

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

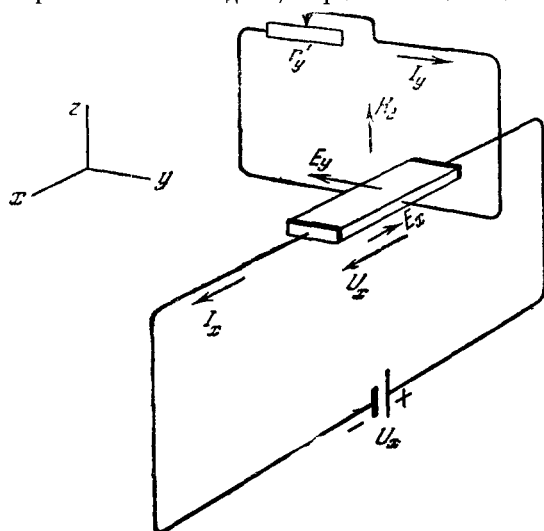


Рис. 1. U_x — э. д. с. источника, внутреннее сопротивление которого мало и не учитывается; E_x — вторичная э. д. с. Холла; E_y — первичная э. д. с. Холла; H_x — напряженность магнитного поля; I_x и I_y — установившиеся токи в цепях источника и э. д. с. Холла соответственно; r'_y — внешнее сопротивление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

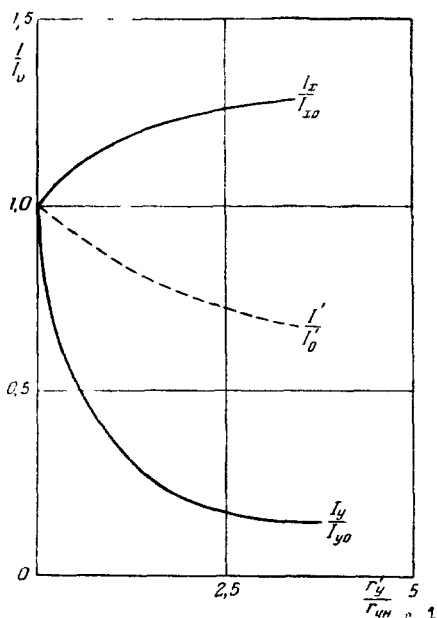


Рис. 2. Влияние сопротивления r'_y на токи в цепях датчика Холла. r_y и r'_y — внутреннее и внешнее сопротивления в цепи поперечных электродов; I_x и I_y — токи в цепях x и y при $r'_y > 0$; I_{y0} и I_{x0} — токи в тех же цепях при $r'_y = 0$.

то, что датчик Холла, помещенный в магнитное поле согласно рис. 1, рассматривается как пассивный четырехполюсник, в котором нарушается принцип взаимности¹. 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 назвали гальваномангнитным «парадоксом».

На рис. 2 показаны экспериментальные кривые, иллюстрирующие описанное явление, полученные с датчиком из InSb ($\rho \approx 5 \cdot 10^{-3}$ ом·см) при $H_z = 10^4$ 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

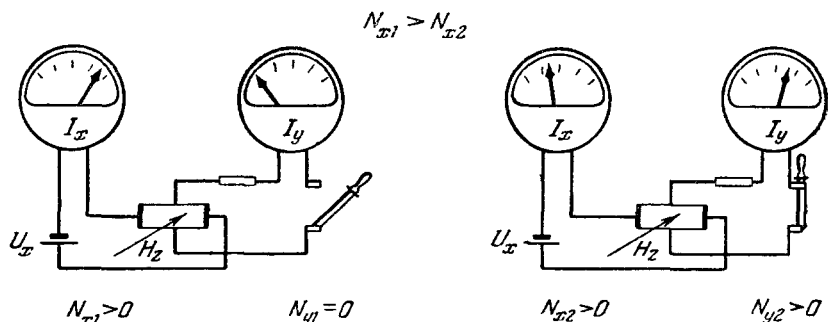


Рис. 3. Демонстрация гальваномангнитного «парадокса». При замыкании цепи выхода мощность и ток в цепи входа уменьшаются. N_{x1} и N_{y1} — мощности в цепях x и y при разомкнутой цепи поперечных электродов; N_{x2} и N_{y2} мощности в тех же цепях при замкнутой цепи поперечных электродов.

магнитным полем H_z , возбуждает вторичную э. д. с. Холла E_x , направленную вдоль оси x ². 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: вторичная э. д. с. Холла всегда направлена противоположно внешнему приложенному напряжению. Это правило раскрывает сущность гальваномангнитного «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. Холла².

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. Выполняя простейшие преобразования, получим

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

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 гальваномангнитный «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 InSb, а в качестве измерителей тока — миллиамперметры с возможно меньшим внутренним сопротивлением. В нашем случае применены профильные милливольтметры типа МПБ-46, шунтированные фехральной 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.

В. В. Серков

ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Ж у з е, Полупроводники в науке и технике, т. 1, М., Изд-во АН СССР, 1957 стр. 408.
2. В. В. С е р к о в, Автоматика и телемеханика 23 (3), 383 (1962).