

## Работа №

### ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

По закону Фарадея электродвижущая сила индукции  $\varepsilon_i$ , возникающая в замкнутом проводящем контуре, пропорциональна скорости изменения магнитного потока  $\Phi$  через поверхность, ограниченную этим контуром:

$$\varepsilon_i = - \frac{d\Phi}{dt} . \quad (1)$$

Поток вектора магнитной индукции  $\mathbf{B}$  через поверхность контура  $S$  определяется, как

$$\Phi = \int_S \vec{B} \cdot \vec{n} \cdot dS, \quad (2)$$

где  $\mathbf{n}$  – нормаль к поверхности. В однородном магнитном поле, направленном вдоль нормали, интеграл (2) легко берется. В этом случае

$$\Phi = B \cdot S. \quad (3)$$

Пусть прямоугольный проводящий контур площадью  $S = a \times b$  находится в области однородного магнитного поля перпендикулярного плоскости контура (рис. 1).

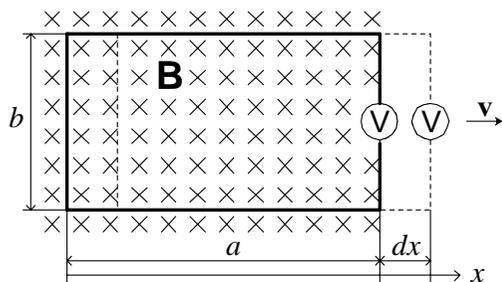


Рис. 1

При движении контура вдоль оси  $x$  контур будет постепенно выдвигаться за пределы области поля. При постоянной скорости  $\mathbf{v}$  площадь  $dS$  части контура, покинувшей область поля за время  $dt$ , будет равна

$$dS = b \cdot dx = b \cdot v \cdot dt. \quad (4)$$

Тогда изменение магнитного потока, пронизывающего контур, окажется равным

$$d\Phi = B \cdot dS = B \cdot b \cdot v \cdot dt. \quad (5)$$

Подставляя (5) в (1), найдем, что при движении контура индуцируемая в нем э. д. с. равна

$$\varepsilon_i = - B \cdot b \cdot v, \quad (6)$$

т.е. она линейно зависит от индукции магнитного поля, ширины контура и скорости его движения.

### Приборы и оборудование

Общий вид установка для проведения опытов показан на рис. 2. Магнитное поле создается в зазоре между полюсными пластинами при помещении цилиндрических постоянных магнитов ( $h$ ) в пазы основания ( $e$ ). Магниты устанавливаются всегда попарно, соблюдая одинаковую полярность (торцом с красным кольцом вверх). Всего имеется 8 пар магнитов. Устанавливая от 2 до 8 пар магнитов, можно получить между полюсными пластинами различную индукцию поля, пропорциональную числу пар. Для обеспечения однородности поля магниты должны устанавливаться на основание ( $e$ ) в точки с маркировкой, соответствующей числу пар.

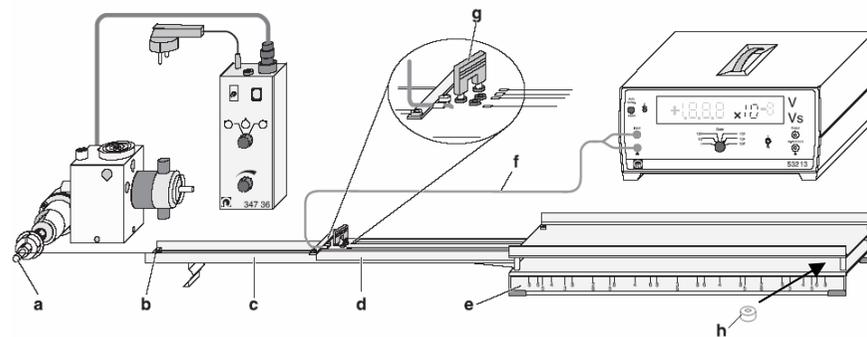


Рис. 2

На подвижной каретке ( $d$ ), которая может перемещаться по направляющим ( $c$ ), проложены проводники, образующие два прямоугольных ( $500 \times 40$  мм и  $500 \times 20$  мм) и один трапециевидный контур. Контур можно подключать поочередно к микровольтметру при помощи переключки ( $g$ ) и кабеля ( $f$ ). Перемещение каретки осуществляется электродвигателем с закрепленным на его оси ступенчатым шкивом ( $a$ ) (диаметры вала 8, 16 и 32 мм), на который наматывается нить, пропущенная через направляющую ( $b$ ) (см. рис. 3) и

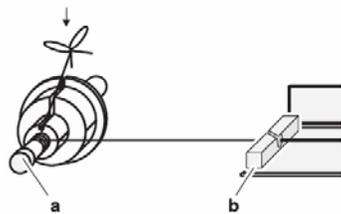


Рис. 3

прикрепленная к каретке (d). Для обеспечения равномерной скорости движения каретки нить должна быть проложена таким образом, чтобы ее намотка на шкив происходила виток к витку без переклестов. Чтобы избежать перегрузки двигателя и разрыва нити при достижении кареткой упора шкив

закреплен на оси двигателя при помощи муфты, проскальзывающей при больших нагрузках.

