

Учреждение образование  
«Гродненский государственный университет имени Янки Купалы»  
физико-технический факультет  
кафедра общей физики

*ауд. 415*

*Лабораторная работа № 6*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КАТУШЕК ИНДУКТИВНОСТИ**



## Лабораторная работа № 6

### Определение параметров катушек индуктивности

#### Цель работы

освоить экспериментальные методы определения индуктивности катушки

#### Оборудование:

Стенд со сменной панелью НТЦ-22.03/03, измерительный модуль стенда: ваттметр  $PW$ , фазометр  $\cos \varphi$ , амперметр  $PA1$ , вольтметр  $PV1$ .

#### Краткая теория

##### Цепь с индуктивностью

Если цепь переменного тока содержит только катушку с индуктивностью  $L$ , к которой приложено синусоидальное напряжение  $u$  (рис. 2(а)):

$$u = U_0 \sin \omega t, \quad (1)$$

то изменяющаяся сила тока создает в катушке ЭДС самоиндукции:

$$\varepsilon_c = -L \frac{di}{dt} \quad (2)$$

Поэтому данный участок цепи следует считать неоднородным, и закон Ома для него имеет вид

$$i = \frac{u + \varepsilon_c}{R}. \quad (3)$$

При условии  $R \rightarrow 0$  имеем  $u = -\varepsilon_c$  или  $U_0 \sin \omega t = L \frac{di}{dt}$ . Интегрируя данное уравнение, получим:

$$i = \frac{U_0}{\omega L} \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right). \quad (4)$$

Обозначим

$$X_L = \omega L \quad (5)$$

и назовем реактивным сопротивлением индуктивности (индуктивным сопротивлением), тогда  $i = I_0 \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right)$ , (6)

где  $I_0 = \frac{U_0}{X_L}$ .

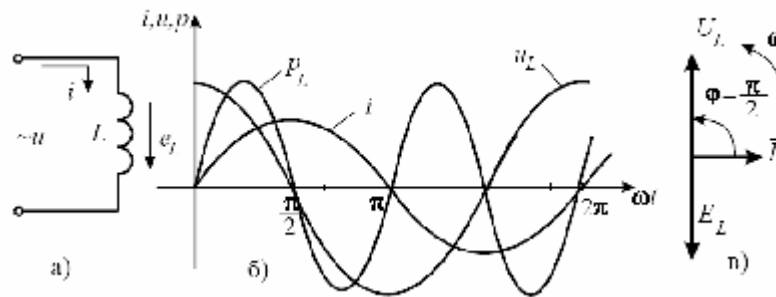


Рис. 1. Схема временная и векторная диаграммы цепи с идеальным индуктивным элементом

Таким образом, в цепи с индуктивностью возникает индуктивное сопротивление  $X_L = \omega L$ , а сила тока отстает от напряжения на угол  $\frac{\pi}{2}$ . Временная и векторная диаграммы изображены на рис. 1(б) и 1(в).

Перейдем к анализу энергетических процессов в цепи с индуктивным элементом. Мгновенная мощность индуктивного элемента

$$p = i \cdot u = I_0 \cdot U_0 \cdot \sin \omega t \cdot \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) = I_0 \cdot U_0 \cdot \sin \omega t \cdot \cos \omega t = \frac{1}{2} I_0 U_0 \sin 2\omega t, \quad (7)$$

изменяется по закону синуса с удвоенной частотой.

Активная мощность  $P$ , характеризующая необратимые преобразования энергии и определяемая средним значением мгновенной мощности за период, для индуктивного элемента равна нулю:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T i \cdot u \cdot dt = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{1}{2} I_0 U_0 \sin 2\omega t dt = 0. \quad (8)$$

Таким образом, в цепи с идеальным индуктивным элементом работа не совершается, а происходит только периодический обмен энергией между источником электрической энергии и магнитным полем индуктивного элемента.

График мгновенной мощности на индуктивном элементе показан на рис. 1(б).

