

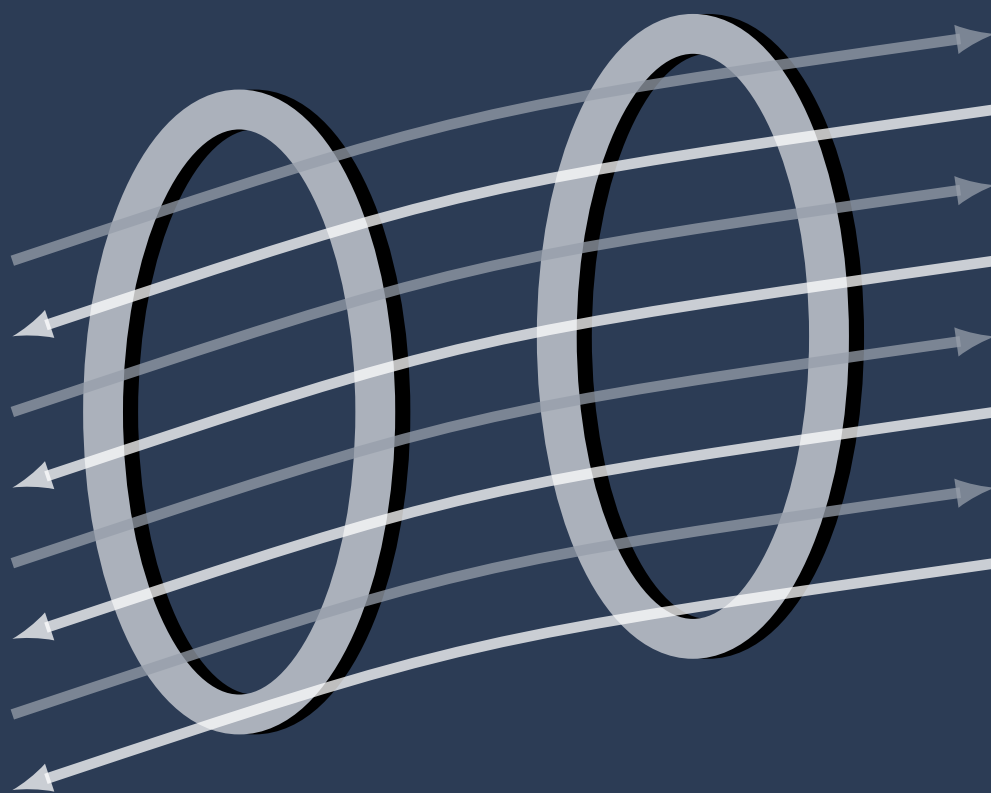
М. О. Первушина

И. А. Небаев

Электromagnetизм

Руководство к лабораторной работе
по определению взаимной индуктивности двух контуров
в среде компьютерной программной установки

учебно-методическое пособие



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО СВЯЗИ

**Федеральное государственное
образовательное бюджетное учреждение
высшего профессионального образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»**

**М. О. Первушина
И. А. Небаев**

**Электромагнетизм
Руководство к лабораторной работе
по определению взаимной индуктивности двух контуров
в среде компьютерной программной установки**

С-Пб ГУТ)))

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2017**

УДК 537.6, 53.072
ББК 00.00x00
X00

Рецензент
доктор технических наук, профессор _____ (_____)

*Рекомендовано к печати
редакционно-издательским советом С-Пб ГУТ*

Первушина, М. О.

Электромагнетизм: руководство к лабораторной работе по определению взаимной индуктивности двух контуров в среде компьютерной программной установки: учебно-методическое пособие /М. О. Первушина, И. А. Небаев; С-Пб ГУТ. – С-Пб., 2017. – 25 с.

Учебно-методическое пособие представляет собой руководство к выполнению лабораторной работы «Определение взаимной индуктивности двух контуров», выполняемой в рамках курса физики «Электромагнетизм». Особенностью работы является выполнение измерений в среде компьютерной программной установки (разработанной авторами на кафедре физики С-Пб ГУТ), учитывающей технические и функциональные особенности аналогичных современных лабораторных стендов. Руководство содержит теоретические основы лабораторного опыта, описание интерфейса программной установки, порядок выполнения работы и расширенный список индивидуальных заданий для самостоятельной работы.

Второе, по счету, пособие продолжает серию учебно-методических руководств по лабораторным работам раздела «Электромагнетизм» в среде компьютерной программной установки.

**УДК 000.000(000)
ББК 00.00x00**

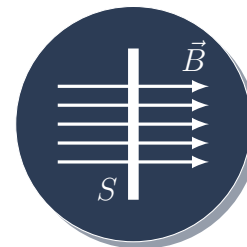
*Данный документ является электронным экземпляром издания
и может быть загружен с узла сети Internet по адресу:*

<http://physics.sut.ru>

© Первушина М. О., Небаев И. А., 2017
© Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», 2017

Содержание

Введение	5
Описание программной лабораторной установки	6
1.1 Конфигурационная панель	6
1.2 Баллистический гальванометр	9
1.3 Амперметр	10
1.4 Источник питания	10
1.5 Дополнительные окна	11
Методика измерений и порядок выполнения работы	13
2.1 Методика измерений	13
2.2 Порядок выполнения работы	14
Варианты индивидуальных заданий	16
Вопросы для допуска и защиты лабораторной работы	21
Рекомендуемая литература	22
Указатель иллюстраций	23



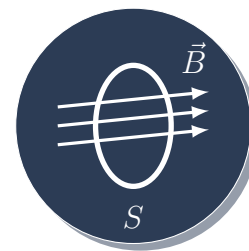
Введение

Лабораторная работа преследует цели закрепления теоретического материала по разделу «Электромагнетизм», и призвана ознакомить обучающихся с методикой опытного определения коэффициента взаимной индуктивности двух контуров. Важной особенностью работы является выполнение всех измерений в среде компьютерной программной установки (полностью аналогичной лабораторному опытному стенду), учитывающей технические особенности и функциональные возможности современного реального аналога. Описание лабораторной работы представляет собой компиляцию материала теоретического, методического и научного характера.

