

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ЗАМЕТКИ

378.147:537.311.33

ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ ПО ЭФФЕКТУ ХОЛЛА  
(Гальваномагнитный «парадокс»)

Решение задачи о соотношении токов и мощностей в цепях датчика Холла приводит к интересному результату, который в литературе не освещен. Сущность задачи состоит в следующем.

Определить ток в цепи токоподводящих электродов датчика Холла в зависимости от сопротивления цепи поперечных электродов, при наличии внешнего магнитного поля, напряженность которого нормальна к плоскости датчика. Схема и обозначения показаны на рис. 1.

Прежде чем излагать приближенное решение этой задачи, обратим внимание на

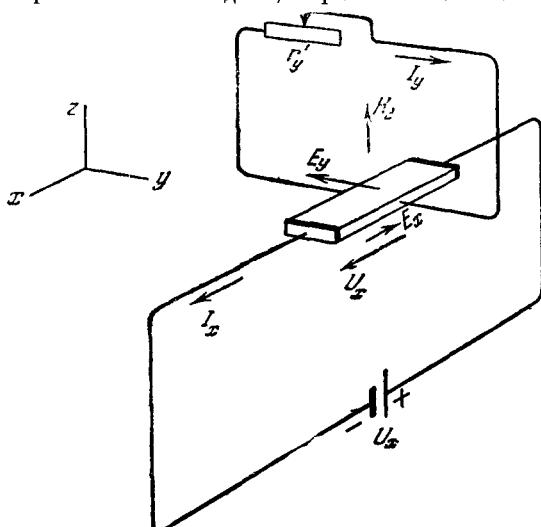


Рис. 1.  $U_x$  — э. д. с. источника, внутреннее сопротивление которого мало и не учитывается;  $E_x$  — вторичная э. д. с. Холла;  $E_y$  — первичная э. д. с. Холла;  $H_z$  — напряженность магнитного поля;  $I_x$  и  $I_y$  — установившиеся токи в цепях источника и э. д. с. Холла соответственно;  $r'_y$  — внешнее сопротивление в цепи Холла. Стрелками указаны направления э. д. с. и токов.

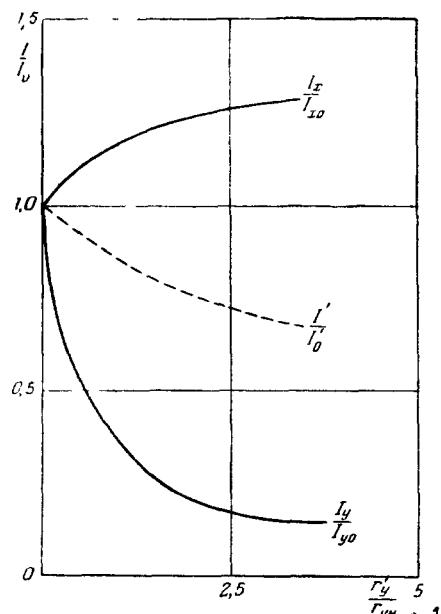


Рис. 2. Влияние сопротивления  $r'_y$  на токи в цепях датчика Холла.  $r_y$  и  $r'_y$  — внутреннее и внешнее сопротивления в цепи поперечных электродов;  $I_x$  и  $I_y$  — токи в цепях  $x$  и  $y$  при  $r'_y > 0$ ;  $I_{y0}$  и  $I_{x0}$  — токи в тех же цепях при  $r'_y = 0$ .

то, что датчик Холла, помещенный в магнитное поле согласно рис. 1, рассматривается как пассивный четырехполюсник, в котором нарушается принцип взаимности<sup>1</sup>. Решение нашей задачи приводит к нарушению еще одной закономерности, определяющей свойства пассивного четырехполюсника. Это нарушение состоит в том, что изме-

нение тока и полезной мощности в цепи поперечных электродов датчика Холла (выходной контур четырехполюсника) всегда вызывает противоположное по знаку изменение этих величин в цепи источника тока (входной контур четырехполюсника). Такая зависимость невозможна в пассивном четырехполюснике или в любой электрической цепи с линейными элементами. Явление, приводящее к указанному нарушению, мы называли гальваномагнитным «парадоксом».

На рис. 2 показаны экспериментальные кривые, иллюстрирующие описанное явление, полученные с датчиком из InSb ( $Q \approx 5 \cdot 10^{-3} \text{ ом} \cdot \text{см}$ ) при  $H_z = 10^4 \text{ э}$ . Пунктиром показана примерная зависимость тока во входном контуре от сопротивления цепи выхода для любой электрической цепи с линейными элементами. На первый взгляд кажется парадоксальным тот факт, что уменьшение тока в цепи поперечных электродов всегда вызывает увеличение тока в цепи токоподводящих электродов, т. е. в цепи источника тока, единственного в этой схеме.

