



Министерство образования  
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Экспериментальная и теоретическая физика»

Ю. А. Бумай  
В. В. Чёрный

## ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЙ САМОИНДУКЦИИ И ВЗАИМНОЙ ИНДУКЦИИ

*Учебно-методическое пособие  
к лабораторной работе № 9*

Минск  
БНТУ  
2014

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Экспериментальная и теоретическая физика»

Ю. А. Бумай  
В. В. Чёрный

## ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЙ САМОИНДУКЦИИ И ВЗАИМНОЙ ИНДУКЦИИ

*Учебно-методическое пособие  
к лабораторной работе № 9  
для студентов специальностей 1-38 02 01  
«Информационно-измерительная техника»  
и 1-38 02 03 «Техническое обеспечение безопасности»*

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
по образованию в области приборостроения*

Минск  
БНТУ  
2014

УДК 537.851(075.8)

ББК 31.292я7

Б91

Рецензенты:

*И. И. Жолнерович, П. Г. Кужжир*

**Бумай, Ю. А.**

Б91

Изучение явлений самоиндукции и взаимной индукции : учебно-методическое пособие к лабораторной работе № 9 для студентов специальностей 1-38 02 01 «Информационно-измерительная техника» и 1-38 02 03 «Техническое обеспечение безопасности» / Ю. А. Бумай, В. В. Чёрный. – Минск : БНТУ, 2014. – 19 с.

ISBN 978-985-550-300-3.

Учебно-методическое пособие содержит описание (теоретическую часть, схему экспериментальной установки и задание) лабораторной работы, посвященной изучению явлений самоиндукции и взаимной индукции. На основании полученных результатов определяются величины индуктивностей и коэффициент самоиндукции.

Издание предназначено для студентов инженерных специальностей, изучающих раздел «Электричество и магнетизм» курса общей физики.

**УДК 537.851(075.8)**

**ББК 31.292я7**

**ISBN 978-985-550-300-3**

© Бумай Ю. А., Чёрный В. В., 2014

© Белорусский национальный  
технический университет, 2014

## Цель работы

Изучить закон электромагнитной индукции, явления самоиндукции и взаимной индукции.

## Задачи работы

1. Измерить ЭДС самоиндукции и постоянные времени цепи, содержащей катушку индуктивности, при включении и выключении источника питания.
2. Определить индуктивности и взаимную индуктивность катушек трансформатора.

## Явление электромагнитной индукции

Предположим, в некоторой области пространства создано магнитное поле. Проведем в этой области некоторую поверхность  $S$ . Выделим малый элемент поверхности площадью  $dS$ , который можно считать плоским и в пределах которого вектор магнитной индукции  $\vec{B}$  остается неизменным по модулю и направлению. Магнитный поток  $d\Phi$  (поток вектора магнитной индукции) через площадь  $dS$  равен произведению величины этой площади и проекции вектора индукции магнитного поля  $B_n$  на вектор  $\vec{n}$  единичной нормали (перпендикуляра) к поверхности:

$$d\Phi = B_n dS = B \cos\alpha dS, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – угол между векторами  $\vec{B}$  и  $\vec{n}$  (рис. 1). Магнитный поток через любую поверхность  $S$  определяется интегралом по этой поверхности:

$$d\Phi = \iint_S B_n dS = \iint_S \vec{B}\vec{n}dS, \quad (2)$$

где  $B_n$  – проекция вектора  $\vec{B}$  на единичный вектор нормали  $\vec{n}$  в каждой точке поверхности. В системе СИ единица измерения магнитного потока называется Вебер (Вб):  $1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2 = 1 \text{ В} \cdot \text{с}$ .

