

**ПГУПС**

**Лабораторная работа № 21**  
**«Исследование индуктивной катушки**  
**без сердечника»**

Выполнил Круглов В.А.

Проверил Костроминов А.А.

Санкт-Петербург  
2009

## Оглавление

Оглавление.....	1
Перечень условных обозначений: .....	2
Введение: .....	3
Цель работы: .....	3
Теоретическая часть: .....	3
Программа работы: .....	3
Таблица измерительных приборов: .....	5
Таблицы экспериментальных результатов .....	6
Теоретический расчет .....	7
Расчетные формулы: .....	7
Пример расчета (Опыт №1, 3 <sup>я</sup> строка):.....	7
Графики зависимостей для первого опыта:.....	8
Графики зависимостей для второго опыта: .....	9
Графики зависимостей для третьего опыта: .....	10
Выводы: .....	11

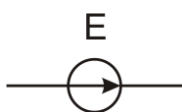
## Перечень условных обозначений:



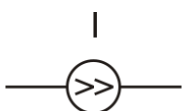
Узел соединения



Сопротивление



Источник ЭДС



Источник тока



Вольтметр



Направление тока



Обход контура (направление)

Электрическое напряжение —  $U$  [В]

Электрическое сопротивление —  $R$  [Ом]

Электрический ток —  $I$  [А]

Электрический потенциал —  $\varphi$  [В]

Электродвижущая сила —  $E$  [В]

Источник тока —  $J$  [А]

Электрическая проводимость —  $G$  [Ом<sup>-1</sup>]

## Введение:

### Цель работы:

Исследование индуктивной катушки без сердечника при синусоидальном воздействии.

### Теоретическая часть:

Одним из основных элементов, применяемых в электрических цепях, является индуктивная катушка — элемент электрической цепи, предназначенный для использования его индуктивности.

Индуктивность (коэффициент самоиндукции)  $L$  катушки равна её потокосцеплению самоиндукции  $\Psi_L$ , приходящемуся на единицу тока  $i$ , протекающему по катушке, то есть

$$L = \frac{\Psi_L}{i} \quad (1)$$

Если считать, что весь магнитный поток  $\Phi$  замыкается внутри катушки и магнитная индукция  $B$  во всех точках одинакова, а это наиболее справедливо для тороидальных и длинных цилиндрических (отношение длины к диаметру равно 20 и более) катушек, то имеем

$$\Psi_L = w\Phi = wSB = ws\mu_a H = wS\mu_0 \frac{iw}{l} \quad (2)$$

где  $w$  — число витков индуктивной катушки;  $S$  — площадь её поперечного сечения;  $\mu_0$  — магнитная проницаемость магнитной цепи, при наличии ферромагнитного сердечника зависящая от индукции;  $H = \frac{iw}{l}$  — напряженность магнитного поля (равенство записано на основании закона полного тока с учетом вышеприведенных допущений);  $l$  — средняя длина магнитной линии. Таким образом, индуктивность катушки

$$L = \frac{\Psi_L}{i} = \frac{w^2}{\frac{l}{\mu_0 S}} = \frac{w^2}{R_m} \quad (3)$$

где  $R_m$  — магнитное сопротивление катушки.

Для цилиндрических катушек без сердечника  $\mu_a = \mu_0$  и  $L = const$

В системе СИ индуктивность измеряется в генри (Гн).

### Программа работы:

1. Опытное исследование зависимостей величин  $L, R, X, z, G, B, Y, \varphi, Q$  индуктивной катушки от напряжения  $U$  при  $w = const$  на частоте  $f = 50$  Гц.

Собирают схему, изображенную на рис. 3, и подключают ее к зажимам сети ( $f = 50$  Гц).

Индуктивная катушка состоит из нескольких секций, расположенных на одном немагнитном каркасе, начало и конец которых обозначены цифрами 1, 2, 3 и т.д. Секции соединяют последовательно.

Напряжение  $U$  регулируют автотрансформатором АТ и измеряют вольтметром. В интервале 30-150 В снимают 6-8 точек. Показания вольтметра, амперметра и ваттметра заносят в таблицу 1.

Для каждого значения напряжения вычисляют указанные в таблице величины по формулам, приведенным в пункте расчетные формулы. При этом сопротивление  $X_L, z$ , проводимость  $G_L, B_L, Y_L$ , добротность  $Q$  и фазовый сдвиг  $\varphi$  остаются постоянными; ток  $I = \frac{U}{z}$  расчет пропорционально напряжению, а мощность  $P = RI^2 = \frac{R}{z^2} U^2$  - пропорционально квадрату напряжения.

Определив среднее значение каждой величины, строят треугольники сопротивлений, проводимостей, напряжений, токов и мощностей для схем, изображенных на рис. 1 и рис. 2.