Качественное решение задачи нетрудно уяснить из следующего. При замыкании цепи поперечных электродов в датчике появляется составляющая тока  $I_y$ , вызванная э. д. с. Холла  $E_y$ , направленной параллельно оси  $y$ . Ток  $I_y$ , взаимодействуя с тем же

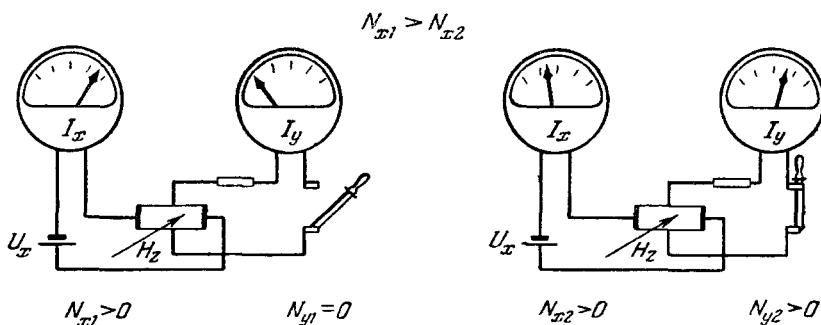


Рис. 3. Демонстрация гальваномагнитного «парадокса». При замыкании цепи выхода мощность и ток в цепи входа уменьшаются.  $N_{x1}$  и  $N_{y1}$  — мощности в цепях  $x$  и  $y$  при разомкнутой цепи поперечных электродов;  $N_{x2}$  и  $N_{y2}$  мощности в тех же цепях при замкнутой цепи поперечных электродов.

магнитным полем  $H_z$ , возбуждает вторичную э. д. с. Холла  $E_x$ , направленную вдоль оси  $x$ <sup>2</sup>. Рассмотрение направлений токов, магнитных сил Лоренца, первичной и вторичной э. д. с. Холла по осям  $y$  и  $x$  и сопоставление направлений вторичной э. д. с. Холла и падения напряжения на датчике, созданного источником тока, приводит к следующему правилу: в первичная э. д. с. Холла всегда направлена противоположно внешнему приложенному напряжению. Это правило раскрывает сущность гальваномагнитного «парадокса» и по-новому однозначно определяет направления двух величин при заданной третьей:  $I_x$ ,  $E_y$  и  $H_z$ . Оно справедливо как для электронной, так и для дырочной проводимости в цепях постоянных и переменных токов и магнитных полей. Правило лежит в основе определения дополнительного изменения сопротивления полупроводников в магнитном поле, вызванного действием вторичной э. д. с. Холла<sup>2</sup>.

Зависимость тока в цепи токоподводящих электродов от сопротивления внешней цепи поперечных электродов легко найти, приняв во внимание, что действующая э. д. с. равна разности э. д. с. источника и вторичной э. д. с. Холла, и учесть изменение сопротивления цепей датчика, вызванное действием магнитного поля. Выполнив простейшие преобразования, получим

$$I_x = \frac{U_x}{r_{xH} + \frac{kR^2 H_z^2}{d(r_{yH} + r'_y)}}.$$

Здесь  $r_{xH}$  — сопротивление датчика вдоль оси  $x$  в магнитном поле напряженностью  $H_z$ ,  $r_{yH}$  — то же, но вдоль оси  $y$ ,  $R$  — коэффициент Холла,  $k$  — поправочный коэффициент, зависящий от соотношения сторон датчика,  $d$  — размер датчика в направлении оси  $z$ . Остальные обозначения как и на рис. 1.

На рис. 3 показано, как демонстрировать гальваномагнитный «парадокс». Здесь положение стрелок на приборах, а также символы отражают сущность явления. Для успешной демонстрации опыта необходимо применить датчик с высокой подвижностью

носителей, например из  $\text{InSb}$ , а в качестве измерителей тока — миллиамперметры с возможно меньшим внутренним сопротивлением. В нашем случае применены профильные милливольтметры типа МПБ-46, шунтированные фехралевой проволокой длиной 10 см и диаметром 1,5 мм. В такой установке замыкание цепи поперечных электродов вызывает уменьшение тока в цепи источника приблизительно на 40% всей шкалы прибора.

*B. B. Серков*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Жузе, Полупроводники в науке и технике, т. 1, М., Изд-во АН СССР, 1957 стр. 408.
2. В. В. Серков, Автоматика и телемеханика 23 (3), 383 (1962).