Возврат каретки в исходное положение осуществляется вручную. Во избежание перегрузки микровольтметра при движении каретки с неконтролируемой скоростью, ручное перемещение должно осуществляться нажатием на скобу (i) (рис. 4). При этом цепь вольтметра отключается микровыключателем, на который опирается скоба (i).

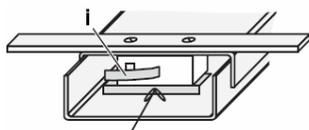


Рис. 4

### Выполнение работы

Упражнение 1. Измерение э. д. с. индукции в зависимости от скорости движения контура.

- 1) Установить в пазы основания (e) восемь пар магнитов (см. рис. 2).
- 2) Включить микровольтметр в сеть и прогреть его в течение 10 мин.
- 3) Установить тумблер вольтметра V/Vs в положение V.
- 4) Установить переключатель «Gain» (усиление) в положение  $10^4$ .
- 5) Подключить перемычкой (g) прямоугольный контур шириной 40 мм к входу микровольтметра.
- 6) Нажать кнопку «Auto Comp.» (автокомпенсация) на микровольтметре. Прибор должен установиться на ноль.
- 7) Закрепить нить на шкиве минимального диаметра, как показано на рис. 3.
- 8) Установить ручку регулировки скорости оборотов двигателя (C) (см. рис. 5) в крайнее положение против часовой стрелки.
- 9) Установить ручку направления вращения (B) в среднее положение.
- 10) Включить блок управления двигателем клавишей (A).

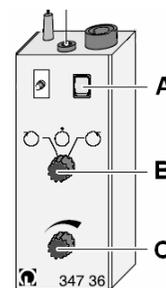


Рис. 5

11) Повернуть ручку регулировки скорости оборотов двигателя (C) по часовой стрелке так, чтобы указатель на ручке оказался в левом конце символа в виде расширяющейся дорожки.

12) Повернуть ручку направления вращения (B) в положение  $\curvearrowright$ . При этом двигатель начнет вращаться, перемещая каретку. Если нить начнет разматываться, переключить ручку (B) в положение  $\curvearrowleft$ .

13) Наблюдая за величиной индуцируемой э. д. с. по индикатору микровольтметра, ручкой (C) установить такую скорость вращения двигателя, чтобы э. д. с. составляла  $\sim 50$  мкВ. Для этого может понадобиться несколько попыток. Всякий раз при достижении кареткой упора двигатель следует выключать ручкой (B).

14) Сохраняя положение ручки управления скоростью двигателя (C) неизменным, провести по три измерения э. д. с. при намотке нити на каждый из шкивов, включая и выключая двигатель ручкой (B). Отсчет по индикатору микровольтметра следует делать не сразу, в начале движения каретки, а после ее разгона.

15) Найти средние значения э. д. с. для каждой из скоростей движения каретки и их погрешности. Принять систематическую погрешность микровольтметра равной  $\pm 0.5\%$  плюс/минус единица младшего разряда индикатора.

16) Построить график зависимости э. д. с. от отношения  $v/v_0$ , где  $v_0$  – скорость каретки при намотке нити на шкив диаметром 8 мм, а  $v$  – скорость при намотке на шкивы диаметром 8, 16 и 32 мм, т.е.  $v/v_0 = 1, 2, 4$ .

Упражнение 2. Измерение э. д. с. индукции в зависимости от величины магнитного поля.

1) Руководствуясь указаниями к Упражнению 1, провести измерения э. д. с. индукции при установке в пазы основания (e) последовательно 8, 6, 5, 4, 3 и 2 пар магнитов. Измерения выполнить для одной из скоростей движения каретки (по указанию преподавателя).

- 2) Найти средние значения э. д. с. для каждого из случаев и их погрешности.
- 3) Построить график зависимости э. д. с. индукции от числа пар магнитов.

Упражнение 3. Измерение э. д. с. индукции в зависимости от площади контура.

- 1) Пользуясь указаниями к Упражнению 1, провести три раза измерения э. д. с. для одной из скоростей движения каретки (по указанию преподавателя) для контура шириной 20 мм, подключив его перемычкой (g) (см. рис. 2).
- 2) Найти среднее значения э. д. с. и его погрешность.
- 3) Сравнить полученный результат с значением э. д. с., полученным в Упражнении 1 для той же скорости движения каретки.

#### **Литература**

1. И.В.Савельев. Курс общей физики, т.2. Наука, М. 1988.

#### **Контрольные вопросы**

1. Как выбирается направление нормали к контуру и почему в выражении (1) перед производной стоит знак минус?
2. В чем состоит правило Ленца?
3. Поток вектора – это вектор или скаляр?
4. Как изменится результат опыта, если вместо того, чтобы выдвигать контур из области магнитного поля, задвигать его в эту область?