

Магнитометры на эффекте Холла

Игорь Буслов, Валерий Бауткин, Александр Драпезо, Николай Слободжанюк, Андрей Лукьянов, Вячеслав Ярмолович (г. Минск, Беларусь)

В статье описаны принципы функционирования и приведены технические характеристики магнитометров МПЧ-01 и МИН-01, включающих трёхкоординатные первичные преобразователи магнитного поля на эффекте Холла.

Современная среда существования человека насыщена техногенными электромагнитными полями (ЭМП) широкого спектрального диапазона (это без специально генерируемых ЭМП). Эти поля появились в окружающей среде как побочный продукт электрической энергии, повсеместно используемой в промышленности и быту. Как установлено многими исследователями, люди расплачиваются своим здоровьем за комфорт и удобства, которые создаются с помощью этого вида энергии. У животных и людей, длительно находившихся в ЭМП, напряжённость которых превышала напря-

жённость природных ЭМП, увеличилась агрессивность, ухудшилось состояние иммунной системы, возросла частота возникновения злокачественных опухолей, выявлены признаки ускоренного старения и т.д. Как следствие, были разработаны и введены СанПиНы и другие нормативные документы, ограничивающие пребывание людей в зонах воздействия ЭМП.

Следует отметить, что в XX в. напряжённость ЭМП в окружающей среде нарастала постепенно, и люди привыкли не обращать на это внимания. Значительная часть информации о влиянии ЭМП на биосистемы различного уровня была предназначена только для служебного пользования. Здесь в первую очередь имеется в виду разработка новых видов оружия на основе воздействия электромагнитного излучения на человека. ЭМП сверхдлинного диапазона частот 0,001...100 Гц могут применяться для воздействия на мозг человека и сердце. Электромагнитные волны в диапазоне 100...1000 Гц могут применяться для воздействия на мышечные ткани. Известны разработки оружия, функционирующего в СВЧ-диапазоне. В США первыми стали использовать экранированные комнаты для переговоров. Экранированные комнаты в служебных зданиях и личных домах – это сегодняшняя реальность в США. Около 5% дохода фирм в США тратится на эти цели.

Так негативное влияние постоянного магнитного поля на человека сказывается не только при превышении напряжённости магнитного поля над естественной для данной местности, но и при его ослаблении, например, вследствие экранирующего воздействия ферромагнитных конструкций зданий.

Методы учёта магнитного поля Земли и средства измерения таких магнит-

ных полей, называемых гипогомагнитными, приведены в ГОСТ Р 51724-2001 «Экранированные объекты, помещения, технические средства, поле гипогомагнитное, методы измерений и оценки соответствия уровней полей техническим требованиям и гигиеническим нормативам» (приложение Б). Поэтому задача анализа магнитного фона в помещении остаётся актуальной.

В Российской Федерации в настоящее время разработаны и серийно выпускаются приборы для контроля уровней электромагнитных полей и метрологического обеспечения этих средств измерений. К ним относятся: измеритель напряжённости магнитного поля промышленной частоты ПЗ-50Б, измеритель магнитной индукции промышленной частоты ИМП-50 (изготовитель ВНИИОФИ, г. Москва), миллитеслометр портативный ТП2-2У (выпускается по ТУ 4222-001-42294748-97 в п/о Менделеево МЦРМИ ГП «ВНИИФТРИ»). В реестре РФ средств измерений и контроля уровней электромагнитных полей присутствует более 30 наименований приборов, выпускаемых в России.

Приборы электромагнитного мониторинга, выпускаемые фирмами дальнего зарубежья, в несколько раз дороже, чем российские, и соответствуют требованиям и нормативной документации этих стран. Например, в Германии выпускается анализатор переменного магнитного поля EFA-1 (фирма Wandel & Goltermann), в Японии – измеритель магнитных полей 3470 (фирма Hioki).

Следует отметить, что в Республике Беларусь и в России действуют близкие Санитарные нормы и правила, ГОСТы и другие нормативные документы. Однако выполнение законодательства в этой области затруднено из-за высокой стоимости средств электромагнитного мониторинга зарубежных производителей, а также проблем, связанных с метрологическим обеспечением и ремонтом этих средств измерений. Поэтому целесообразным и логичным решением является разработка и организация про-

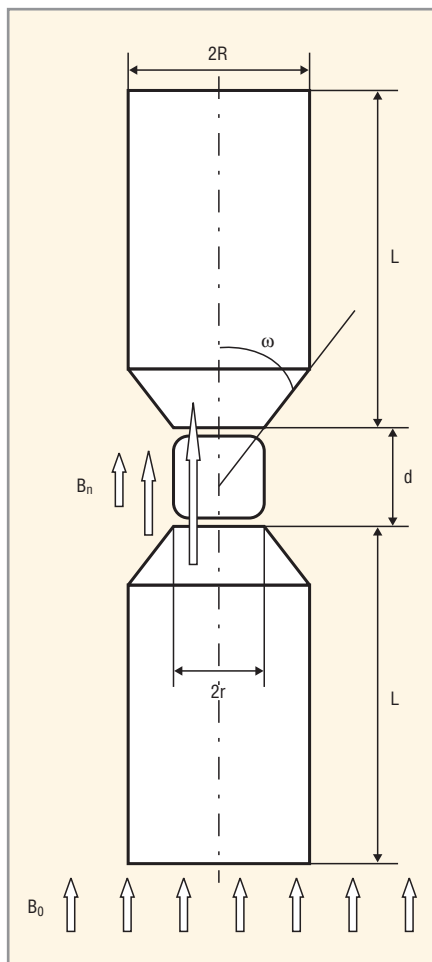


Рис. 1. Особенности конструкции прибора МПЧ-01

мышленного выпуска отечественных магнитометров и обеспечение их средствами метрологической аттестации и соответствующей ремонтной базой.