Методическое сопровождение лабораторной работы разработано с учетом специфики выполнения измерений в среде компьютерной программной установки, и применяет перспективный метод индивидуализации самостоятельной опытной работы, который основан на углублении вариационной части лабораторных измерений за счет введения индивидуального плана заданий из расширенного списка вариантов. Такой подход обеспечивается как широкой базой вариантов исходных условий и конечных целей измерений, так и встроенным в программную установку механизмом нереентерабельности получаемых данных.

Реализация лабораторной работы средствами компьютерной программной установки позволяет объединить цели и задачи преследуемые в области регулярных учебных лабораторных работ с предметной областью и задачами вычислительной физики, что в свою очередь приводит к синтезированию и выработке у обучающихся новых методов натурального опытного моделирования и моделирования с помощью методов вычислительной физики и средств компьютерной обработки данных в целом. Т.о., материал данного руководства следует рассматривать, как учебно-методическое пособие для выполнения частной лабораторной работы, так и как демонстрацию перспективного метода проведения учебных лабораторных работ по физике в ВУЗе, представляющего определенный интерес всему кругу лиц задействованных в процессе обучения — преподавателям, методистам, инженерно-лабораторному составу и студентам.

Второе пособие продолжает серию учебно-методических руководств по лабораторным работам раздела «Электромагнетизм» в среде компьютерной программной установки.



Описание программной лабораторной установки

Лабораторная установка представляет собой компьютерную программную имитационную модель высокого уровня, основанную на адекватной реализации функциональных возможностей и технических особенностей аппаратного аналога. В состав программной установки, аналогично аппаратному аналогу, входят следующие (имитационные) модели приборов:

- 1) Конфигурационная панель;
- 2) Баллистический гальванометр;
- 3) Амперметр;
- 4) Источник питания.

В дополнение к перечисленным приборам, программная установка располагает двумя дополнительными демонстрационными окнами:

- Окно визуализатора демонстрирует текущее положение катушек относительно друг-друга и количество витков в обмотке каждой из катушек;
- Окно электрической цепи отображает текущее состояние электрической цепи лабораторной установки. Визуализирует положения ключа K (см. схему рис. 2.9) и выделяет активные электрические элементы.

Общий вид программной лабораторной установки представлен на рис. 1.1.

Для повышения качества освоения материала и индивидуализации самостоятельной работы обучающихся в реализации программной лабораторной установки совместно с расширенной вариантной базой исходных условий, предусмотрен механизм учета индивидуальных номеров измерений, на основании которых обеспечивается определенный уровень введения погрешности измерений и отсутствие реентерабельности измеряемых значений, т.е. невозможности умышленного копирования или повторного получения одинаковых измерений различными пользователями.

Для работы указанного механизма, следует ввести индивидуальный числовой код (заданный преподавателем), в поле диалогового окна, возникающего при загрузке программной лабораторной установки и изображенного на рис. 1.2.

1.1 Конфигурационная панель

Конфигурационная панель предоставляет базовый пользовательский интерфейс к функциональным регулировкам программной лабораторной установки. Вид конфигурационной панели представлен на рис. 1.3.