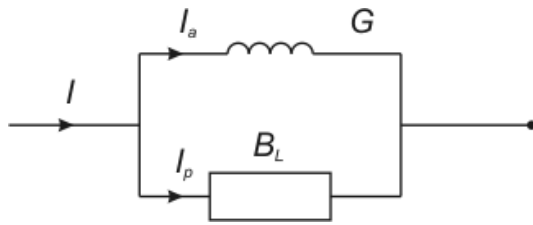


рис. 1

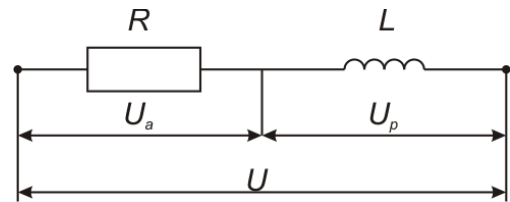


рис. 2

2. Опытное исследование зависимостей тех же величин от числа витков  $w$  индуктивной катушки при  $I = const$  и  $f = 50$  Гц.

Исследование индуктивной катушки производят при  $I = const$  (величина тока указывается преподавателем). Число витков  $w$  катушки изменяют переключением количества секций обмотки. Постоянную величину тока поддерживают с помощью АТ. Показания приборов заносят в таблицу 2 и вычисляют указанные в таблице величины по формулам. Активное сопротивление катушки  $R$  очевидно пропорционально числу включенных последовательно витков. Индуктивность  $L = \frac{w^2}{R}$ , а следовательно, и индуктивное сопротивление  $X_L = \omega L$  увеличиваются пропорционально квадрату числа витков; соответственно увеличиваются полное сопротивление  $z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ , добротность  $Q = \frac{X_L}{R}$  и сдвиг фаз  $\varphi = \arctg \frac{X_L}{R}$ . При постоянной величине тока напряжение растет пропорционально полному сопротивлению  $U = Iz$ , а мощность  $P = RI^2$  - пропорционально числу витков.

3. Опытное исследование зависимостей тех же величин от частоты  $f$  при  $U = const$ .

Схему изображенную на рисунке 3, подключают к зажимам источника с регулируемой частотой. Напряжение поддерживают неизменным (величина его указывается преподавателем). Диапазон изменения частоты указан на рабочем месте. Показания приборов заносят в таблицу 3 и вычисляют указанные в ней величины по формулам. При увеличении частоты активное сопротивление катушки  $R$  и ее индуктивность  $L$  остаются практически постоянными, реактивное сопротивление  $X_L = \omega L$  и добротность  $Q = \frac{X_L}{R}$  растут по линейному закону, полное сопротивление  $z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$  - по гиперболе, поэтому с ростом частоты ток  $I = \frac{U}{z}$  и мощность  $P = RI^2$  убывают, а разность фаз  $\varphi = \arctg \frac{\omega L}{R}$  увеличивается.

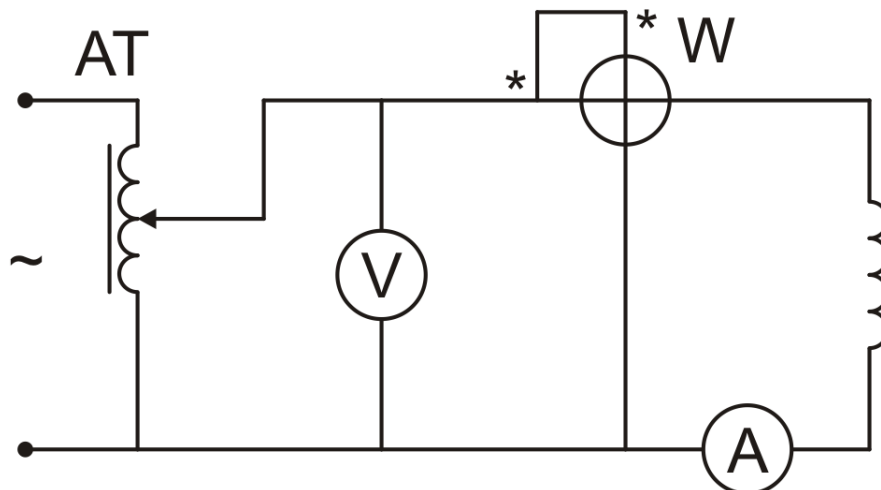


Рис.3 – Рабочая схема

**Таблица измерительных приборов:**

№	название	система прибора	заводской номер	класс точности прибора	предел измерения	цена деления
1	Амперметр	магнито-электрическая	518	0.5	1 (А)	0.01 (А)
2	Вольтметр	магнито-электрическая	6771	0.5	150 (В)	1 (В)
2	Ваттметр	магнито-электрическая	60318	0.5	75 (В)	0.5 (В)