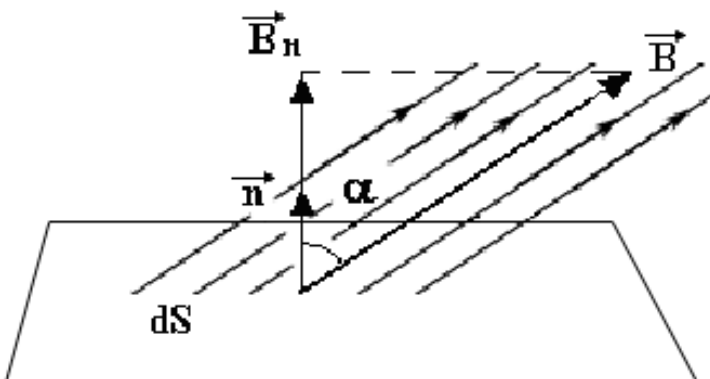


Рис.1. Вычисление магнитного потока через поверхность площадью  $dS$

В экспериментах Эрстеда впервые было установлено, что электрический ток создаёт магнитное поле. В дальнейшем М. Фарадеем в 1831 г. было установлено, что, в свою очередь, магнитное поле (точнее его изменение) создаёт электрический ток. Им было открыто явление электромагнитной индукции: **в замкнутом проводящем контуре при изменении потока магнитной индукции (магнитного потока) через поверхность, ограниченную этим контуром, возникает электрический ток, называемый индукционным.** Если контур не замкнут, между его концами возникает электродвижущая сила индукции  $\epsilon_i$ .

Возникновение индукционного тока в проводящем контуре, магнитный поток через который изменяется, свидетельствует о возникновении в этом контуре электрического поля (т.н. вихревого электрического поля). Это поле действует на свободные электрические заряды (в металлических проводниках это электроны), вызывая их направленное движение. Следовательно, в контуре действует электродвижущая сила  $\epsilon_i$  (ЭДС индукции).

**ЗАКОН ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ**, установленный Фарадеем, гласит, что ЭДС индукции, возникающая в контуре, прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока  $\Phi$  через поверхность, ограниченную этим контуром:

$$\epsilon_i = - \frac{d\Phi}{dt}. \quad (3)$$

При этом  $\varepsilon_i$  не зависит ни от способа изменения магнитного потока, ни от сопротивления контура. Знак минус в этой формуле связан с тем, что магнитный поток, создаваемый индукционным током, стремится препятствовать изменению исходного магнитного потока, которое и вызывает этот ток.

### Явление самоиндукции

Предположим, что по некоторому замкнутому контуру протекает ток, сила которого равна  $I$ . Ток будет создавать в окружающем пространстве магнитное поле. Силовые линии этого поля будут пересекать также и сам контур и создавать магнитный поток через этот же контур. По закону Био–Савара–Лапласа, модуль вектора магнитной индукции, создаваемой током, будет в любой точке пространства прямо пропорционален силе тока. Следовательно, полный магнитный поток через контур  $\Psi$ , называемый иначе потокосцеплением, будет также прямо пропорционален току:

$$\Psi = L \cdot I, \quad (4)$$

где  $L$  – коэффициент пропорциональности, называемый **индуктивностью** контура. Индуктивность зависит от формы и размеров контура и магнитных свойств среды, в которой находится контур. Размерность потокосцепления, как и магнитного потока, Вебер. Из (4) следует, что **индуктивность численно равна потокосцеплению, пронизывающему контур при силе тока в контуре, равном 1 А.** Единица индуктивности в системе СИ называется Генри (Гн):  $1 \text{ Гн} = 1 \text{ Вб/А} = 1 \text{ Ом} \cdot \text{с}$ .

Индуктивность тонкой длинной катушки (соленоида) длиной  $l$ , площадью поперечного сечения  $S$  и числом витков  $N$  можно определить, используя известную формулу для индукции магнитного поля в соленоиде:

$$B = \mu_0 \mu \frac{N}{l} I, \quad (5)$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная;

$\mu$  – относительная магнитная проницаемость среды внутри катушки.

