

Ю. М. ПАНЧИШИН

(Киев)

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТА ХОЛЛА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КОМПАРАТОРОВ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

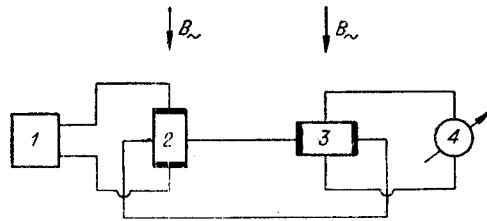
В последнее время для построения измерителей индукции переменных магнитных полей широкое применение находят гальваномагнитные эффекты. Использование датчиков магнитосопротивления с квадратичной зависимостью приращения сопротивления позволяет создать довольно простые измерители, предназначенные для определения переменных магнитных полей в широком частотном диапазоне. Кроме того, в таких устройствах для коррекции погрешностей, обусловленных временной и температурной нестабильностью элементов схемы и параметров преобразователей, могут быть применены методы образцовых сигналов, причем в качестве последних можно использовать индукцию постоянного магнитного поля, которая может быть определена весьма точно. Использование датчиков магнитосопротивления в компараторах магнитной индукции, в которых применяется метод сравнения переменной измеряемой индукции и образцовой, позволяет значительно уменьшить погрешности измерения [1]. Однако относительно высокие значения температурных коэффициентов сопротивления материалов, из которых изготовлены преобразователи, могут несколько ограничить применение датчиков магнитосопротивления в настоящее время. Например, температурный коэффициент сопротивления датчиков из арсенида индия, серийно выпускаемых отечественной промышленностью, в лучшем случае составляет  $(0,05 \text{--} -0,1) \% \cdot 1^\circ \text{C}$ ; при этом необходимо учитывать, что приращение сопротивления не превышает 5—10%, а погрешность, обусловленная отступлением характеристики датчика от квадратичной, менее 0,2%.

Датчики Холла довольно часто используются в качестве преобразователей в измерителях индукции переменных магнитных полей. Однако описанные в литературе устройства не отличаются высокой точностью, а также имеют сравнительно узкий частотный диапазон, который обусловлен влиянием паразитной индукционной наводки. Для компенсации последней могут быть применены известные способы, заключающиеся во введении в выходную цепь дополнительного напряжения, в использовании специальных выводов и дополнительных контуров [2].

Другим путем для расширения частотного диапазона устройств, основанных на применении эффекта Холла, является построение таких измерителей индукции переменных магнитных полей, которые обладают фазочувствительными свойствами. На этом принципе в Институте элект-

родинамики АН УССР разработан измеритель переменной магнитной индукции, предназначенный для использования в широком диапазоне частот.

В измерителе индукции (см. рисунок) используются два датчика Холла, помещаемых в измеряемое магнитное поле, причем первый из них (2) подключен к стабилизированному источнику постоянного тока



(1), а его выходные электроды соединены со входными второго датчика Холла (3). При таком построении схемы второй датчик выполняет роль фазочувствительного элемента, на вход которого подаются находящиеся в квадратуре напряжения (одно из них пропорционально постоянной Холла, току питания и измеряемой

индукции, второе представляет собой паразитную индукционную наводку), и его управляющим сигналом является индукция переменного магнитного поля. Если к холловским электродам второго датчика подключен индикатор магнитоэлектрической системы (4), реагирующий на постоянную составляющую выходного напряжения, то отклонение его подвижной системы можно представить в виде

$$\alpha = S k_1 \frac{R_{x1} R_{x2}}{d_1 d_2} I_1 B_x^c \quad (1)$$

где  $S$  — чувствительность выходного индикатора;  $k_1$  — коэффициент преобразования выходного напряжения в ток питания второго датчика;  $R_{x1}$ ,  $d_1$ ,  $R_{x2}$ ,  $d_2$  — параметры датчиков;  $I_1$  — ток питания первого датчика;  $B_x^c$  — действующее значение индукции переменного магнитного поля.

Так как постоянная составляющая напряжения второго датчика Холла пропорциональна квадрату магнитной индукции, то это обстоятельство позволяет использовать такие устройства для построения компараторов магнитной индукции. Возможность создания таких устройств следует из сравнения выходных напряжений второго датчика при воздействии индукции переменного и постоянного магнитных полей. В последнем случае выходное напряжение второго датчика Холла при скомпенсированном известными способами напряжении, обусловленном неэквивалентностью припайки электродов, может быть описано следующим образом:

$$e_{x2} = k_1 \frac{R_{x1} R_{x2}}{d_1 d_2} I_1 B^2 \quad (2)$$

где  $B$  — индукция постоянного магнитного поля. Из выражений (1) и (2) следует, что при использовании метода одновременного сравнения в компараторах магнитной индукции, основанных на применении эффекта Холла, действующее значение индукции переменного магнитного поля равно индукции постоянного магнитного поля.