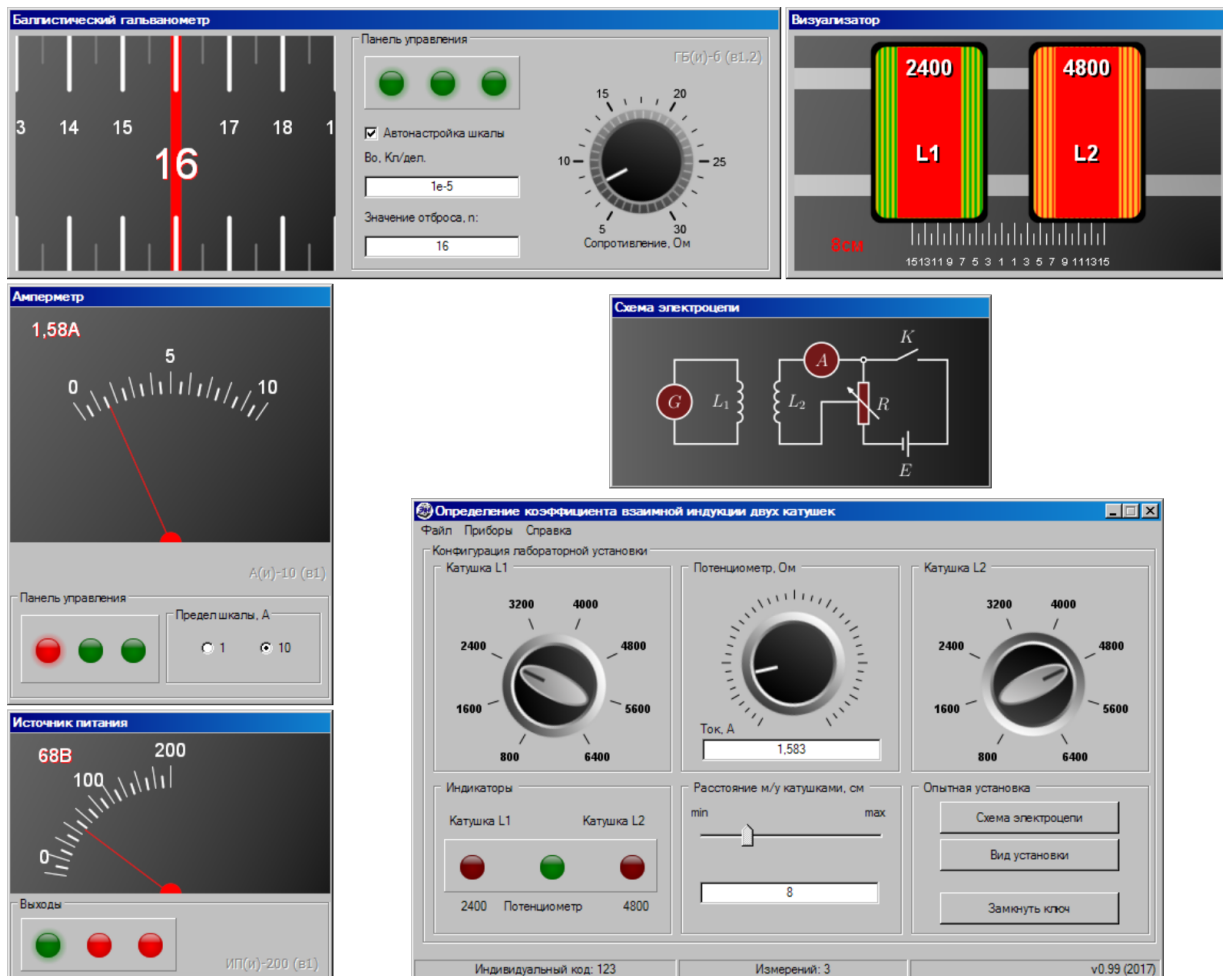


Рис. 1.1 – Интерфейс программной лабораторной установки

На панели размещены следующие элементы управления:

- 1) Ручка селектора выбора обмотки катушки L_1 имеет 8 положений, соответствующих установке заданного числа витков катушки L_1 (рис. 1.3): от 800 до 6400 витков, с шагом 800 витков. Управление ручкой селектора осуществляется левой кнопкой «мыши» (щелчком на заданное значение). На текущее значение обмотки катушки L_1 указывает главное деление ручки селектора, а также светодиодный индикатор «Катушка L_1 » на панели индикаторов (см. далее);
- 2) Ручка регулировки сопротивления потенциометра позволяет изменять значение сопротивления встроенного в схему потенциометра для регулировки подачи силы тока на обмотку катушки L_2 от источника питания E (рис. 1.3). Шкала сопротивления потенциометра не определена, текущее значение тока отображается в текстовом поле, расположенном под ручкой регулировки;
- 3) Ручка селектора выбора обмотки катушки L_2 имеет 8 положений, соответствующих установке заданного числа витков катушки L_2 (рис. 1.3): от 800 до 6400 витков, с шагом 800 витков. Управление ручкой селектора осуществляется левой кнопкой «мыши» (щелчком на заданное значение). На текущее значение обмотки катушки L_2 указывает главное деление ручки селектора, а также светодиодный индикатор «Катушка L_2 » на панели индикаторов (см. далее);