## Таблицы экспериментальных результатов

Таблица 1

Опыт	Наблюдают					Вычисляют									
	f, Гц	w	U, В	I, А	P, Вт	Z, Ом	R, Ом	X, Ом	Y, Ом	G, Ом	B, Ом	L, Гн	Q	фи, град	cos фи
1	50	2500	30	0,17	0,50	176,47	17,30	175,62	0,00567	0,00056	0,00564	0,55902	10,15	84,37	0,09804
	50	2500	40	0,23	1,50	173,91	28,36	171,59	0,00575	0,00094	0,00567	0,54617	6,05	80,62	0,16304
	50	2500	50	0,29	2,50	172,41	29,73	169,83	0,00580	0,00100	0,00571	0,54059	5,71	80,07	0,17241
	50	2500	60	0,35	3,50	171,43	28,57	169,03	0,00583	0,00097	0,00575	0,53804	5,92	80,41	0,16667
	50	2500	70	0,40	5,00	175,00	31,25	172,19	0,00571	0,00102	0,00562	0,54809	5,51	79,71	0,17857
	50	2500	80	0,46	6,50	173,91	30,72	171,18	0,00575	0,00102	0,00566	0,54488	5,57	79,83	0,17663
	50	2500	90	0,51	8,00	176,47	30,76	173,77	0,00567	0,00099	0,00558	0,55313	5,65	79,96	0,17429
	50	2500	100	0,57	10,00	175,44	30,78	172,72	0,00570	0,00100	0,00561	0,54978	5,61	79,90	0,17544
	Среднее значение					174,38	28,43	171,99	0,00574	0,00094	0,00566	0,54746	6,27	80,61	
2	50	2500	35	0,20	1,00	175,00	25,00	173,21	0,00571	0,00082	0,00566	0,55133	6,93	81,79	0,14286
	50	2100	26	0,20	0,50	130,00	12,50	129,40	0,00769	0,00074	0,00766	0,41189	10,35	84,48	0,09615
	50	1700	18	0,20	0,50	90,00	12,50	89,13	0,01111	0,00154	0,01100	0,28370	7,13	82,02	0,13889
	50	1300	12	0,20	0,25	60,00	6,25	59,67	0,01667	0,00174	0,01658	0,18995	9,55	84,02	0,10417
		Среднее значение					113,75	14,06	112,85	0,01030	0,00121	0,01022	0,35922	8,49	83,08
3	50	2500	60	0,35	3,50	171,43	28,57	169,03	0,00583	0,00097	0,00575	0,53804	5,92	80,41	0,16667
	55	2500	60	0,31	3,00	193,55	31,22	191,01	0,00517	0,00083	0,00510	0,55274	6,12	80,72	0,16129
	60	2500	60	0,29	2,50	206,90	29,73	204,75	0,00483	0,00069	0,00478	0,54312	6,89	81,74	0,14368
	65	2500	60	0,27	2,00	222,22	27,43	220,52	0,00450	0,00056	0,00447	0,53996	8,04	82,91	0,12346
	70	2500	60	0,25	1,50	240,00	24,00	238,80	0,00417	0,00042	0,00415	0,54294	9,95	84,26	0,10000
	75	2500	60	0,23	1,50	260,87	28,36	259,32	0,00383	0,00042	0,00381	0,55030	9,15	83,76	0,10870
	80	2500	60	0,22	1,50	272,73	30,99	270,96	0,00367	0,00042	0,00364	0,53906	8,74	83,48	0,11364
		Среднее значение					223,96	28,61	222,06	0,00457	0,00062	0,00453	0,54374	7,83	82,47

## Теоретический расчет

### Расчетные формулы:

$$z = \frac{U}{I} - \text{полное сопротивление индуктивной катушки}$$

$$R = \frac{P}{I^2} - \text{активное сопротивление индуктивной катушки}$$

$$X_L = \sqrt{z^2 - R^2} - \text{индуктивное сопротивление индуктивной катушки}$$

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{X_L}{2\pi f} - \text{индуктивность индуктивной катушки}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{UI} - \text{отношение активной мощности к полной мощности}$$

$$Y = \frac{I}{U} - \text{полная проводимость индуктивной катушки}$$

$$Q = \frac{X_L}{R} - \text{добротность индуктивной катушки}$$

$$G = Y \cos \varphi - \text{активная проводимость индуктивной катушки}$$

$$B_L = Y \sin \varphi - \text{реактивная (индуктивная) проводимость индуктивной катушки}$$