Тогда магнитный поток через один виток соленоида

$$\Phi = BS = \mu_0 \mu \frac{NS}{l} I,$$

а потокосцепление

$$\Psi = N\Phi = \mu_0 \mu \frac{N^2 S}{l} I.$$

С учетом (4)

$$L = \mu_0 \mu \frac{N^2 S}{l}. \quad (6)$$

Строго говоря, последняя формула выражает индуктивность участка бесконечно длинного соленоида длиной  $l$ . Конечно, реальные соленоиды имеют конечную длину и индуктивность соленоида меньше. На практике это учитывается введением коэффициента  $k$ , значение которого меньше единицы и зависит от соотношения между длиной  $l$  соленоида и его радиусом  $R$ .

$$L = k\mu_0 \mu \frac{N^2 S}{l}. \quad (7)$$

Как отмечалось, ЭДС индукции возникает в контуре независимо от причин, вызывающих изменение магнитного потока, пронизывающего контур. При изменении тока в контуре изменится и магнитный поток, пересекающий этот контур, что приведет к возникновению в контуре ЭДС индукции. **Возникновение ЭДС индукции в проводящем контуре при изменении тока, протекающего по нему, называется явлением самоиндукции.** Такое название принято, поскольку ЭДС индукции в контуре возникает в результате изменения тока, протекающего в самом же контуре, а не в результа-

те каких либо внешних воздействий. Величину ЭДС самоиндукции  $\varepsilon_s$  найдём, если в (3) вместо  $\Phi$  подставим выражение (4) для  $\Psi$ :

$$\varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt}. \quad (8)$$

Предполагается, что форма и размеры контура не изменяются, иначе формула усложнится. Знак минус в (8) означает, что ЭДС самоиндукции направлена таким образом, чтобы препятствовать изменению тока в контуре (правило Ленца для ЭДС самоиндукции). Иначе говоря, если ток  $I$  возрастает (см. рис. 2, а), то ток  $I_s$ , создаваемый ЭДС самоиндукции, направлен против тока в контуре. Если же ток  $I$  убывает, ток  $I_s$  совпадает по направлению с  $I$  (рис. 2, б).

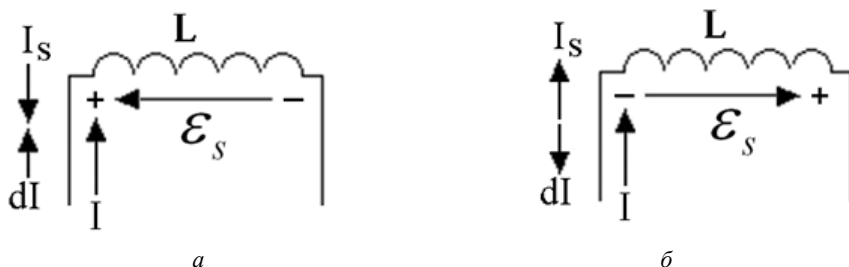


Рис. 2. Направления токов и ЭДС самоиндукции

### Явление взаимной индукции

Пусть имеются два близко расположенных контура. При протекании по одному из них тока изменяется индукция магнитного поля и, следовательно, магнитный поток, пронизывающий второй контур. В результате во втором контуре возникает ЭДС индукции, называемая в данном случае ЭДС взаимной индукции.

Возникновение ЭДС индукции в одном из двух контуров, связанных магнитной связью, при изменении тока в другом, называется явлением ВЗАИМНОЙ ИНДУКЦИИ.

Количественно степень магнитной связи контуров (или любых электрических цепей) характеризуется ВЗАИМНОЙ ИНДУКТИВНОСТЬЮ.



Пусть ток  $I_1$  течет по первому контуру. Часть данного магнитного потока  $\Phi_{12}$  пронизывает второй контур (рис. 3). Величина  $\Phi_{12}$  также будет пропорциональна току  $I_1$ , т.е.

$$\Phi_{12} = M_{12} \cdot I_1, \quad (9)$$

где  $M_{12}$  – коэффициент, характеризующий влияние первого контура на второй.

