

ЗАО «Санкт-Петербургские инструменты»

**Лабораторная работа
«Измерение магнитного поля Земли»**

Описание и методические указания.

2009 г.
г. Санкт-Петербург

Лабораторная работа «Измерение магнитного поля Земли»

Цель работы: изучение явления электромагнитной индукции; измерение индукции магнитного поля Земли.

Приборы и принадлежности: измерительная установка с вращающейся катушкой и интегрирующим усилителем.

Электрическая схема установки для измерения магнитного поля Земли представлена на рис 1. Измерительная катушка L подключена к входу операционного усилителя $ОУ$, цепь обратной связи которого образована конденсатором C . Напряжение на выходе $ОУ$, равное напряжению на конденсаторе C , измеряется вольтметром PV . Катушка закреплена на специальном каркасе, позволяющем поворачивать ее на 180° вокруг горизонтальной и вертикальной осей и обеспечивающем выполнение условий $\mathbf{n} \parallel \mathbf{B}_B$ и $\mathbf{n} \parallel \mathbf{B}_T$ в крайних ее положениях. Кнопка K служит для быстрого разряда конденсатора C .

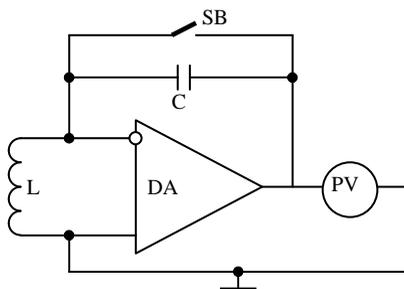


Рис. 1

4. Технические данные прибора

Число витков катушки N , радиус катушки r , емкость конденсатора C указаны на установках, сопротивление катушки $R = 1600 \text{ Ом}$.

Общие сведения

Факт существования магнитного поля Земли известен давно, однако развитой количественной теории этого поля в настоящее время не существует: предполагается, что главным источником поля являются

вихревые токи в жидком ядре Земли. В первом приближении геомагнитное поле соответствует полю намагниченного шара, северный полюс которого находится в южном полушарии Земли, а южный полюс – в северном. Линии индукции магнитного поля Земли представляют собой замкнутые кривые, которые выходят из центра Земли через южное полушарие, огибают поверхность Земли и через северное полушарие возвращаются к центру. Типичное значение индукции магнитного поля Земли составляет около 70 мкТл (в районе Курской магнитной аномалии достигает 200 мкТл).

Исследуемые закономерности

В данной работе определение индукции магнитного поля основывается на использовании явления электромагнитной индукции.

При повороте контура, состоящего из N витков, в однородном магнитном поле с индукцией B в нем наводится ЭДС электромагнитной индукции

$$E_i = -d\Psi/dt,$$

где $\Psi = N\Phi$ – полный магнитный поток (потокосцепление), сцепленный с контуром; $\Phi = \mathbf{BS} = BS \cos \alpha$ – поток вектора \mathbf{B} через плоскую поверхность площадью S , охватываемую контуром; $\mathbf{S} = S\mathbf{n}$ – вектор, равный S по модулю и направленный по нормали к этой поверхности; \mathbf{n} – единичный вектор (орт) нормали; α – угол между векторами \mathbf{B} и \mathbf{n} .

Возникающая ЭДС индукции вызывает в контуре сопротивлением R индукционный ток ()

$$i = E_i/R = (-1/R)d\Psi/dt = (-N/R)d\Phi/dt$$

Ток определяется указанной формулой, если время переходного процесса в контуре с индуктивностью L много меньше времени его поворота в магнитном поле. В работе это условие выполняется. При этом через поперечное сечение проводников контура за время его поворота t переносится заряд

$$Q = \int_0^t i dt.$$

Если в цепь контура включить конденсатор емкостью C , то за время t напряжение на его обкладках изменится на величину

$$U = Q/C = C^{-1} \int_0^t i dt,$$

или, с учетом выражения (9.1),

$$U = C^{-1} \int_0^t \left(-\frac{N}{R} \frac{d\Phi}{dt} \right) dt = -\frac{N}{CR} \int_{\Phi_1}^{\Phi_2} d\Phi = \frac{N}{CR} (\Phi_1 - \Phi_2),$$

здесь Φ_1 – поток вектора \mathbf{B} , пронизывающий контур в его начальном положении, а Φ_2 – в конечном.

При повороте контура на 180° нормаль также повернется на 180° , тогда $\Phi_2 = BS \cos(180^\circ + \alpha) = -BS \cos \alpha = -\Phi_1$ и

$$U = 2\Phi_1 N / (CR).$$

Выбрав начальное положение контура так, что $\alpha = 0$ (векторы \mathbf{B} и \mathbf{n} параллельны), получим $\Phi_1 = BS$ и

$$U = 2NBS / (RC).$$

Используя это соотношение, по заданным N , C , R , S и измеренной величине U можно рассчитать значение индукции B .

Задание по подготовке к работе

При подготовке к работе учащийся должен

- 1) изучить описание работы и продумать ответы на контрольные вопросы, полученные у преподавателя;
- 2) подготовить общую часть отчета по лабораторной работе, содержащую титульный лист, краткое описание исследуемых закономерностей, задачи

эксперимента, описание (схема или эскиз) лабораторной установки и методики проведения эксперимента;

3) подготовить протокол наблюдений в соответствии с методикой измерений.

Методика измерений

Вектор индукции магнитного поля Земли \mathbf{B}_0 можно разложить на две составляющие: вертикальную $\mathbf{B}_в$ и горизонтальную $\mathbf{B}_г$. Поворачивая контур в магнитном поле Земли вокруг горизонтальной и вертикальной осей, определяют значения вертикальной $B_в$ и горизонтальной $B_г$ составляющих индукции магнитного поля Земли, а

затем рассчитывают индукцию: $B_0 = \sqrt{B_в^2 + B_г^2}$.

Для определения значения $B_в$ с помощью вольтметра PV измеряют напряжение $U_в = |U_{в.к} - U_{в.н}|$, возникающее на конденсаторе C при повороте катушки на 180° вокруг горизонтальной оси. Начальное напряжение $U_{в.н}$ должно быть близким к нулю, что достигается разрядом конденсатора C при замыкании кнопки K перед поворотом катушки. Конечное напряжение $U_{в.к}$ измеряется в момент остановки катушки после ее поворота. Поворот должен осуществляться достаточно быстро – в течение 1–2 с.

Подобным образом для определения $B_г$ измеряют напряжение $U_г = |U_{г.к} - U_{г.н}|$, возникающее при повороте рамки с катушкой вокруг вертикальной оси на 180° , при этом плоскость катушки все время должна оставаться в вертикальном положении.

Указания по выполнению наблюдений и обработке результатов

1. Включить измерительную схему. Установить на мультиметре предел измерений «20V DC».
2. Измерить 10 раз напряжение U_B при поворотах катушки вокруг горизонтальной оси на 180° .
3. Измерить 10 раз напряжение U_Γ при поворотах рамки с катушкой вокруг вертикальной оси.
4. Вычислить средние значения и доверительные погрешности напряжений U_B и U_Γ и значений B_B , B_Γ , B_0 . Параметры R , S , N и C указаны на панели установки.
5. Рассчитать значения и построить графики ЭДС индукции $E_{i1}(t)$ и $E_{i2}(t)$, возникающей в катушке при ее равномерном повороте на 180° за время t_1 и t_2 вокруг горизонтальной оси (или, по указанию преподавателя, при повороте рамки с катушкой вокруг вертикальной оси), используя полученные в работе результаты и указанные на панели установки значения t_1 и t_2 .