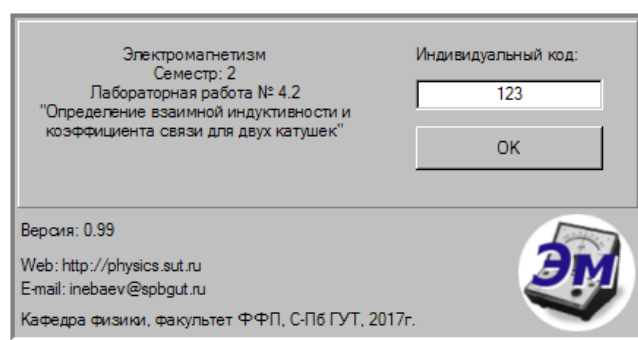


Рис. 1.2 — Диалоговое окно ввода индивидуального кода измерений

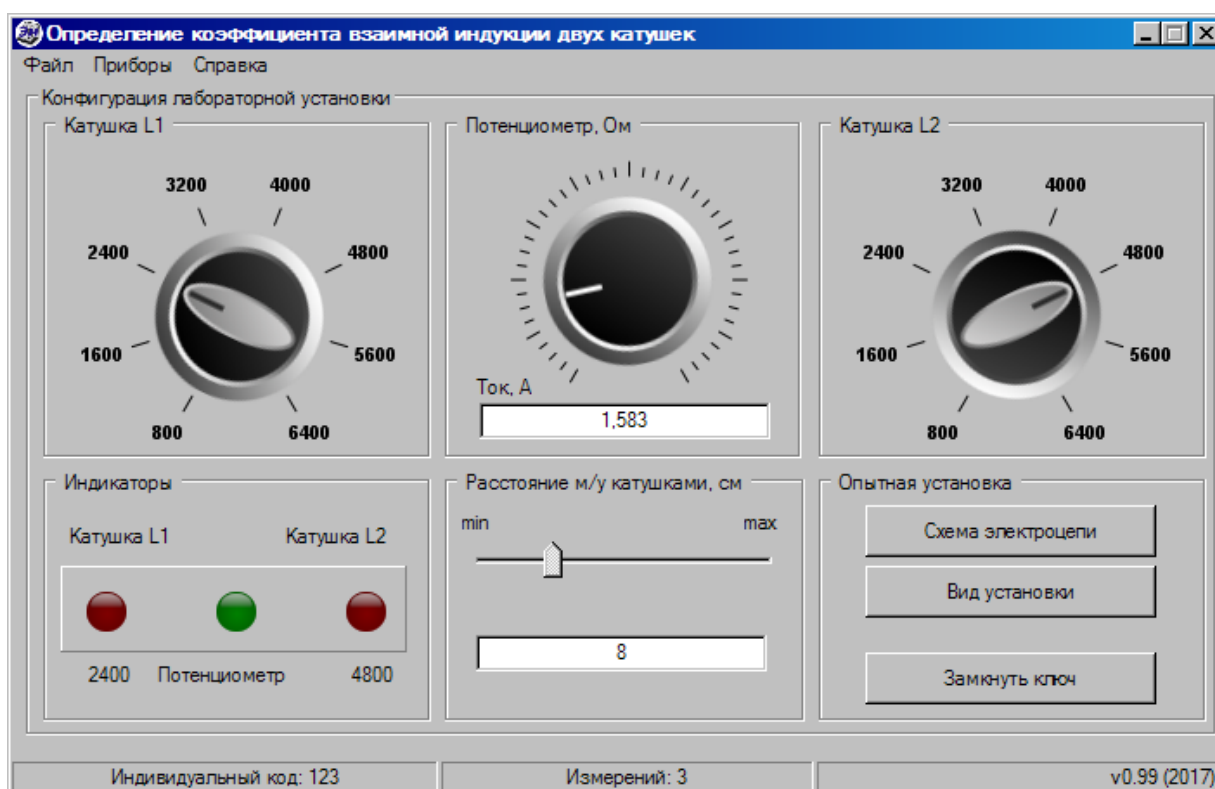


Рис. 1.3 — Конфигурационная панель лабораторной установки

- 4) Панель индикаторов отображает текущее состояние приборов регулировки — ручки потенциометра и селекторов обмотки катушек. При замкнутом ключе K (рис. 1.3) светодиодные индикаторы сигнализируют о разблокировке указанных ручек. Индикаторы «Катушка L_1 » и «Катушка L_2 » дублируют отображение текущей обмотки. Индикатор «Потенциометр» сигнализирует (зеленый цвет) о возможности регулировки силы тока в цепи электрического контура катушки L_2 .
- 5) Ползунок регулировки расстояния между катушками определяет текущее значение расстояния между обмотками катушек L_1 и L_2 . Регулировка позволяет изменять расстояние в диапазоне от 1 до 30 см. Установка значения выполняется перемещением ползунка левой кнопкой «мыши». Текущее значение зазора отображается в текстовом поле, расположенном под ползунком регулировки и дублируется в окне визуализатора с изображением катушек;

- 6) Кнопки «Вид установки» и «Схема электроцепи» предназначены для демонстрационных целей и изображают соответственно фотографию реального аппаратного аналога, на основе которого реализована программная установка и электрическую схему включения лабораторной установки;
- 7) Кнопка–переключатель «Замкнуть ключ» предназначена для замыкания цепи питания контура с подключенной катушкой L_2 , и разблокировки ручек регулировки лабораторной установки. Кнопка обладает двумя устойчивыми положениями. Для конфигурирования параметров лабораторной установки (обмотка катушек, ток и т. д.) необходимо нажать кнопку левой клавишей «мыши» (замкнуть цепь), при этом кнопка будет находиться в утопленном состоянии.

Следует обратить внимание, что надпись «Замкнуть ключ» будет заменена на надпись «Разомкнуть ключ».

По окончании регулировки элементов панели, следует повторно нажать на кнопку («отжать»). При этом произойдет временная блокировка ручек регулировки панели, а на шкале гальванометра появится измеряемое значение («отброс»). Следует подчеркнуть, что т. о. в данной лабораторной установке измерения производятся при выключении схемы, т. е. при размыкании цепи.

Помимо перечисленных элементов, конфигурационная панель содержит главное меню и статусную строку. Главное меню содержит следующие элементы:

- Пункт «Файл» главного меню предназначен для завершения работы программной установки (с подтверждением указанного действия);
- Пункт меню «Приборы» содержит список приборов, используемых в лабораторной установке — катушки, амперметр, гальванометр и источник питания. Если окно любого из указанного в списке прибора было по каким-либо причинам закрыто, то для его восстановления следует выбрать требуемый прибор из списка меню;
- Пункт «Справка» содержит информацию о версии и предназначении программной установки.

Статусная строка отображает текущее значение индивидуального кода пользователя, количество измерений, проведенных с момента запуска программной установки и программную версию конфигурационной панели.

1.2 Баллистический гальванометр

Программная реализация баллистического гальванометра (модель ГБ(и)-б (в1.2)) поддерживает регулировку внутреннего сопротивления прибора и изменение его баллистической постоянной. Значение шкалы гальванометра n отображает в текстовом поле «Значение отброса» и выводится на интерактивной шкале прибора.

На интерфейсной панели гальванометра (рис. 1.4) размещены следующие элементы:

- 1) Интерактивная шкала гальванометра отображает текущее значение измеряемого отброса. Индикатор шкалы (красная линия) автоматически центрируется по середине окна шкалы гальванометра. Текущее значение отброса отображается в центральной части шкалы в цифровом виде и дублируется в текстовом поле «Значение отброса»;