В первую четверть периода направления напряжения и тока совпадают и  $p > 0$ , т.е. индуктивный элемент потребляет электрическую энергию от источника. Во вторую четверть периода направления напряжения и тока противоположны и  $p < 0$ , т.е. индуктивный элемент является источником и высвобождает энергию, запасенную в магнитном поле.

### Цепь с активно-индуктивной нагрузкой

Практически любая катушка обладает не только индуктивностью  $L$ , но и активным сопротивлением  $R$  (рис.2(а)).

По второму закону Кирхгофа для мгновенных значений приложенное напряжение к зажимам цепи уравнивается падением напряжения на активном сопротивлении и падением напряжения на индуктивности:

$$u = u_R + u_L. \quad (9)$$

Выразив напряжение  $u_R$  и  $u_L$  через ток

$$i = I_m \sin \omega t \quad (10)$$

и сопротивления участков цепи  $R$  и  $X_L$ , получим:

$$I_m R \sin \omega t + I_m \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) = U_m \sin (\omega t + \varphi). \quad (11)$$

Здесь

$$U_m = \sqrt{(I_m R)^2 + (I_m X_L)^2} = I_m \sqrt{R^2 + X_L^2}, \quad (12)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{I_m X_L}{I_m R} = \frac{X_L}{R}. \quad (13)$$

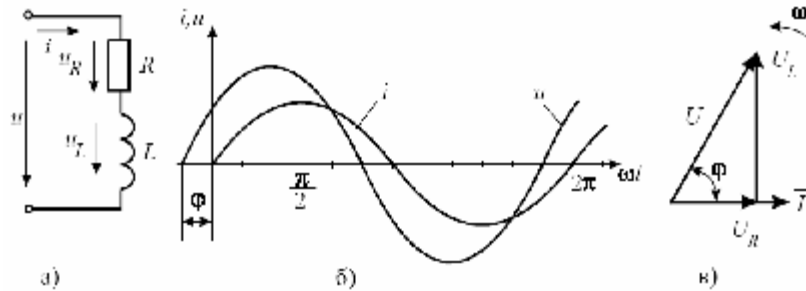


Рис. 2. Схема, временная и векторная диаграммы цепи с активным сопротивлением и индуктивностью

Таким образом, напряжение на входе цепи с активным сопротивлением и индуктивностью опережает ток на угол  $\varphi$ . Временная и векторная диаграмма изображены на рис. 2(б) и 2(в).

Закон Ома для рассматриваемой цепи на основании (12)

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{U}{Z}, \quad (13)$$

где  $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$  - полное сопротивление цепи (13)

Треугольник сопротивлений, подобный треугольнику напряжений, построен на рис. 3(а). Как видно из этого треугольника

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}, \quad \sin \varphi = \frac{X_L}{Z}. \quad (14)$$

Для анализа энергетических процессов в цепи  $R$ ,  $L$  мгновенную мощность удобно рассматривать в виде суммы мгновенных значений активной  $p_R = i u_R$  и реактивной (индуктивной)  $p_L = i u_L$  мощностей  $p = p_R + p_L$ . Графики  $p_R$  и  $p_L$  изображены на рис. 3(б).

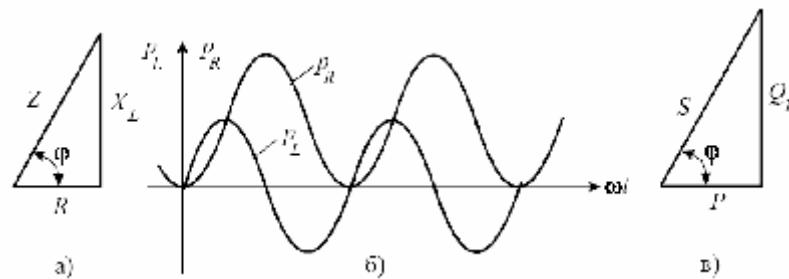


Рис. 3. Временная диаграмма мгновенных значений активной  $p_R$  и индуктивной  $p_L$  мощностей. Треугольники сопротивлений и мощностей

Из графика  $p_R$  видно, что активная мощность непрерывно поступает от источника и выделяется в активном сопротивлении в виде тепла. Мгновенная мощность  $p_L$  непрерывно циркулирует между источником и катушкой.