### Пример расчета (Опыт №1, 3я строка):

$$z = \frac{U}{I} = \frac{50}{0,29} = 172,41 \text{ Ом}$$

$$R = \frac{P}{I^2} = \frac{2,50}{0,29^2} = 29,73 \text{ Ом}$$

$$X_L = \sqrt{z^2 - R^2} = \sqrt{172,41^2 - 29,73^2} = 169,83 \text{ Ом}$$

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{169,83}{2\pi 50} = 0,54 \text{ Гн}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{UI} = \frac{2,50}{50 \cdot 0,29} = 0,172$$

$$Y = \frac{I}{U} = \frac{0,29}{50} = 0,0058 \text{ См}$$

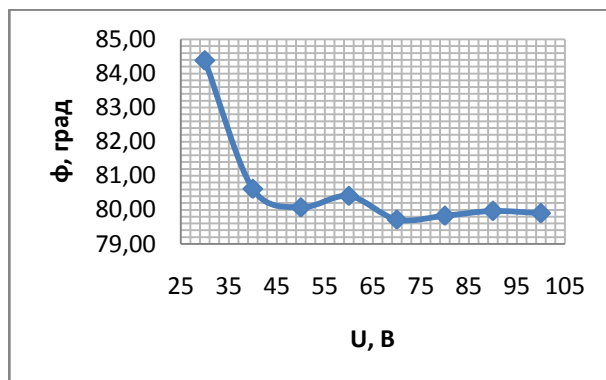
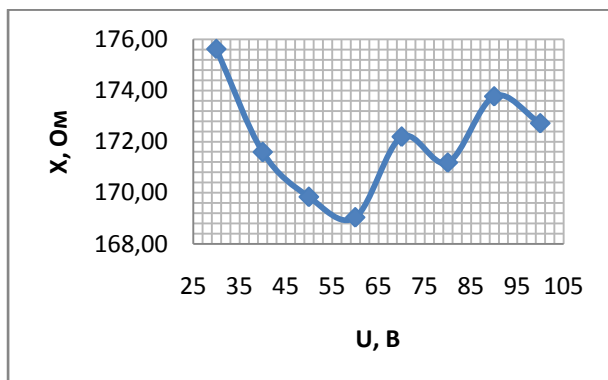
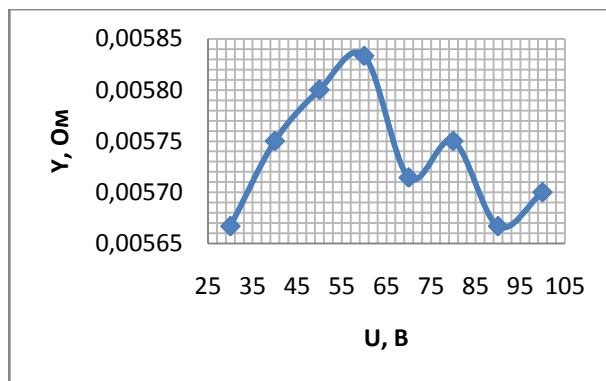
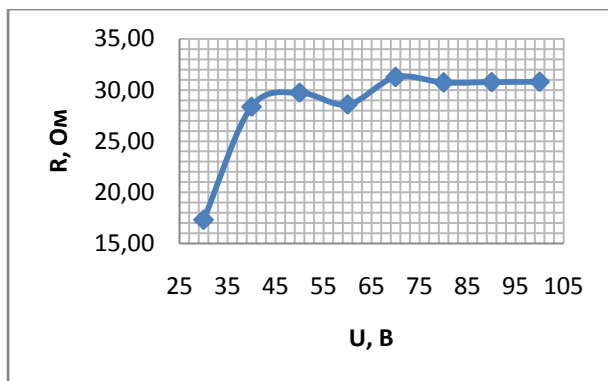
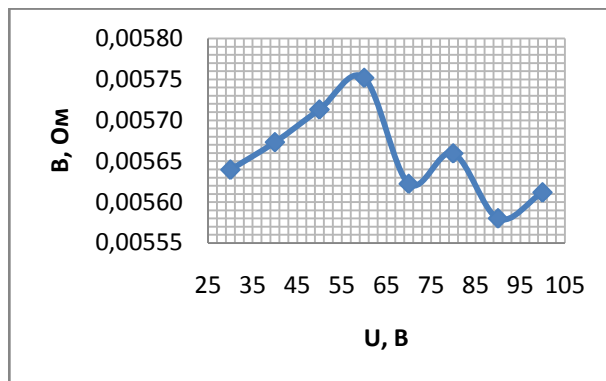
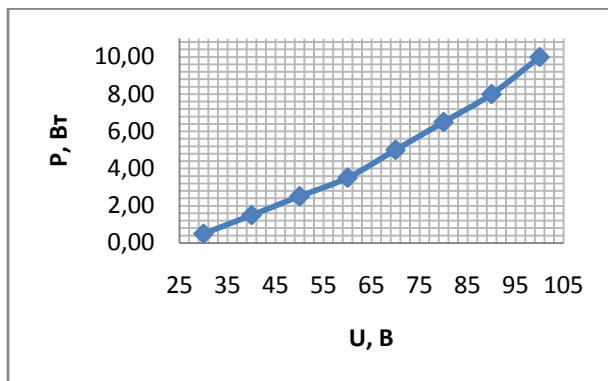
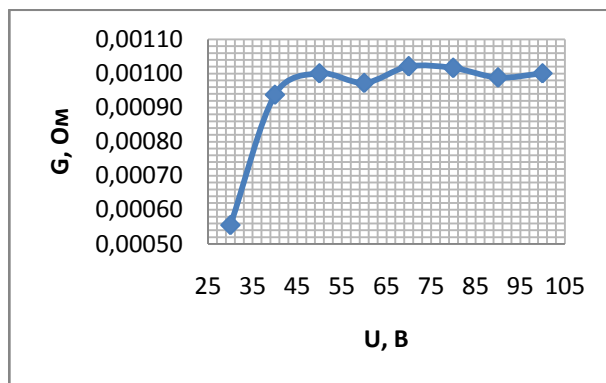
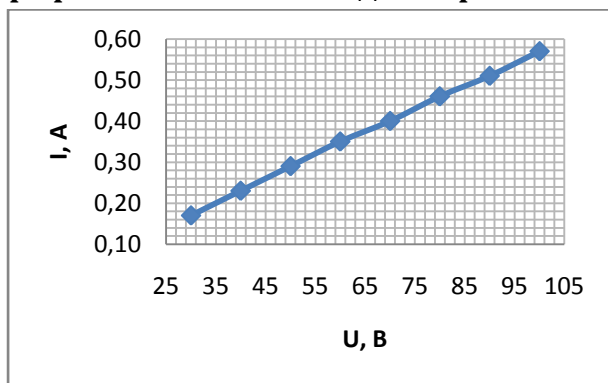
$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{169,83}{29,73} = 5,71$$