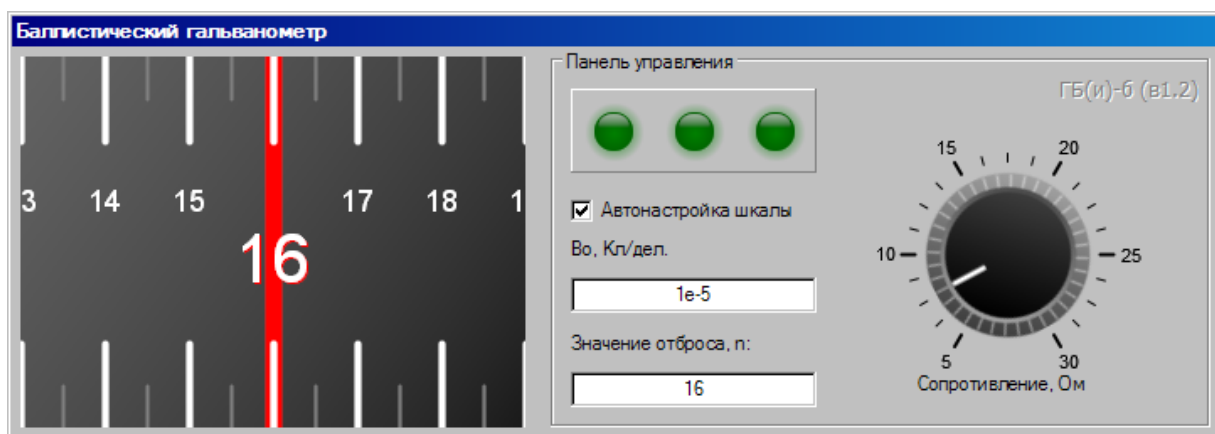


Рис. 1.4 — Интерфейс баллистического гальванометра

- 2) Флажок «Автонастройка шкалы» устанавливает значение баллистической постоянной по-умолчанию (для данной модели $B_0 = 10^{-5}$). При необходимости задать другое значение B_0 необходимо убрать флажок автонастройки, что приведет к разблокировке поля ввода баллистической постоянной.

Следует обратить внимание, что поле ввода принимает запись баллистической постоянной только в экспоненциальной (т. н. «научной») форме записи степеней;

- 3) Ручка регулировки сопротивления гальванометра позволяет задать сопротивление R_g гальванометра в диапазоне от 5 до 30 Ом. Управление ручкой осуществляется колесиком или левой кнопкой манипулятора «мышь».

1.3 Амперметр

Программный амперметр (модель А(и)-10) предназначен для интерактивного отображения текущего значения силы тока в цепи контура катушки L_2 . Интерфейсная панель амперметра изображена на рис. 1.5.

Амперметр поддерживает два диапазона измерений — от 0 до 1 А и от 0 до 10 А. Выбор текущего диапазона осуществляется переключателями «1» и «10» соответственно, расположенными на приборной панели амперметра. Текущее значение силы тока отображается указателем (стрелкой) на шкале амперметра и дублируется в верхнем левом углу интерактивной шкалы.

При изменении предела измерения амперметра, ручка регулировки потенциометра автоматически возвращается в исходное состояние.

1.4 Источник питания

Реализация источника питания (модель ИП(и)-200) основана на аналогичном аппаратном варианте и не требует элементов активной регулировки. Вид интерфейса источника питания изображен на рис. 1.6. Интерактивная шкала прибора отображает текущее значение напряжения в обеспечиваемой цепи. Регулировка силы тока осуществляется потенциометром, размещенным на главной конфигурационной панели (см. 1.1).



Рис. 1.5 – Интерфейс амперметра

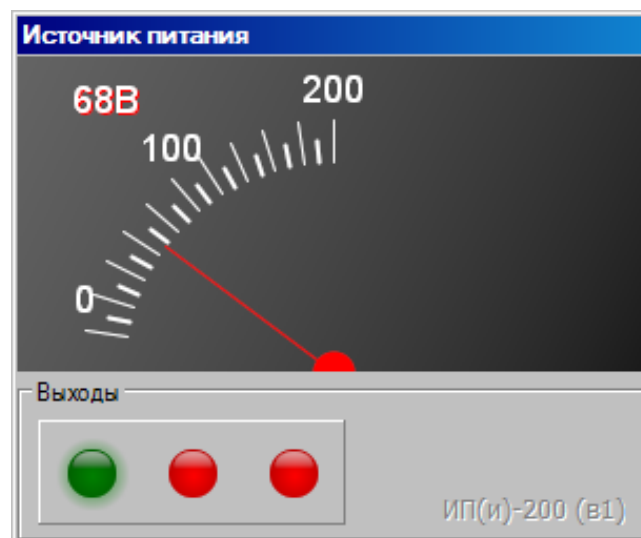


Рис. 1.6 – Интерфейс источника питания

1.5 Дополнительные окна

В дополнение к перечисленным приборам, программная установка отображает два дополнительных окна, предназначенных для демонстрационных целей.

- Окно визуализатора (рис. 1.7) демонстрирует текущее положение катушек относительно друг-друга (расстояние между обмотками), а также количество витков в обмотке каждой из катушек. В нижней части окна размещена линейка с начальной координатой в центре. Максимальное удаление каждой из катушек относительно нулевой координаты

возможно не более чем на 15 см. Т. о., наибольшее расстояние между катушками равно 30 см. (0–15 влево и 0–15 вправо).

Следует обратить внимание, что изменение расстояния между катушками на 2 см. приведет к смещению каждой из катушек на 1 см. от нулевой координаты.

Шкала линейки имеет градуировку только нечетных значений расстояния (0,1,3,...,15). Текущее значение расстояния между катушками дублируется в нижней левой части окна.

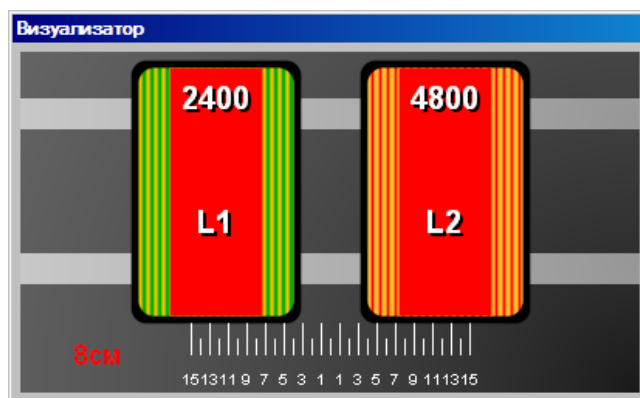


Рис. 1.7 — Окно визуализатора

- Окно электроцепи (рис.1.8) — отображает текущее состояние электрической цепи лабораторной установки. Визуализирует положения ключа K (см. схему рис.2.9) и выделяет активные электрические элементы.