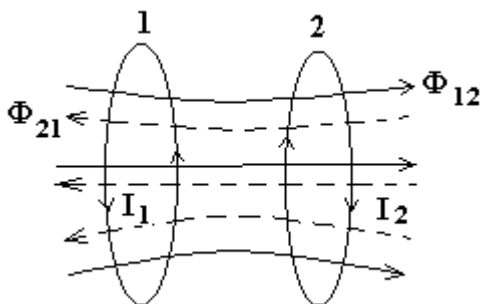


Рис. 3. Возникновение ЭДС индукции в одном контуре при изменении тока в другом

Пусть теперь ток  $I_2$  течет по второму контуру (рис. 3). Рассуждая аналогично предыдущему случаю, для величины магнитного потока, создаваемого током  $I_2$  и пронизывающего первый контур, можно записать:

$$\Phi_{21} = M_{21} \cdot I_2.$$

Если отсутствуют ферромагнитные сердечники, коэффициенты  $M_{12}$  и  $M_{21}$  тождественно равны и взаимное влияние двух контуров описывается только одним коэффициентом

$$M_{12} = M_{21} = M,$$

который зависит от размеров и формы контуров 1 и 2, от их взаимного расположения, а также от магнитной проницаемости окру-

жающей среды. Данный коэффициент называется **ВЗАИМНОЙ ИНДУКТИВНОСТЬЮ** или **КОЭФФИЦИЕНТОМ ВЗАИМНОЙ ИНДУКЦИИ** контуров 1 и 2 и численно равен величине магнитного потока (в Веберах), общего для двух контуров, когда в одном из них протекает ток, равный 1 А.

При изменении тока в первом контуре, согласно закону электромагнитной индукции, в нем возникает ЭДС самоиндукции:

$$\varepsilon_{s1} = -L \frac{dI_1}{dt}. \quad (10)$$

Во втором контуре при этом будет индуцироваться ЭДС индукции:

$$\varepsilon_{i2} = -\frac{d\Phi_{12}}{dt} = -M \frac{dI_1}{dt}. \quad (11)$$

Если второй контур разомкнут, то тока в нём не возникает, следовательно, обратного влияния второго контура на первый не будет. Разделив равенства (10) на (11), получим:

$$\varepsilon_{s1}/\varepsilon_{i2} = \frac{M}{L_1}. \quad (12)$$

Видно, что в любой момент времени отношение ЭДС, которые индуцируются в первом и во втором контуре током, протекающим по первому контуру, постоянно. Следовательно, ЭДС во втором контуре повторяет изменение ЭДС самоиндукции в первом. Это явление используется в трансформаторах для преобразования переменного напряжения в более низкое или в более высокое. Отношение  $M/L_1$  называется **КОЭФФИЦИЕНТОМ ТРАНСФОРМАЦИИ**.

### **Описание лабораторного стенда**

Электрическая схема стенда для изучения явлений самоиндукции и взаимной индукции показана на рис. 4.

Он представляет собой разветвлённую цепь, содержащую источник постоянного тока  $\varepsilon_0$ , активные сопротивления  $R_1$  и  $R_2$  и две ка-

тушки индуктивности  $L_1$  и  $L_2$ , имеющие общий ферромагнитный сердечник (т.е. катушки являются обмотками трансформатора). Катушку  $L_1$  можно отключать при помощи переключателя  $T$ . В рабочем состоянии переключатель замкнут и катушка подключена.

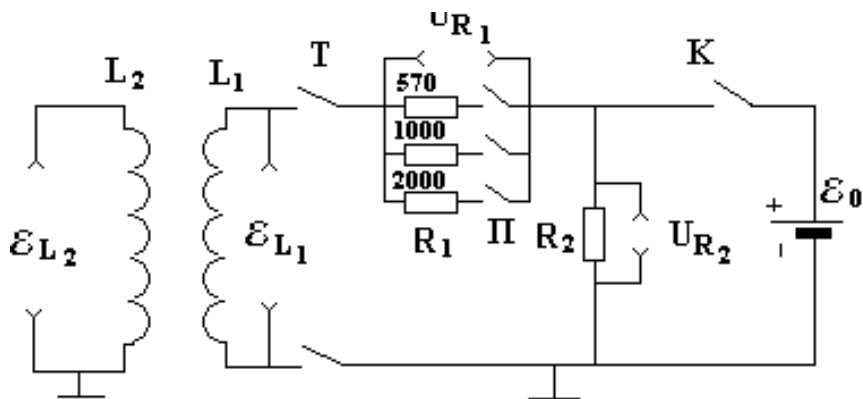


Рис. 4. Схема лабораторного стенда

Периодическое замыкание и размыкание цепи выполняется автоматически ключом  $K$ , управляемым электромагнитным реле. Реле периодически производит замыкание ключа  $K$  на промежуток времени длительностью  $t_0$  и размыкание его на промежуток длительностью  $t_1$ .