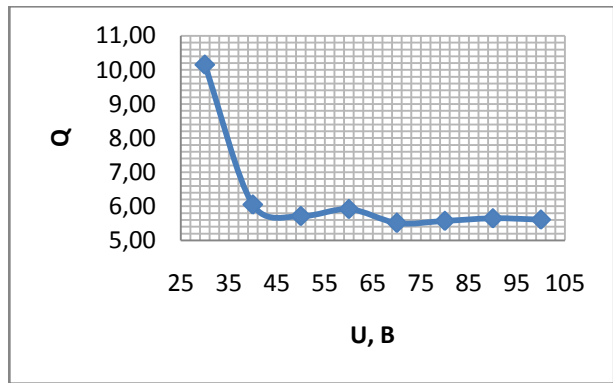
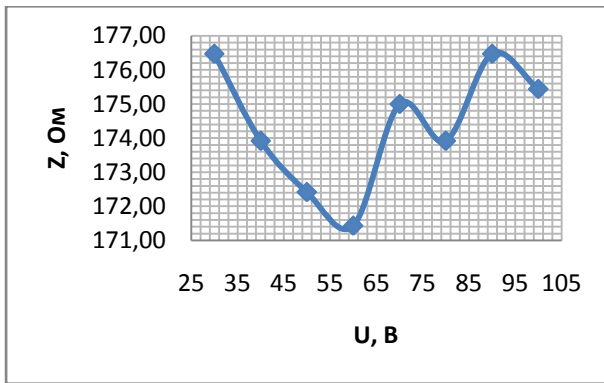
$$G = Y \cos \varphi = 0,0058 \cdot 0,172 = 0,001 \text{ См}$$