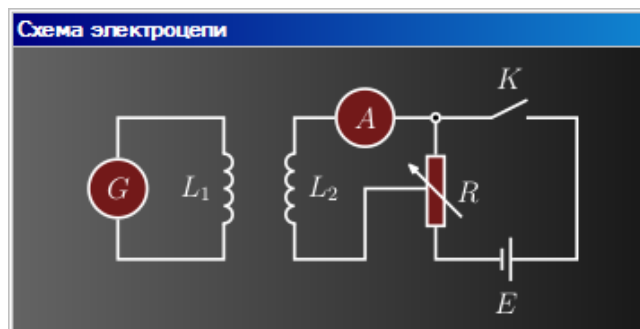
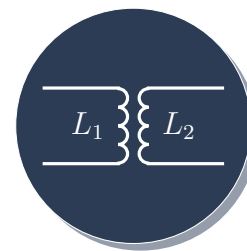


Рис. 1.8 — Окно схемы электроцепи



Методика измерений и порядок выполнения работы

Если один из контуров находится в магнитном поле, созданном током, проходящим по второму контуру, то число потокосцеплений первого контура с полем второго контура пропорционально току I_2 во втором контуре:

$$\Psi_{12} = L_{12}I_2, \quad (2.1)$$

где множитель L_{12} называется коэффициентом взаимной индукции или взаимной индуктивностью двух контуров. Взаимная индуктивность L_{12} зависит только от геометрической формы, размеров и взаимного расположения первого и второго контуров, а также от магнитной проницаемости среды, в которой они находятся.

Аналогично, при прохождении тока I_1 по первому контуру число потокосцеплений со вторым контуром равно:

$$\Psi_{21} = L_{21}I_1. \quad (2.2)$$

При этом коэффициенты взаимной индукции L_{12} и L_{21} равны $L_{12} = L_{21} = M$.

Если среда ферромагнитна, то M зависит не только от формы, размеров и взаимного расположения контуров, но и от величины токов в них.

Коэффициент взаимной индукции M выражается в генри, если токи и потоки выражены в системе СИ. Можно показать, что $M \leq \sqrt{L_1 L_2}$, где L_1 и L_2 — коэффициенты самоиндукции первого и второго контуров.

2.1 Методика измерений

Целью работы является определение коэффициента взаимной индукции двух катушек в зависимости от расстояния между катушками, числа витков катушек и силы тока в цепи. Одна из двух катушек замкнута на баллистический гальванометр (рис. 2.9). Через вторую катушку протекает ток от источника E .

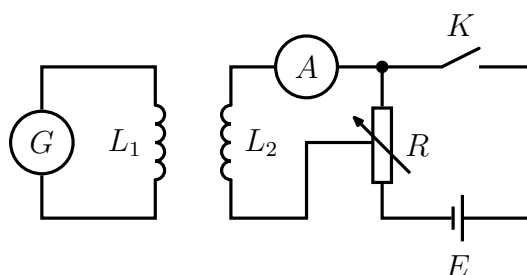


Рис. 2.9 — Схема электрической цепи лабораторной установки

Если выключить ток, текущий через вторую катушку, то число потокосцеплений в первой катушке станет равным нулю. Т.о. при выключении тока во втором контуре происходит изменение числа потокосцеплений с первым контуром на величину

$$\Psi_1 - 0 = \Psi_1. \quad (2.3)$$

Количество электричества, наведенное в контуре изменением в нем магнитного потока, равно:

$$Q = \frac{1}{R}(\Psi_1 - \Psi_2), \quad (2.4)$$

где Ψ_1 и Ψ_2 — начальное и конечное значение числа потокосцеплений. В данном случае $\Psi_2 = 0$ и количество электричества во втором контуре равно:

$$Q = B_0 n = \frac{1}{R} \Psi_1 = \frac{M I_2}{R}. \quad (2.5)$$

Тогда коэффициент взаимной индукции равен:

$$M = \frac{R B_0 n}{I_2}, \quad (2.6)$$

где B_0 — баллистическая постоянная гальванометра (кулон/дел), n — отброс гальванометра в делениях, R — сопротивление контура гальванометра. Т.о. в данной лабораторной работе измеряются две величины — сила тока во втором контуре (с подключенным источником E) и отброс гальванометра в первом контуре.

Сопротивление первого контура равно сумме сопротивлений катушки, включенной в первый контур, и сопротивления гальванометра:

$$R = R_g + R_{L1}. \quad (2.7)$$

2.2 Порядок выполнения работы

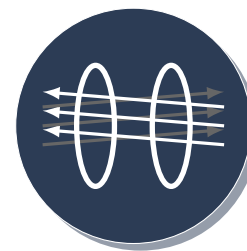
- 1) После запуска программы ввести в поле ввода диалогового окна (1.2) индивидуальный код, заданный преподавателем;
- 2) Замкнуть ключ K главной конфигурационной панели, и в соответствии с заданным преподавателем номером варианта (списком заданий), с помощью ручек регулировки и управляющих элементов главной конфигурационной панели установить заданные варианты параметры — ток в цепи, сопротивление гальванометра, число витков обмотки катушек L_1 и L_2 , расстояние между катушками и т. д.
- 3) Установив исходные параметры, разомкнуть ключ K главной конфигурационной панели, внести полученное значение отброса гальванометра в таблицу измерений соответствующего варианта (список табл. приведен в разделе 2.2). Повторить измерения 10 раз, заполнив все поля таблицы измерений для текущих условий;
- 4) В соответствии с индивидуальным вариантом задания изменить параметры лабораторной установки:
 - расстояние между катушками L_1 и L_2 (варианты 1–6);
 - число витков обмотки катушек (варианты 7–12);
 - силу тока.