### Переходные процессы в цепи с индуктивностью при включении питания

Упрощённая схема лабораторной установки для изучения явления самоиндукции при замыкании ключа  $K$  приведена на рис. 5.

При замыкании ключа  $K$  нарастание тока через катушку  $L_1$  будет происходить не мгновенно, а постепенно из-за возникновения ЭДС самоиндукции  $\varepsilon_{s1}$ , препятствующей росту тока.

В случае не очень быстрого изменения тока в контуре (более медленных, чем время прохождения электромагнитной волны вдоль контура) для контура в каждый момент времени можно применять закон Ома и правила Кирхгофа. Для контура, показанного на рис. 5, второе правило Кирхгофа запишется в виде:

$$\varepsilon_0 + \varepsilon_{s1} = IR_1, \quad (13)$$

т.е. падение напряжения на сопротивлении  $R_1$  равно алгебраической сумме ЭДС, действующих в этом контуре.

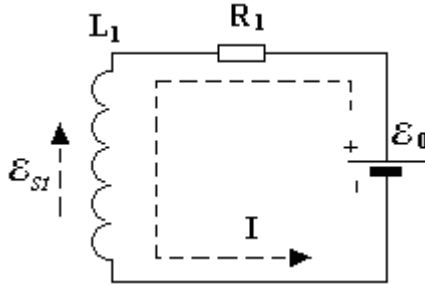


Рис. 5. Упрощённая схема лабораторной установки для исследования явления самоиндукции при замыкании ключа  $K$

Согласно (8),  $\varepsilon_{s1} = -L_1 \frac{dI}{dt}$ . Подставляя в (13) это значение, получим дифференциальное уравнение, описывающее закон нарастания тока в цепи с индуктивностью:

$$IR_1 + \frac{L_1}{R_1} \frac{dI}{dt} = \varepsilon_0/R_1. \quad (14)$$

Для решения этого уравнения необходимо задать начальные условия. Их можно записать, учитывая, что в начальный момент, т.е. при замыкании ключа  $K$ , ток через катушку отсутствовал:

$$I(0) = 0. \quad (15)$$

Уравнение (15) легко решается методом разделения переменных и его решение имеет вид:

$$I(t) = \varepsilon_0 [1 - \exp(-\frac{L_1}{R_1} t)] / R_1. \quad (16)$$

График зависимости  $I(t)$ , определяемой формулой (16), изображён на рис. 6. Из данного графика и из формулы видно, что при достаточно большом времени  $t$  ток стремится к стационарному значению:

$$I_m = \varepsilon_0 / R_1. \quad (17)$$

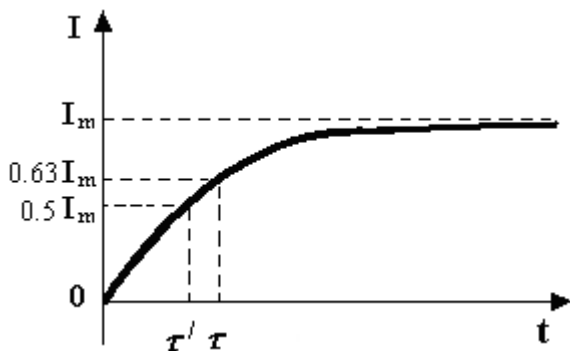


Рис. 6. Нарастание тока при замыкании цепи с индуктивностью

Скорость нарастания тока при включении характеризуется величиной

$$\tau = L_1 / R_1, \quad (18)$$

которая носит название ПОСТОЯННОЙ ВРЕМЕНИ ЦЕПИ. За время  $\tau$  ток через катушку достигает величины  $0,63$  от стационарного значения:

$$I(\tau) = I_m(1 - 1/e) \approx 0,63 I_m. \quad (19)$$

На практике вместо  $\tau$  часто удобнее использовать постоянную времени цепи  $\tau'$ , которая равна времени нарастания тока через катушку до половины стационарной величины  $I(\tau') = 0,5 I_m$ . Используя выражение (16) можно показать, что:

$$\tau \approx 1,44 \tau'. \quad (20)$$

Закон изменения ЭДС самоиндукции в катушке  $L_1$  после замыкания ключа  $K$  найдём, подставив в формулу (8) выражение (16):

$$\varepsilon_{s1}(t) = -\varepsilon_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right). \quad (21)$$

