

Ю. М. ПАНЧИШИН

(Киев)

**ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ УМЕНЬШЕНИЯ  
АДДИТИВНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОГРЕШНОСТИ  
В УСТРОЙСТВАХ С ДАТЧИКАМИ МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИЯ**

В умножителях электрических сигналов, компараторах магнитной индукции (предназначенных для точного определения индукции переменного магнитного поля путем сравнения ее с эквивалентной ей индукцией постоянного поля), измерителях мощности, перемещений, индукции постоянных магнитных полей и в других устройствах широкого применения в качестве преобразователей находят датчики магнитосопротивления, которые при определенных условиях обладают квадратичной зависимостью приращения сопротивления от индукции магнитного поля. Датчик магнитосопротивления чаще всего включается в одно из плеч мостовой схемы, подключенной к источнику тока. Если мостовую схему в исходном состоянии уравновесить, то появляющееся под действием магнитной индукции приращение сопротивления датчика приведет к возникновению выходного напряжения, на которое реагирует измерительный прибор. Кроме напряжения, пропорционального индукции магнитного поля, на выходе мостовой схемы может появляться напряжение, которое обусловлено температурной нестабильностью удельного сопротивления материала датчика. При отсутствии магнитного поля эта температурная нестабильность вызывает уход нуля измерителя и появление так называемой аддитивной погрешности [1].

Особенно сильно влияние температурной нестабильности нуля сказывается в перечисленных выше устройствах вследствие того, что приращение сопротивления датчика пропорционально квадрату произведения подвижности носителей полупроводникового материала датчика и индукции магнитного поля, а квадратичность характеристики датчика соблюдается при малых произведениях указанных величин. Поэтому приращение сопротивления датчика не превышает 3—5% от начального сопротивления при отсутствии индукции магнитного поля. Совершенно очевидно, что для получения высокой точности измерения должны использоваться датчики магнитосопротивления с минимальными значениями температурных коэффициентов сопротивления.

Следует отметить, что температурная нестабильность параметров датчиков магнитосопротивления вызывается температурными нестабильностями как удельного сопротивления материала (аддитивная составляющая погрешности), так и подвижности носителей (мультипликативная

составляющая погрешности). Однако погрешность измерения, вызванная первой причиной, намного превышает другие, поэтому повышение точности измерения при использовании датчиков магнитосопротивления в первую очередь должно быть связано именно с уменьшением влияния температурной нестабильности удельного сопротивления. В решении этого вопроса немалую роль играют технологические особенности изготовления датчиков магнитосопротивления, а именно: выбор определенной концентрации примесей, при которой температурный коэффициент сопротивления близок к нулю [2].

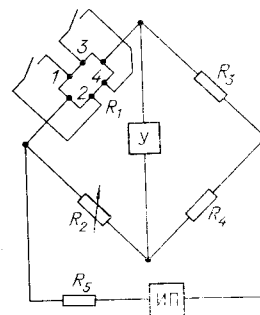
Другим путем уменьшения влияния температурной нестабильности удельного сопротивления является применение метода составных параметров [3]. При этом в схему измерительного устройства включается дополнительный преобразователь, зависимость одного из параметров которого от нежелательного фактора (изменения температуры) аналогична такой же зависимости основного датчика. В качестве дополнительного может быть использован датчик, который включается в одно из плеч мостовой схемы. Если оба датчика идентичны, то изменение температуры окружающей среды не нарушит равновесия мостовой схемы и не вызовет ухода нуля выходного прибора. К недостаткам измерителей индукции (как и других устройств), которые используют метод составных параметров, относятся необходимость проверки и установки нуля выходного индикатора; наличие дополнительного датчика, который должен быть идентичным (в температурном отношении) основному датчику; а также практическая невозможность обеспечения одинакового температурного режима обоих датчиков. Отметим, что коррекция нуля в устройствах с датчиками магнитосопротивления при использовании метода составных параметров осуществляется в отсутствие магнитной индукции.

Значительный интерес представляет создание таких приборов, в которых уменьшение аддитивной составляющей погрешности осуществляется в измеряемом магнитном поле. Для уменьшения аддитивной составляющей погрешности устройств с датчиками магнитосопротивления может быть использовано то обстоятельство, что эффект магнитосопротивления датчика произвольной формы зависит от электрического поля э. д. с. Холла [4]. Если датчик магнитосопротивления снабдить одной или несколькими парами дополнительных электродов, то при воздействии магнитного поля на последних возникает э. д. с. Холла, величина которой зависит от значения сопротивления, подключенного к этим дополнительным электродам. В свою очередь от величины э. д. с. Холла (или от сопротивления нагрузки, что то же самое) зависит эффект изменения сопротивления датчика. Таким образом, при разных значениях сопротивления нагрузки, подключенной к дополнительным электродам, величина эффекта магнитосопротивления датчика при одном и том же значении индукции магнитного поля будет различной. Эти обстоятельства были положены в основу способа уменьшения аддитивной составляющей погрешности, вызванной температурной нестабильностью удельного сопротивления датчика и приводящей к уходу нуля выходного прибора. Сущность способа заключается в том, что измеряемую индукцию магнитного поля (или другую величину преобразуемую в магнитную индукцию) определяют не по приращению сопротивления датчика, как это делается обычно [5], а по разнице приращений сопротивлений датчика, снабженного одной или несколькими парами дополнительных электродов.