- 5) Повторить измерения с параметрами заданными в таблице измерений для соответствующего варианта;
- 6) По результатам полученных измерений заполнить табл. 2.1;
- 7) Построить графики¹ зависимости взаимной индуктивности катушек M от:
 - расстояния между катушками L_1 и L_2 (варианты 1–6);
 - числа витков обмотки катушки L_1 (варианты 7–12);

Таблица 2.1 – Вычисление взаимной индуктивности катушек

№	n , дел	M , Гн	Погрешность измерений	
			Δn , дел	ΔM , Гн
1				
2				
3				
4				
5				

¹Для построения графика зависимости рекомендуется воспользоваться средствами систем математического программного обеспечения – MathCAD, QtiPlot, gnuplot и т. д.



Варианты индивидуальных заданий

Список заданий для лабораторной работы содержит готовые варианты с заданными условиями, а также шаблон индивидуального задания для заполнения исходных условий преподавателем самостоятельно.

Вариант 1

Исходные условия: число витков катушки $L_1 N_1 = 2400$, число витков катушки $L_2 N_2 = 5600$, сопротивление гальванометра $R_g = 30$ Ом, сопротивление катушки $R_L = 10$ Ом.

Сила тока в контуре катушки L_2	Расстояние м/у катушками, см																			
	2	4	6	8	10															
	Показания гальванометра, дел																			
$I_1 = 6$ А																				
$I_2 = 3$ А																				

Вариант 2

Исходные условия: число витков катушки $L_1 N_1 = 4000$, число витков катушки $L_2 N_2 = 4800$, сопротивление гальванометра $R_g = 30$ Ом, сопротивление катушки $R_L = 20$ Ом.

Сила тока в контуре катушки L_2	Расстояние м/у катушками, см																			
	4	8	12	16	20															
	Показания гальванометра, дел																			
$I_1 = 3$ А																				
$I_2 = 5$ А																				

Вариант 3

Исходные условия: число витков катушки $L_1 N_1 = 4800$, число витков катушки $L_2 N_2 = 4800$, сопротивление гальванометра $R_g = 30$ Ом, сопротивление катушки $R_L = 25$ Ом.

Сила тока в контуре катушки L_2	Расстояние м/у катушками, см				
	2	3	4	5	6
Показания гальванометра, дел					
$I_1 = 0.5$ А					
$I_2 = 1$ А					

Вариант 4

Исходные условия: число витков катушки $L_1 N_1 = 5600$, число витков катушки $L_2 N_2 = 5600$, сопротивление гальванометра $R_g = 30$ Ом, сопротивление катушки $R_L = 30$ Ом.

Сила тока в контуре катушки L_2	Расстояние м/у катушками, см				
	3	4	5	6	7
Показания гальванометра, дел					
$I_1 = 0.6$ А					
$I_2 = 1$ А					

Вариант 5

Исходные условия: число витков катушки $L_1 N_1 = 3200$, число витков катушки $L_2 N_2 = 4000$, сопротивление гальванометра $R_g = 30$ Ом, сопротивление катушки $R_L = 15$ Ом.

Сила тока в контуре катушки L_2	Расстояние м/у катушками, см				
	2	3	4	5	6
Показания гальванометра, дел					
$I_1 = 4$ А					
$I_2 = 7$ А					

Вариант 6

Исходные условия: число витков катушки L_1 $N_1 = 4000$, число витков катушки L_2 $N_2 = 4000$, сопротивление гальванометра $R_g = 30$ Ом, сопротивление катушки $R_L = 20$ Ом.

Сила тока в контуре катушки L_2	Расстояние м/у катушками, см				
	3	5	7	9	11
Показания гальванометра, дел					
$I_1 = 1.6$ А					
$I_2 = 3.2$ А					

Вариант 7

Исходные условия: расстояние между катушками L_1 и L_2 5 см, число витков катушки L_2 $N_2 = 5600$.

Сила тока в контуре катушки L_2	Число витков катушки L_1				
	2400	3200	4000	4800	5600
	$R_g = 30$ Ом				
	$R_L = 10$ Ом	$R_L = 15$ Ом	$R_L = 20$ Ом	$R_L = 25$ Ом	$R_L = 30$ Ом
Показания гальванометра, дел					
$I_1 = 1$ А					
$I_2 = 2$ А					

Вариант 8

Исходные условия: расстояние между катушками L_1 и L_2 3 см, число витков катушки L_2 $N_2 = 5600$.

Сила тока в контуре катушки L_2	Число витков катушки L_1				
	2400	3200	4000	4800	5600
	$R_g = 30$ Ом				
	$R_L = 10$ Ом	$R_L = 15$ Ом	$R_L = 20$ Ом	$R_L = 25$ Ом	$R_L = 30$ Ом
Показания гальванометра, дел					
$I_1 = 0.5$ А					
$I_2 = 0.9$ А					

Вариант 9

Исходные условия: расстояние между катушками L_1 и L_2 11 см, число витков катушки L_2 $N_2 = 6400$.

Сила тока в контуре катушки L_2	Число витков катушки L_1				
	2400	3200	4000	4800	5600
	$R_g = 30 \text{ Ом}$				
	$R_L = 10 \text{ Ом}$	$R_L = 15 \text{ Ом}$	$R_L = 20 \text{ Ом}$	$R_L = 25 \text{ Ом}$	$R_L = 30 \text{ Ом}$
Показания гальванометра, дел					
$I_1 = 0.8 \text{ А}$					
$I_2 = 1.5 \text{ А}$					

Вариант 10

Исходные условия: расстояние между катушками L_1 и L_2 15 см, число витков катушки L_2 $N_2 = 6400$.