Отсюда видно, что в момент замыкания ключа ( $t = 0$ ) возникает ЭДС самоиндукции, равная по величине ЭДС, подключаемой к катушке, и направленная в противоположную сторону, т.е.  $\varepsilon_{s1}(0) = -\varepsilon_0$ .

График зависимости  $\varepsilon_{s1}(t)$  изображен на рис. 7. Как видно из графика, величина ЭДС самоиндукции уменьшается по экспоненте с той же постоянной времени  $\tau$ , с которой происходит нарастание тока.

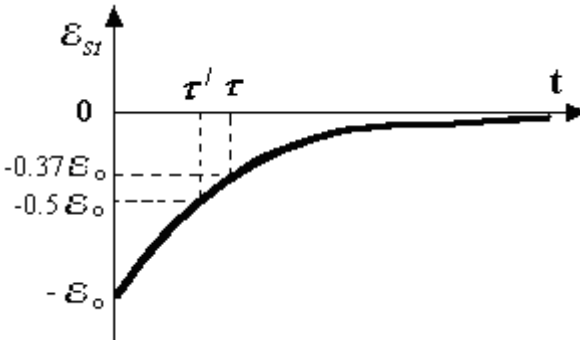


Рис. 7. Зависимость ЭДС самоиндукции  $\varepsilon_{s1}$  в катушке  $L$  от времени при замыкании ключа  $K$

### Переходные процессы в цепи с индуктивностью при отключении источника питания

Пусть в цепи, показанной на рис. 5 установилось стационарное значение тока через катушку. Рассмотрим теперь, что произойдет, если в некоторый момент времени  $t_0$  разомкнуть ключ  $K$ . Упрощенная схема стенда при размыкании цепи показана на рис. 8.

Благодаря явлению самоиндукции ток в катушке исчезнуть мгновенно не может, так как при протекании тока от основного источника энергия помимо нагрева проводников расходуется на соз-

дание магнитного поля, в котором запасается некоторое количество энергии.

При выключении основного источника тока эта энергия возвращается из магнитного поля обратно в проводник и создает в цепи индуцированный ток. В контуре, показанном на рис. 8, после размыкания ключа  $K$  будет действовать только ЭДС самоиндукции  $\varepsilon_{s1}$ . Под ее действием ток будет протекать по последовательно соединенным с катушкой сопротивлениям  $R_1$  и  $R_2$ . Поэтому по закону Ома ток в этом контуре в любой момент времени будет равен:

$$I(t) = \varepsilon_{s1} / (R_1 + R_2). \quad (22)$$

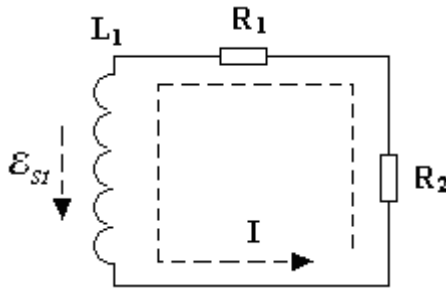


Рис. 8. Возникновение индуцированного тока при размыкании цепи, содержащей индуктивность

Подставляя в (22) значение  $\varepsilon_{s1}$ , получим дифференциальное уравнение, описывающее изменение тока в катушке индуктивности после размыкания ключа:

$$I + \frac{L_1}{R_1 + R_2} \frac{dI}{dt} = 0. \quad (23)$$

По аналогии с (12) введём постоянную времени для цепи после отключения источника питания:

$$\tau_1 = \frac{L_1}{R_1 + R_2}. \quad (24)$$

Решение уравнения (23) при начальном условии  $I(t_0) = \varepsilon_0/R_1$  имеет вид:

$$I(t) = \varepsilon_0 \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau_1}\right)/R_1. \quad (25)$$