Умножив стороны треугольника сопротивлений на ток, получим треугольник мощностей (рис. 3(в)).

Стороны треугольника мощностей представляют:

$$P = U_R I = I^2 R - \text{активная мощность цепи, Вт;}$$

$$Q = U_L I = I^2 X_L - \text{реактивная мощность цепи, ВАр;}$$

$$S = UI = I^2 Z - \text{полная мощность цепи, ВА;}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} - \text{коэффициент мощности цепи.}$$

### Методика эксперимента

Параметры реальной катушки можно определить экспериментально. Для этого соберите схему представленную на рис. 4.

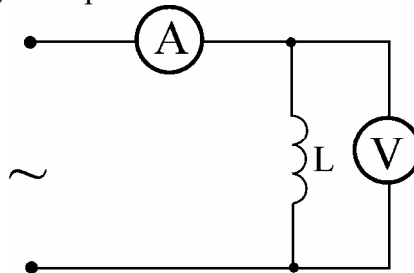


Рис. 4

Ваттметром  $PW$  измеряется активная мощность  $P$ , потребляемая цепью. Вольтметр  $PV1$  и амперметр  $PA1$  измеряют эффективные значения напряжения и тока, дающие возможность вычислить полную. Значение  $\cos j$  измеряется фазометром.

Для определения коэффициента самоиндукции катушки необходимо знать ее полное сопротивление (импеданс)  $Z$ , активное сопротивление  $R$  и круговую частоту переменного тока  $\omega = 2\pi\nu$ , где  $\nu = 50\text{Гц}$ .

Измерения позволяют легко найти импеданс цепи  $Z = \frac{U_{эфф}}{I_{эфф}}$  (15), активное сопротивление цепи  $R = \frac{P}{I_{эфф}^2}$  (16). Зная импеданс цепи  $Z$  и активное сопротивление катушки  $R$  выразить и рассчитать индуктивное сопротивление  $X_L$  по формуле (13).

Величина  $L$  может быть определена из формулы индуктивного сопротивления катушки:  $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$ , где  $R$  - активное сопротивления катушки;  $\omega = 2\pi\nu$  - циклическая частота тока;  $L$  - индуктивность катушки.

Отсюда

$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{\omega} \quad (17)$$

Результаты записывают в таблицу 1, 2 и 3.

Таблица 1

	Измерено					Вычислено			
	№ п/п	$I_{эфф},$ А	$U_{эфф},$ В	Р, Вт	$\cos \varphi$	Z, Ом	R, Ом	$X_L, \text{Ом}$	L, Гн
Катушка индуктивности L11	1								
	2								
	...								

Таблица 2

	Измерено					Вычислено			
	№ п/п	$I_{эфф},$ А	$U_{эфф},$ В	Р, Вт	$\cos \varphi$	Z, Ом	R, Ом	$X_L, \text{Ом}$	L, Гн
Катушка индуктивности L12	1								
	2								
	...								

Таблица 3

	Измерено					Вычислено			
	№ п/п	$I_{эфф},$ А	$U_{эфф},$ В	Р, Вт	$\cos \varphi$	Z, Ом	R, Ом	$X_L, \text{Ом}$	L, Гн
Встречное включение магнитосвязанных катушек	1								
	2								
	...								

## Порядок выполнения лабораторной работы:

1. Установить сменную панель НТЦ-22.03/03 в разъем стенда.