Если датчик магнитосопротивления находится в магнитном поле, а его дополнительные электроды разомкнуты, то приращение сопротив-

ления определяется зависимостью электропроводности материала датчика от индукции магнитного поля и влиянием геометрических размеров. Конкретные значения приращения сопротивления в зависимости от геометрических размеров датчика, индукции магнитного поля и характеристик материала могут быть определены, согласно выражениям, приведенным в [6]. Влияние геометрических размеров проявляется вследствие того, что, чем ближе токовые электроды друг к другу (т. е. чем короче датчик), тем больше нагружается источник э. д. с. Холла [4]. Очевидно, что если датчик снабдить парой дополнительных электродов, расположенных на серединах боковых сторон, и их замкнуть накоротко, то эффект магнитосопротивления увеличится. Если сопротивление датчика, которое он имеет в первом случае при разомкнутых дополнительных электродах, условно принять за нуль и относительно его определить приращение сопротивления датчика в том же магнитном поле, но при другой нагрузке на дополнительные электроды (равной нулю), то влияние температурной нестабильности электропроводности датчика будет существенно уменьшено. При этом необходимо, чтобы измерение приращения сопротивления было осуществлено в течение такого промежутка времени, за который температурный режим датчика не изменится, что практически легко выполнить.

Для осуществления описанного выше способа уменьшения аддитивной составляющей погрешности, обусловленной температурной нестабильностью электропроводности материала датчика магнитосопротивления, может быть применена мостовая схема, в одно из плеч которой включен датчик магнитосопротивления с дополнительными электродами (см. рисунок). В качестве такого датчика может быть использован обычный датчик Холла, изменение сопротивления которого определяется между токовыми электродами, а холловские выводы используются в качестве дополнительных электродов. Определение измеряемой магнитной индукции проводят в следующем порядке. В исходном состоянии, когда датчик помещен в измеряемое поле и дополнительные электроды 1—2 и 3—4 разомкнуты, мостовая схема уравнивается путем изменения сопротивления одного из плеч. При замыкании дополнительных электродов (вследствие изменения эффекта магнитосопротивления датчика) на выходе мостовой схемы появляется напряжение, регистрируемое индикатором, отклонение подвижной системы которого пропорционально измеряемой величине.



Для оценки эффективности применения изложенного выше способа уменьшения аддитивной составляющей погрешности были проведены экспериментальные исследования датчиков магнитосопротивления (характеристики одного из них следующие: материал — InAs, геометрические размеры  $1,5 \cdot 10^{-3} \times 1,0 \cdot 10^{-3} \times 0,2 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>, начальное сопротивление  $R(0) = 3,1218$  Ом, температурный коэффициент сопротивления  $0,1\%/^{\circ}\text{C}$ . Разностное приращение сопротивления такого датчика в магнитном поле, индукция которого равна  $0,1409$  Т, составляет  $0,0291$  Ом, а обычное приращение сопротивления  $\Delta R = 0,0635$  Ом (при  $B = 0,1644$  Т соответственно имеем  $0,0396$  и  $0,0859$  Ом). Результаты экспериментальных исследований показывают, что при изменении температуры окружающей среды на  $10^{\circ}\text{C}$  и воздействии магнитного поля  $B = 0,1409$  Т приращение падения напряжения на датчике магнитосопротивления увеличивается более чем в два раза по сравнению с таким же в нормаль-

ных условиях, в то время как приращение падения напряжения датчика с дополнительными электродами изменяется только на 5—7%.

Следует отметить, что описанный выше способ коррекции нуля в устройствах с датчиками магнитосопротивления также может быть использован и в тех случаях, когда датчики находятся в сильных магнитных полях, т. е. когда зависимость приращения сопротивления от магнитной индукции линейна.

Таким образом, использование датчиков магнитосопротивления с дополнительными электродами и определение измеряемой величины по разностному эффекту магнитосопротивления позволяют уменьшить температурную нестабильность нулевого сигнала и вследствие этого повысить точность измерения и расширить динамический диапазон в сторону меньших значений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. П. В. Новицкий. Основы информационной теории измерительных устройств. Л., «Энергия», 1968.
2. А. П. Щелкин, В. Г. Савенко. Разработка и исследование температурностабильных преобразователей.— Материалы III научно-технического совещания по проблемам магнитных измерений и магнитоизмерительной аппаратуры. Л., 1968.
3. М. А. Земельман. Общие принципы повышения точности измерительных устройств.— Измерительная техника, 1968, № 5.
4. В. Н. Богомолов. Устройство с датчиками Холла и датчиками магнитосопротивления. М., Госэнергонздат, 1961.
5. М. Е. Мазуров. Электронные устройства с датчиками Холла и датчиками магнитосопротивления.— Обзор иностранных изобретений. М., ЦНИИПИ, 1965.
6. H.—J. Lippmann, F. Kuhrt. Der Geometrieinflus auf den transversalen magnetischen Widerstandseffekt bei rechteckförmigen Halbleiterplatte.—Z.f.N., 1958, Bd. 13A.

*Поступила в редакцию  
2 июня 1970 г.*