Сила тока в контуре катушки L_2	Число витков катушки L_1				
	2400	3200	4000	4800	5600
	$R_g = 30 \text{ Ом}$				
	$R_L = 10 \text{ Ом}$	$R_L = 15 \text{ Ом}$	$R_L = 20 \text{ Ом}$	$R_L = 25 \text{ Ом}$	$R_L = 30 \text{ Ом}$
Показания гальванометра, дел					
$I_1 = 2 \text{ А}$					
$I_2 = 3 \text{ А}$					

Вариант 11

Исходные условия: расстояние между катушками L_1 и L_2 7 см, число витков катушки L_2 $N_2 = 5600$.

Сила тока в контуре катушки L_2	Число витков катушки L_1				
	2400	3200	4000	4800	5600
	$R_g = 30 \text{ Ом}$				
	$R_L = 10 \text{ Ом}$	$R_L = 15 \text{ Ом}$	$R_L = 20 \text{ Ом}$	$R_L = 25 \text{ Ом}$	$R_L = 30 \text{ Ом}$
Показания гальванометра, дел					
$I_1 = 0.7 \text{ А}$					
$I_2 = 1.4 \text{ А}$					

Вариант 12

Исходные условия: расстояние между катушками L_1 и L_2 20 см, число витков катушки L_2 $N_2 = 6400$.

Сила тока в контуре катушки L_2	Число витков катушки L_1																						
	2400	3200	4000	4800	5600																		
	$R_g = 30 \text{ Ом}$																						
	$R_L = 10 \text{ Ом}$	$R_L = 15 \text{ Ом}$	$R_L = 20 \text{ Ом}$	$R_L = 25 \text{ Ом}$	$R_L = 30 \text{ Ом}$																		
Показания гальванометра, дел																							
$I_1 = 1 \text{ A}$																							
$I_2 = 2 \text{ A}$																							

Шаблоны индивидуальных заданий

Вариант 1

Исходные условия: число витков катушки L_1 $N_1 = \underline{\hspace{2cm}}$, число витков катушки L_2 $N_2 = \underline{\hspace{2cm}}$, сопротивление гальванометра $R_g = \underline{\hspace{2cm}}$ Ом, сопротивление катушки $R_L = \underline{\hspace{2cm}}$ Ом.

Сила тока в контуре катушки L_2	Расстояние м/у катушками, см																						
	<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>																		
	Показания гальванометра, дел																						
$I_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$																							
$I_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$																							

Вариант 2

Исходные условия: расстояние между катушками L_1 и L_2 см, число витков катушки L_2 $N_2 = \underline{\hspace{2cm}}$.

Сила тока в контуре катушки L_2	Число витков катушки L_1																						
	<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>	<u> </u>																		
	$R_g = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Ом}$																						
	$R_L = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Ом}$	$R_L = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Ом}$	$R_L = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Ом}$	$R_L = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Ом}$	$R_L = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Ом}$																		
Показания гальванометра, дел																							
$I_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$																							
$I_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$																							



Вопросы для допуска и защиты лабораторной работы

Вопросы на допуск

- 1) Перечислите элементы из состава компьютерной программной лабораторной установки (КПЛУ) и процесс их взаимодействия;
- 2) Объясните принцип работы схемы электрической цепи лабораторной установки (рис. 2.9);
- 3) Перечислите и сформулируйте физические законы, лежащие в основе метода измерений;
- 4) Выведите рабочую формулу для коэффициента взаимной индукции M катушек.

Вопросы на защиту

- 1) По результатам измерений и вычислений прокомментируйте графики взаимной индуктивности катушек, основываясь на перечисленных параметрах:
 - масштаб осей;
 - вид графика (прямая, кривая).
- 2) Объясните зависимость коэффициента взаимной индукции катушек от расстояния между ними, силы тока и количества витков;
- 3) Объясните, как изменится индуктивность катушки при наличии ферромагнетика (взаимная индуктивность катушек);
- 4) Укажите направление индукционного тока замкнутой (или разомкнутой) цепи (рис. 2.9).

Рекомендуемая литература

1. Савельев И. В. Курс общей физики: учеб. пособие для вузов: в 5 кн. — М. : Астрель, 2002. — Т. 2: Электричество и магнетизм. — 336 с. — ISBN: 5-271-01183-6.
2. Иродов И. Е. Электромагнетизм. Основные законы: учебное пособие. — 7-е изд. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. — 320 с. — ISBN: 978-5-9963-0064-8. — (Сер. Технический университет. Общая физика).
3. Трофимова Т. И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. — 11-е, стер. изд. — М. : Издательский центр «Академия», 2006. — 560 с. — ISBN: 5-7695-2629-7.
4. Фриш С. Э., Тиморева А. В. Курс общей физики. Том 2. Электрические и электромагнитные явления. — 9-е, испр. и доп. изд. — М. : ФИЗМАТГИЗ, 1962. — Т. 2. — 515 с.
5. Яворский Б. М., Детлаф А. А., Лебедев А. К. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. — 8-е, перераб. и испр. изд. — М. : ОНИКС, 2006. — 1056 с.

Указатель иллюстраций

1.1	Интерфейс программной лабораторной установки	7
1.2	Диалоговое окно ввода индивидуального кода измерений	8
1.3	Конфигурационная панель лабораторной установки	8
1.4	Интерфейс баллистического гальванометра	10
1.5	Интерфейс амперметра	11
1.6	Интерфейс источника питания	11
1.7	Окно визуализатора	12
1.8	Окно схемы электроцепи	12
2.9	Схема электрической цепи лабораторной установки	13

**Первушина Марина Олеговна
Небаев Игорь Алексеевич**

**Электромагнетизм
Руководство к лабораторной работе
по определению взаимной индуктивности двух контуров
в среде компьютерной программной установки**

Учебно-методическое пособие

Редактор _____

Верстка _____

План _____ г., л. _____

Подписано к печати _____

Объем _____ усл.-печ. л. Тираж _____ экз. Заказ _____
РИЦ С-Пб ГУТ. 191186 С-Пб., наб. р. Мойки, 61

Отпечатано в С-Пб ГУТ