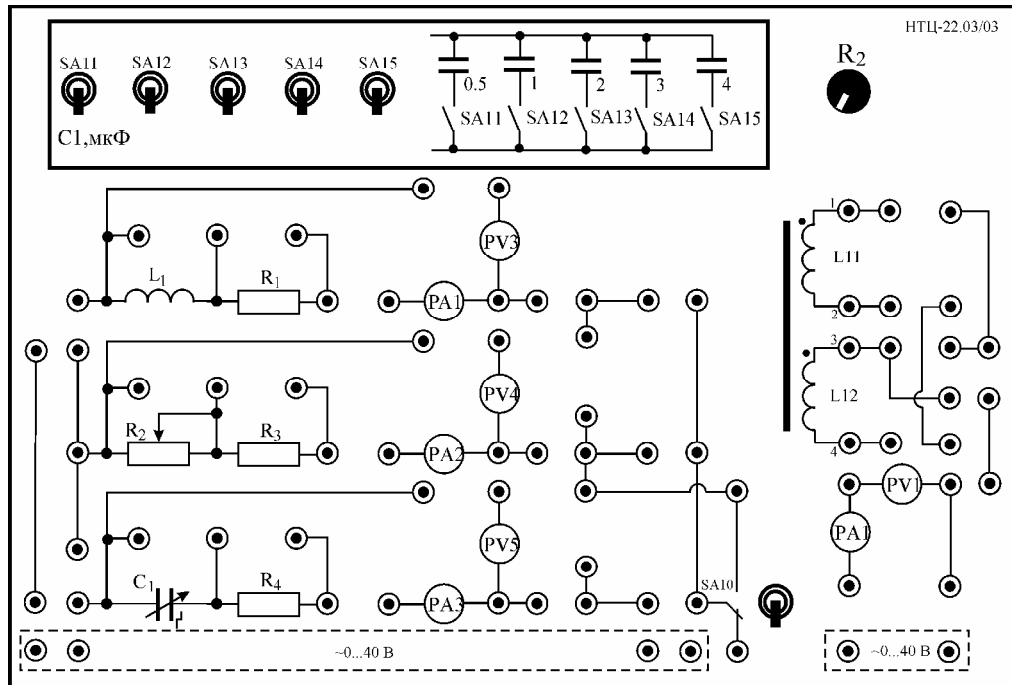


Рис. 5

2. Собрать схему, как показано на рис. 4 используя монтажную схему (рис. 5). Показания амперметра  $PA1$  и вольтметра  $PV1$  отражаются на панели стенда. В цепь включить катушку индуктивности  $L11$ . При сборке схемы используйте рис. 6 ( а) исследование катушки  $L11$ ; б) исследование катушки  $L12$ ; в) исследование встречного включения магнитосвязанных катушек).

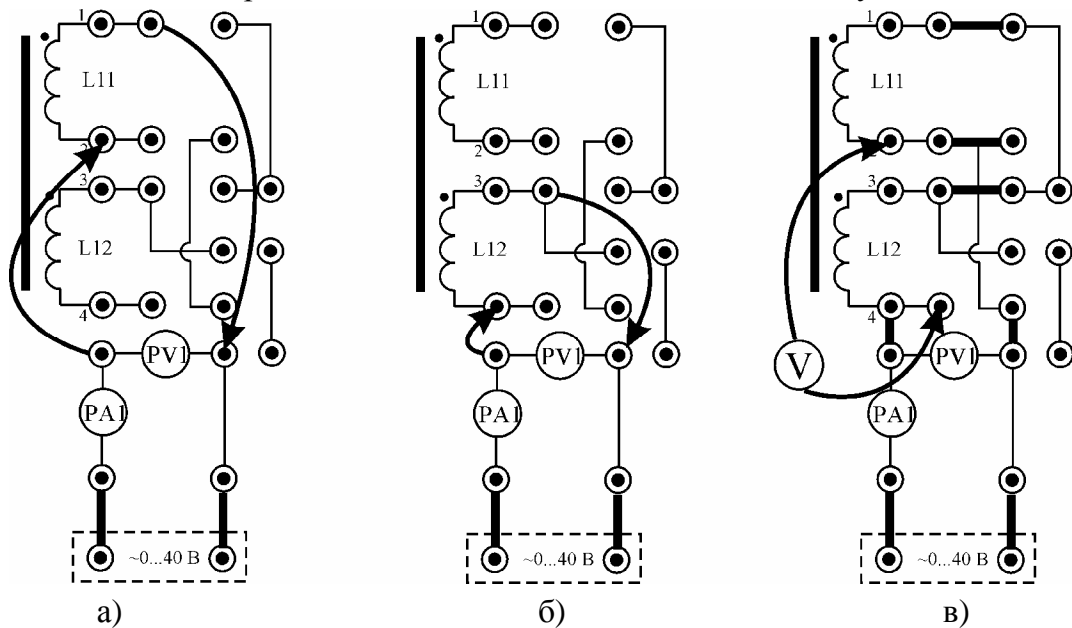


Рис. 6.