$$B_L = Y \sin \varphi = 0,0058 \cdot 0,985 = 0,00571 \text{ См}$$

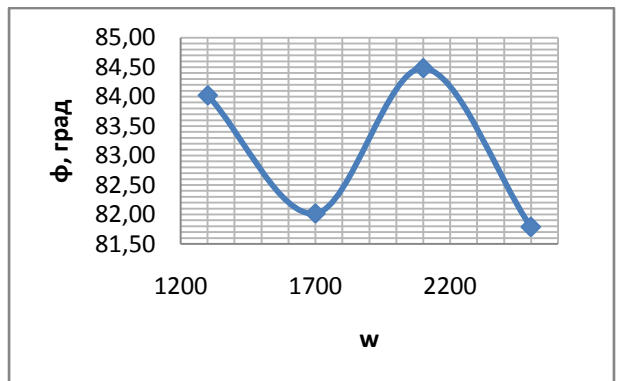
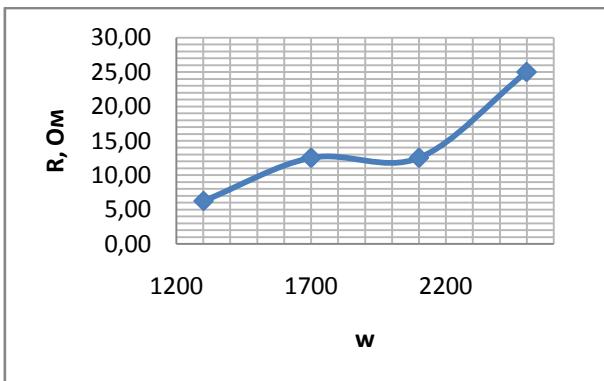
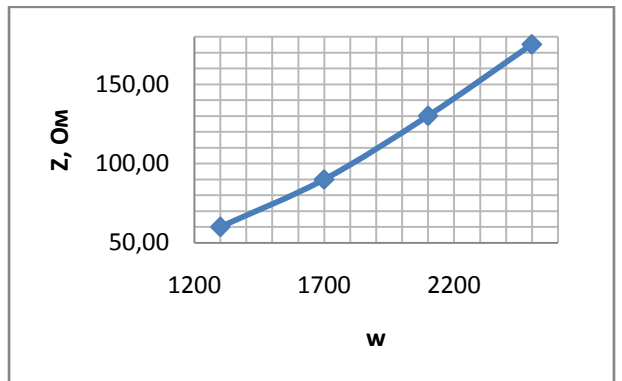
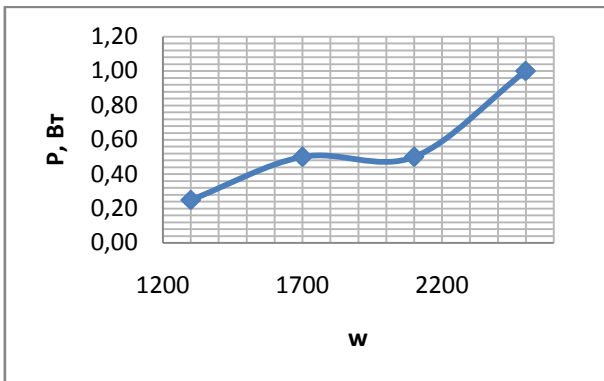
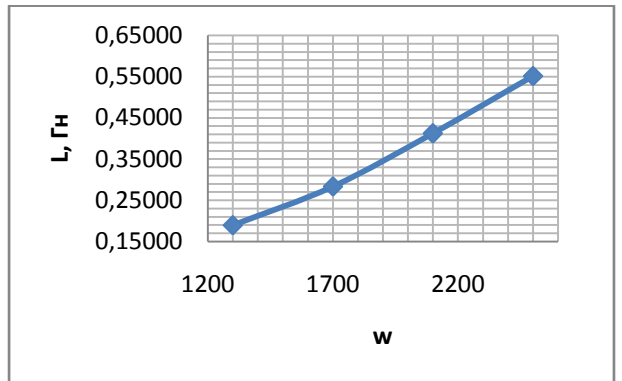
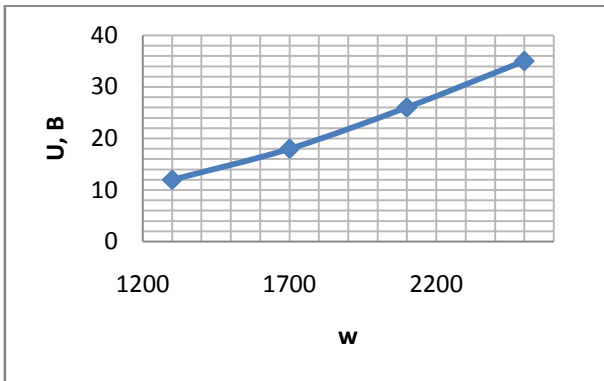


