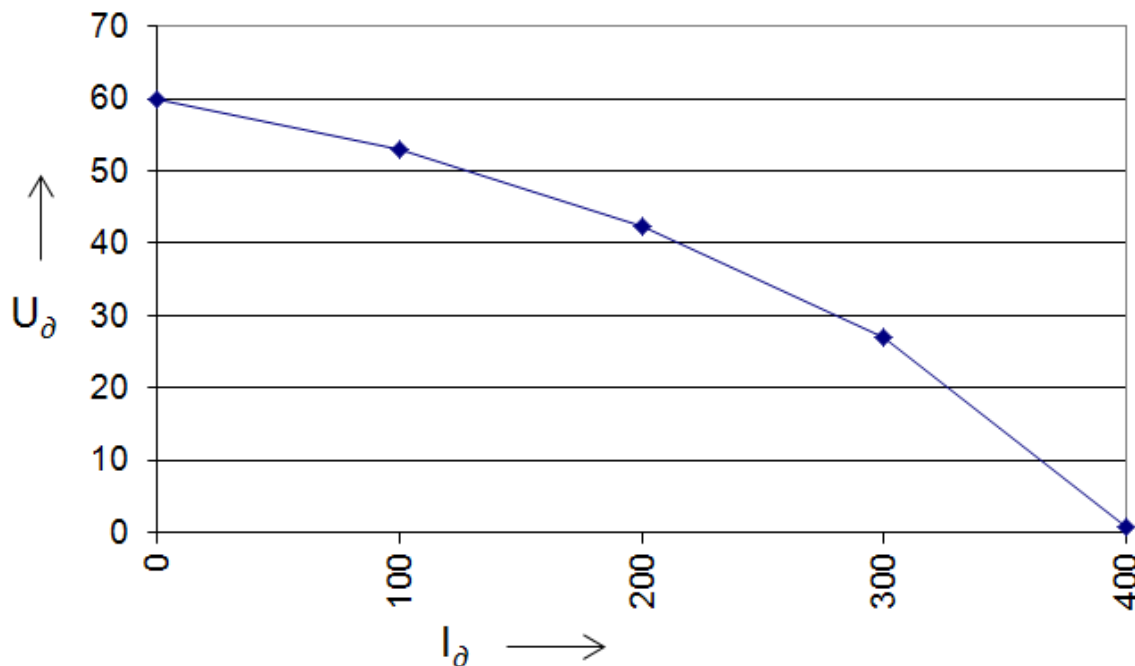


Рисунок 5 – Внешняя вольтамперная характеристика трансформатора

## 6. Список литературы

- 1 **Милютин, В. С.** Источники питания для сварки / В. С. Милютин, М. П. Шалимов, С. М. Шанчуров. – М.: Айрис-пресс, 2007. – 384 с.
- 2 **Милютин, В. С.** Источники питания и оборудование для электрической сварки плавлением / В. С. Милютин, Р. Ф. Катаев. – М.: Академия, 2013. – 368 с.
- 3 **Браткова, О. Н.** Источники питания сварочной дуги / О. Н. Браткова. – М.: Высш. шк., 1982. – 117 с.