2. После проверки схемы преподавателем или лаборантом убедитесь, что на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта переключки, все тумблеры и выключатели находятся в нижнем положении («ВЫКЛЮЧЕНО»), а все галетные переключатели и потенциометры в крайнем левом положении.
3. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «СЕТЬ»).
4. Установите номер профиля индикации **5**. Для смены профиля необходимо войти в меню выбора профилей: для этого нажать кнопку энкодера «МЕНЮ» и удерживать 2...3 секунды, пока отображаемый на индикаторе профиль не начнет мигать. После этого вращением ручки SA100 «ЗАДАНИЕ» влево/вправо установить номер профиля индикации **5** и кратковременно нажать кнопку энкодера «МЕНЮ». Выбранный профиль после этого должен отображаться на служебном индикаторе.
5. Включить тумблер SA1.
6. Установить галетный переключатель SA11 в положение «28». Плавно увеличивая галетным переключателем SA12 напряжение снять серию точек  $I = f(U)$ ,  $P = f(U)$ ,  $\cos \varphi = f(U)$ . Данные занести в таблицу 1.
7. Выключить питание стенда.
8. Аналогично исследовать катушку L12 (рис. 8 (б)) повторив п.п. 3-7. Снять серию точек  $I = f(U)$ ,  $P = f(U)$ ,  $\cos \varphi = f(U)$ . Данные занести в таблицу 2.
9. Выключить питание стенда.
10. Собрать схему 8(в) для исследования встречного включения магнитосвязанных катушек.
11. Для точных измерений напряжения в цепь включить мультиметр в режиме вольтметра (: V).
12. Установить галетный переключатель SA11 в положение «10.5». Плавно увеличивая галетным переключателем SA12 напряжение (показания мультиметра) снять серию точек  $I = f(U)$ ,  $P = f(U)$ ,  $\cos \varphi = f(U)$ . Данные занести в таблицу 3.
13. Все тумблеры и выключатели установить в нижнее положение («ВЫКЛЮЧИТЬ»), а все галетные переключатели в крайнее левое положение.
14. Выключить питание стенда, разобрать схему.
15. Рассчитать параметры катушек индуктивности по формулам (15), (16), (13) и (17).
16. Определить средние значения индуктивности катушек и рассчитать погрешности измерения.
17. Построить графики зависимости  $I = f(U)$ ,  $P = f(U)$ ,  $\cos \varphi = f(U)$  для всех рассматриваемых случаев.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Запишите закон Ома для переменного тока.
2. Чему равна средняя мощность в цепи переменного тока?
3. Что понимают под действующим значением тока?
4. Укажите свойства индуктивного сопротивления в цепи синусоидального тока.
5. Что понимают под треугольником сопротивлений.
6. Какую мощность измеряет ваттметр в цепи синусоидального тока?
7. Объясните поведение величины  $\cos\varphi$  в зависимости от вида использованных сопротивлений нагрузки.

### **Литература ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Калашников С.Г. Электричество. М. Физматлит, 2004. – 276 с.
2. Тамм И. Е. Основы теории электричества.- М. : Наука , 1989.- 504с.
3. А.Н. Матвеев. Электричество и магнетизм. Учеб. пособие для студ. вузов.- М. : ОНИКС 21 век: Мир и Образование , 2005.- 463с
4. Д.В. Сивухин. Общий курс физики. Электричество. : учеб. пособие для студ. физических спец. вузов- 4-е изд., стереотип.- М. : Физматлит: МФТИ , 2002.- 656с.
5. И.Е. Иродов. Электромагнетизм. Основные законы. М., ЛБЗ, 2001.

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Савельев И.В. Общий курс физики. Т. 3. Электричество. учеб. пособие для вузов- М. : Астрель : АСТ , 2003.- 336с
2. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике, вып. 5,6. Электричество и магнетизм. М., Мир, 1966.