Закон изменения ЭДС самоиндукции катушки после размыкания можно получить, подставляя выражение (25) в формулу (8):

$$\varepsilon_{s1}(t) = \varepsilon_0 \frac{R_1 + R_2}{R_1} \exp\left(-\frac{t-t_0}{\tau_1}\right). \quad (26)$$

Из (25) и (26) видно, что ЭДС самоиндукции и ток через катушку спадают по экспоненте с постоянной времени  $\tau_1 < \tau$ , т.е. быстрее, чем при замыкании ключа. Величина  $t_0$  в показателе степени отражает задержку во времени и говорит о том, что спад тока начинается в момент времени  $t = t_0$  (см. рис. 9).

ЭДС самоиндукции в момент размыкания ключа  $t = t_0$  будет равна:

$$\varepsilon_{s1}(t_0) = \varepsilon_0 \frac{R_1 + R_2}{R_1}. \quad (27)$$

Сравнивая (27) и (21), видим, что

$$\varepsilon_{s1}(t_0)/\varepsilon_{s1}(0) = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = \frac{\tau}{\tau_1}, \quad (28)$$

т.е. при размыкании цепи ЭДС самоиндукции больше чем при замыкании в  $\frac{R_1 + R_2}{R_1} = \frac{\tau}{\tau_1}$  раз.

Предположим, что размыкание цепи, содержащей индуктивность, производится тумблером или выключателем. Тогда величина последовательного сопротивления контакта в течение короткого времени возрастает от нуля до очень большой величины.

Стремясь поддержать величину тока, ЭДС самоиндукции может на коротком промежутке времени достигнуть величины, много-



кратно превышающей ЭДС источника тока. Формально это следует из формулы (27) при условии, что величина сопротивления  $R_2$  сильно возрастает.

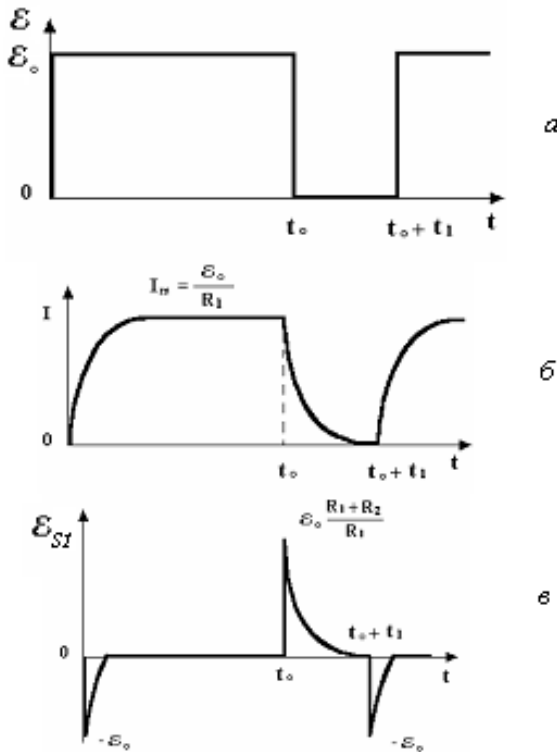


Рис. 9. График изменения ЭДС  $\mathcal{E}(t)$  в цепи (а), изменения тока  $I(t)$  в катушке  $L_1$  (б) и ЭДС самоиндукции в ней  $\mathcal{E}_{SI}(t)$  (в) при замыкании ключа в моменты времени  $t = 0$  и  $t = t_0 + t_1$  и размыкании в момент  $t = t_0$

При большой величине индуктивности, если не предпринять мер по защите цепи, могут возникнуть нежелательные эффекты (искрение, поражение током персонала, выход из строя отдельных элементов из-за недопустимо высокого напряжения). Поэтому в подобных цепях обязательно предусматриваются дополнительные элементы или устройства, исключающие негативное влияние ЭДС самоиндукции в момент отключения источника питания.