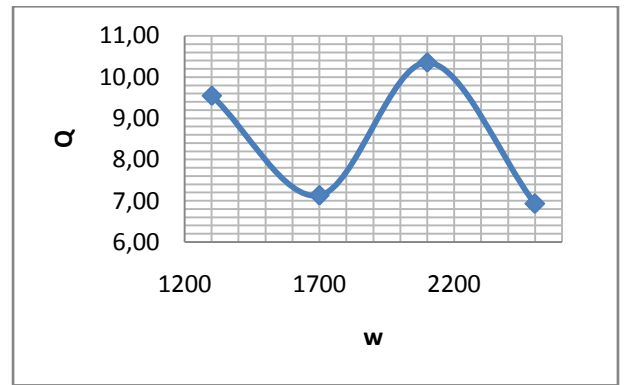
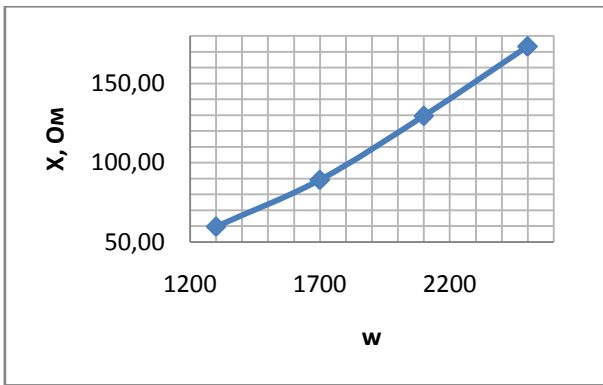
**Графики зависимостей для первого опыта:**



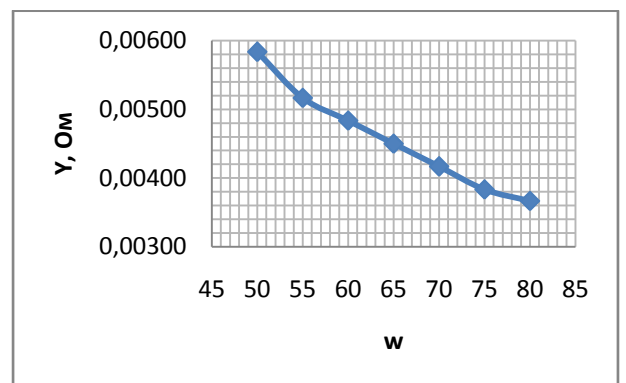
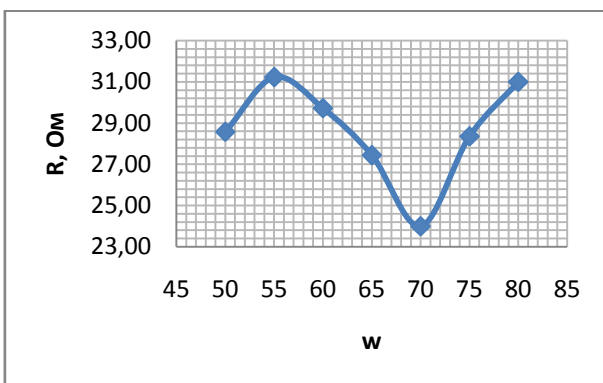
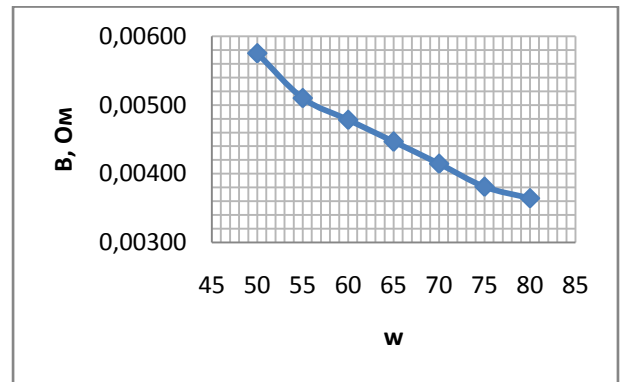
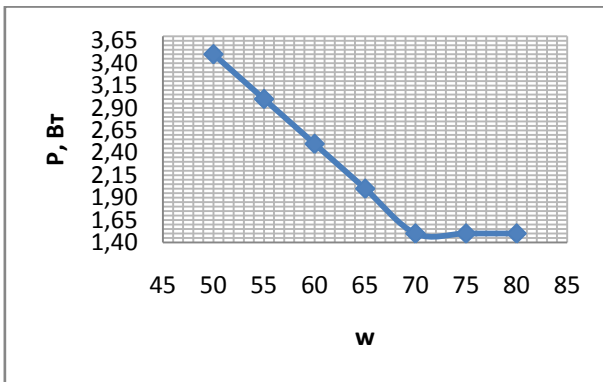
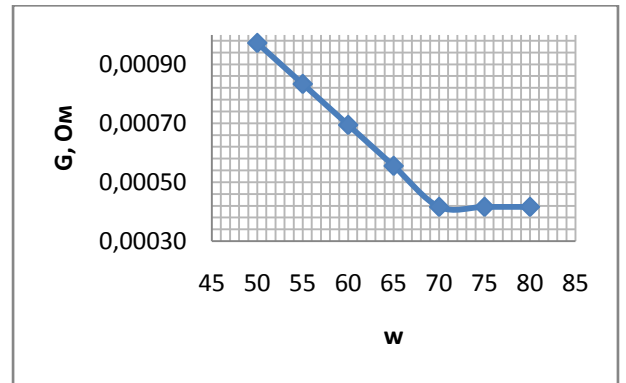
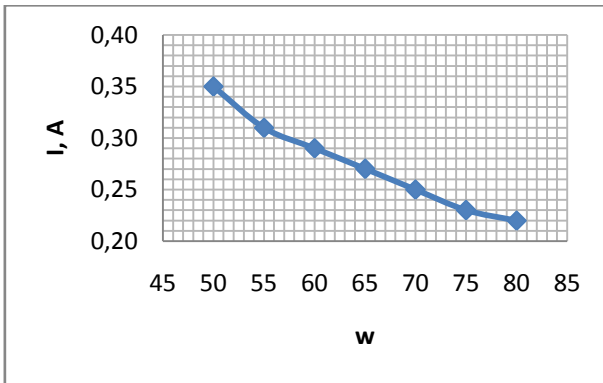