Построение компараторов магнитной индукции можно осуществить и при питании первого датчика переменным током. В этом случае для выделения полезного сигнала, пропорционального квадрату магнитной индукции, необходимо использовать избирательный усилитель, который настроен на частоту тока питания. Для удовлетворительного подавления наводок и других паразитных сигналов, как показывает анализ

спектрального состава колебаний на выходе второго датчика Холла, частоту тока питания датчика следует выбирать как можно меньше.

Следует отметить, что построение компараторов магнитной индукции, основанных на методе сравнения индукции переменного и образцового магнитных полей, возможно при использовании одного датчика Холла и квадратичного преобразователя (например, термоэлектрического), однако такие устройства характеризуются узким частотным диапазоном, который ограничивается влиянием паразитной индукционной наводки.

Рассмотрим некоторые особенности компараторов, обусловленные применением датчиков Холла. В [3] показано, что постоянная Холла (или подвижность носителей) при определенной ориентации плоскости датчика по отношению к направлению кристаллографических осей зависит от направления магнитного поля. В этом случае среднее значение э. д. с. Холла второго датчика определяется выражением

$$e_{x\text{ср}} = \frac{k_1 I_1 B_x^2}{2 d_1 d_2} (R'_{x1} R'_{x2} + R''_{x1} R''_{x2}),$$

где  $R'_{x1}$ ,  $R''_{x1}$  — значения постоянных Холла при разных направлениях магнитного поля.

Пропорциональность выходного напряжения полусумме произведений постоянных Холла обоих датчиков обуславливает необходимость градуировки измерителей при двух направлениях постоянного магнитного поля. В том случае, когда градуировка устройства проведена при одной полярности поля, погрешность измерения переменной магнитной индукции  $\delta_b$  может быть представлена в виде

$$\delta_b = \frac{R'_{x1} R'_{x2} - R''_{x1} R''_{x2}}{R'_{x1} R'_{x2} + R''_{x1} R''_{x2}}.$$

При усилении выходного сигнала первого датчика и наличии фазовых искажений на выходе второго датчика возникает дополнительное постоянное напряжение. Относительная погрешность измерения индукции переменного поля  $\delta\varphi$  в этом случае может быть записана следующим образом:

$$\delta\varphi = \cos\varphi - 1 \mp \frac{k_2 \omega \sin\varphi}{\frac{R_{x1}}{d_1} I_1},$$

где  $\varphi$  — угол сдвига фаз входного и выходного напряжений усилителя;  $k_2$  — коэффициент пропорциональности. Из этого выражения значение частоты магнитного поля, при которой погрешность, обусловленная наличием фазовых искажений, будет скомпенсирована, может быть определено по формуле

$$\omega_0 = \frac{1 - \cos\varphi}{\sin\varphi} \frac{R_{x1} I_1}{k_2 d_1}.$$

От указанной погрешности можно избавиться, если соединить непосредственно выход первого и вход второго датчиков. Однако в этом случае необходимо учитывать влияние эффекта магнитосопротивления, который может привести к нарушению квадратичной зависимости выходного напряжения от индукции магнитного поля. Для уменьшения этого влияния необходимо подбирать геометрические размеры так, чтобы при увеличении магнитного поля эффект магнитосопротивления компенсировался дополнительным возрастанием э. д. с. Холла [4].

В компараторах магнитной индукции, основанных на использовании эффекта Холла, в качестве образцового магнитного поля, с индукцией которого сравнивается измеряемая переменная магнитная индукция, может быть использовано любое магнитное поле; важно только, чтобы индукция его была определена с высокой точностью. В случае постоянных магнитных полей это возможно при использовании измерителей, основанных на применении эффекта ядерного магнитного резонанса (погрешность определения индукции магнитного поля не превышает 0,01% при малых неоднородностях магнитного поля). В качестве образцового переменного магнитного поля может быть использовано поле, создаваемое в соленоиде при питании от источника переменного тока низкой частоты. Применение образцового магнитного переменного поля при питании первого датчика Холла постоянным током позволяет использовать широкополосные усилители переменного тока вместо усилителей постоянного тока, которые обладают значительными недостатками.

Таким образом, измерение индукции переменных магнитных полей с помощью новых схем, обладающих фазочувствительными свойствами, и использование метода сравнения переменной индукции с образцовой значительно повышает точность и расширяет частотный диапазон приборов, основанных на эффекте Холла.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Е. А. Андриевский, Ю. М. Панчишин, С. Г. Гаранов. Использование эффекта магнитосопротивления для измерения индукции переменных магнитных полей.— В сб. «Повышение точности и автоматизация электрических и магнитных измерительных устройств». Киев, «Наукова думка», 1968.
2. М. Е. Мазуров. Электронные устройства с датчиками Холла и магнитосопротивления.— Обзор иностранных изобретений. М., ЦНИИПИ, 1965.
3. С. Г. Гаранов. Исследование схем с датчиками Холла для магнитных измерений. Автореферат дисс. [Б. г.], 1964.
4. В. Н. Богомолов. Устройства с датчиками Холла и датчиками магнитосопротивления. М., Госэнергоиздат, 1961.

*Поступила в редакцию  
22 апреля 1969 г.,  
окончательный вариант —  
25 сентября 1969 г.*