## Порядок выполнения и задание

1. При отключенной катушке  $L_1$  с помощью осциллографа измерить амплитуду  $\varepsilon_0$  и длительность  $t_0$  прямоугольных импульсов напряжения на сопротивлении  $R_2$ , полученных автоматическим замыканием и размыканием источника питания ключом  $K$ , а также длительность временного промежутка между соседними импульсами  $t_1$  (см. рис. 8, а)<sup>1</sup>.

2. Присоединить катушку  $L_1$ . По кривой нарастания напряжения на сопротивлении  $R_1$  (рис. 6) при автоматическом замыкании источника питания ключом  $K$  определить постоянную времени цепи  $\tau'$ . По формулам (20) и (18) определить  $\tau$  и индуктивность катушки  $L_1$ . Вывести формулу для погрешности измерений  $\Delta L_1$ , пользуясь методикой расчета погрешностей при косвенных измерениях. Рассчитайте  $\Delta L_1$ . Выполнить всё для трех значений сопротивления  $R_1$ .

3. По зависимости напряжения на катушке  $LI$  от времени (рис. 8, в) определить ЭДС самоиндукции в момент замыкания  $\varepsilon_{s1}(0)$  и в момент размыкания цепи  $\varepsilon_{s1}(t_0)$  при трех различных значениях величины сопротивления  $R_1$ . Вычислите величину сопротивления  $R_2$  из (28).

4. По зависимости напряжения на катушке  $L_2$  от времени определить ЭДС взаимной индукции в момент размыкания цепи  $\varepsilon_{i2}(t_0)$  для трех значений  $R_1$ .

5. Используя формулу

$$M = L_1 \varepsilon_{i2}(t_0) / \varepsilon_{s1}(t_0),$$

которая следует из (12), вычислите взаимную индуктивность катушек трансформатора  $M$  для трех значений  $R_1$ . Выведите формулу для погрешности измерений  $\Delta M$ , пользуясь методикой расчета погрешностей при косвенных измерениях. Рассчитайте величину  $\Delta M$ .

---

<sup>1</sup> При измерениях ЭДС и постоянных времени результат измерения определяйте путём умножения коэффициентов отклонения или развёртки на линейные размеры измеряемых параметров сигнала, выраженные в делениях шкалы.

## Контрольные вопросы

1. Что такое поток магнитной индукции?
2. Сформулируйте закон электромагнитной индукции Фарадея и правило Ленца.
3. Что такое явления самоиндукции и взаимной индукции?
4. Что такое индуктивность и от чего зависит величина индуктивности катушки?
5. Почему при замыкании и размыкании цепи величина напряжения на катушке различна?
6. Чем определяется длительность нарастания и спада тока в цепи с индуктивностью?

## Литература

1. Савельев, И. В. Курс общей физики: в 3 т. / И. В. Савельев. – М.: Наука, 1988. – Т. 2. – С. 181–195.
2. Савельев, И. В. Курс общей физики: в 3 т. / И. В. Савельев. – М.: Наука, 1988. – Т. 2. – С. 196–211.
3. Трофимова, Т. И. Курс физики / Т. И. Трофимова. – М.: ВШ, 2007. – С. 221–233.
4. Наркевич, И. И. Физика / И. И. Наркевич, Э. И. Волмянский, С.И. Лобко. – Минск: Новое знание, 2004. – С. 386–393.
5. Детлаф, А. А. Курс физики / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – М.: ВШ, 2007. – С. 328–340.
6. Путилов, К. А. Курс физики: в 3 т. / К. А. Путилов. – 6-е изд. – Т. 2. – М.: Физматгиз, 1963. – С. 372–395.

Учебное издание

**БУМАЙ** Юрий Александрович  
**ЧЁРНЫЙ** Владимир Владимирович

**ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЙ САМОИНДУКЦИИ  
И ВЗАИМНОЙ ИНДУКЦИИ**

*Учебно-методическое пособие  
к лабораторной работе № 9  
для студентов специальностей 1-38 02 01  
«Информационно-измерительная техника»  
и 1-38 02 03 «Техническое обеспечение безопасности»*

Технический редактор *Д. А. Исаев*  
Компьютерная верстка *Д. А. Исаева*

Подписано в печать 30.01.2014. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 1,10. Уч.-изд. л. 0,86. Тираж 100. Заказ 736.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.