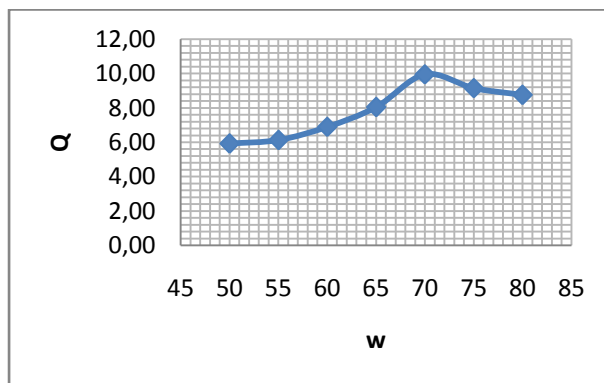
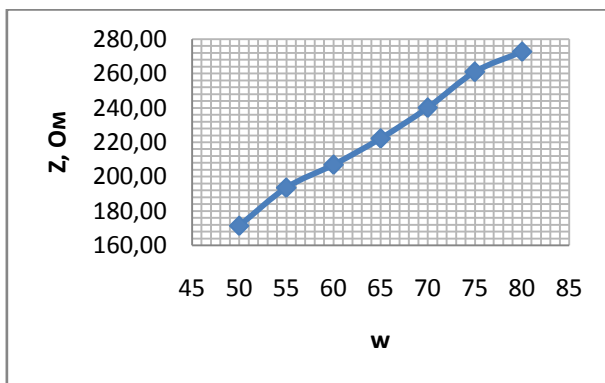
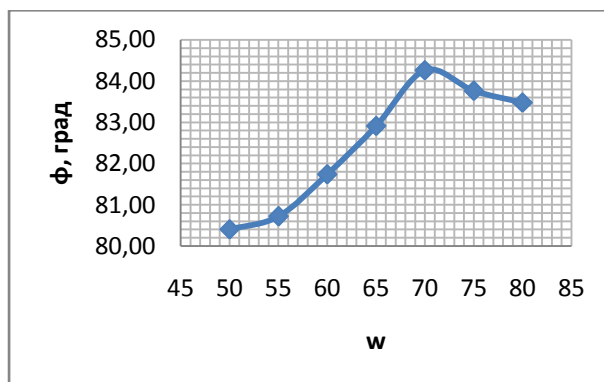
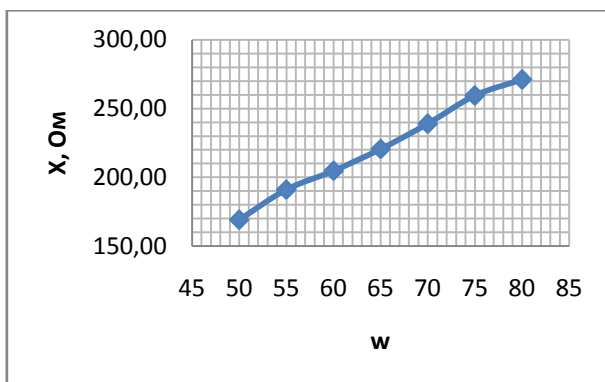
**Графики зависимостей для второго опыта:**





**Графики зависимостей для третьего опыта:**





### Выводы:

В проведенной лабораторной работе было предложено произвести опытное исследование зависимостей величин друг от друга при различных видах опытов.

В результате при построении графиков по рассчитанным величинам становилось ясно, что графики соответствуют не только данным экспериментальным величинам, но и ко всем другим, т.е. зависимость проявляется во всех величинах при таких же условиях. И следовательно это закон. Значит мною в ходе эксперимента была проведена проверка некоторых законов, в чем я убедился после того как посмотрел на график, т.е. проглядывалась зависимость одной величины от другой.