Рассмотрим особенности конструкции и основные технические характеристики прибора МПЧ-01 [1]. Он имеет измерительный блок и два выносных трёхкоординатных первичных преобразователя магнитного поля (МП) на основе трёх элементов Холла, расположенных в ортогональных плоскостях [2]. Трёхкоординатные первичные преобразователи МП закреплены на соответствующих штангах с рукоятками и имеют разную чувствительность к магнитному полю. Высокочувствительный первичный преобразователь МП отличается от первич-

ного преобразователя МП тем, что три элемента Холла вставлены в узкие зазоры ферромагнитных концентраторов магнитного потока (см. рис. 1).

Используя явление концентрации магнитного потока магнитомягкими ферромагнитными телами определённых геометрических форм, можно на два-три порядка увеличить магнитную чувствительность без ухудшения шумовых характеристик и временной стабильности [3]. Анализ полученных расчётных данных [4] указывает, что оптимальным является диапазон угла ω , равный $17,5...22,5^\circ$, что соответствует величине угла при вершине конуса $2\omega = 35...45^\circ$.

Прибор изготавливается в виде базовой модели МПЧ-01, предназначен-

ной для измерения напряжённости постоянного магнитного поля (МП) в диапазоне $0,01...100$ мТл и переменного магнитного поля частотой 50 ± 2 Гц в диапазоне $0,01...10,0$ мТл. Основные технические характеристики МПЧ-01 приведены в таблице 1. Прибор питается от четырёх элементов типоразмера ААА (аккумуляторов с номинальным напряжением 1,2 В или щелочных батарей с номинальным напряжением 1,5 В).

При измерении индукции магнитного поля, модуль которой превышает верхний предел диапазона измерений, вместо текущего показания на индикаторном табло прибора отображаются цифры 999. По истечении 5 мин после прекращения работы (по-

Таблица 1. Технические характеристики прибора МИН-01

Наименование параметра	Значение параметра
Рабочий диапазон температур окружающей среды, °С	-10...40
Допустимая относительная влажность окружающей среды, не более, %	95
Допустимый диапазон атмосферного давления, кПа	84,0...106,7
Требования к внешним воздействующим факторам	Не допускается выпадение росы, инея, атмосферных осадков, попадание прямого солнечного излучения
Диапазон измеряемой напряжённости постоянного магнитного поля, мТл: – высокочувствительным первичным преобразователем МП – первичным преобразователем МП	0,01...0,99 1,0...99,9
Диапазон измеряемой напряжённости переменного магнитного поля частотой 50 ± 2 Гц, мТл – высокочувствительным первичным преобразователем МП – первичным преобразователем МП	0,01...0,99 1,0...9,9
Пределы допускаемой погрешности: – при измерении напряжённости постоянного магнитного поля в диапазоне 0,01...100 мТл – при измерении напряжённости переменного магнитного поля частотой от 50 ± 2 Гц в диапазоне 0,01...10,0 мТл	±10% ±10%
Время одного измерения, не более, с	1,0
Время непрерывной работы, не менее, ч	8,0
Время установления рабочего режима, не более, с	60
Ток потребления, не более, мА	90,0
Рабочий диапазон напряжения питания, В	4,3...6,5
Габариты: – электронного блока, не более, мм – первичного высокочувствительного преобразователя магнитного поля, не более, мм – первичного преобразователя магнитного поля, не более, мм	150 × 80 × 32 Ø 59 × 400 Ø 33 × 410
Масса прибора без элементов питания, не более, кг	0,45

Таблица 2. Технические характеристики прибора МПЧ-01

Наименование параметра	Значение параметра
Рабочий диапазон температур окружающей среды, °С	-10...40
Допустимая относительная влажность окружающей среды, не более, %	95
Допустимый диапазон атмосферного давления, кПа	84,0...106,7
Требования к внешним воздействующим факторам	Не допускается выпадение росы, инея, атмосферных осадков, попадание прямого солнечного излучения
Диапазон измеряемой напряжённости постоянного магнитного поля, мТл: – высокочувствительным первичным преобразователем МП – первичным преобразователем МП	0,01...0,99 1,0...99,9
Диапазон измеряемой напряжённости переменного магнитного поля частотой 50 ± 2 Гц, мТл – высокочувствительным первичным преобразователем МП – первичным преобразователем МП	0,01...0,99 1,0...9,9
Диапазон измеряемой напряжённости импульсных магнитных полей 50 ± 2 Гц, мТл	1,5...12,5
Пределы допускаемой погрешности: – при измерении напряжённости постоянного магнитного поля в диапазоне 0,01...100 мТл – при измерении напряжённости переменного магнитного поля частотой 50 ± 2 Гц в диапазоне 0,01...10,0 мТл – при измерении напряжённости импульсного магнитного поля частотой 50 ± 2 Гц в диапазоне 1,5...12,5 мТл	±5% ±5% ±5%
Время одного измерения, не более, с	1,0
Время непрерывной работы, не менее, ч	8,0
Время установления рабочего режима, не более, с	60
Ток потребления, не более, мА	200,0
Рабочий диапазон напряжения питания, В	4,3...6,5
Габариты: – электронного блока, не более, мм – первичного высокочувствительного преобразователя магнитного поля, не более, мм – первичного преобразователя магнитного поля, не более, мм	304 × 180 × 55 Ø59 × 400 Ø33 × 410
Масса прибора без элементов питания, не более, кг	0,45
Среднее время наработки на отказ T_0 , не менее, ч	5000
Средний срок службы, не менее, лет	10
Среднее время восстановления $T_в$, не более, ч	4,0

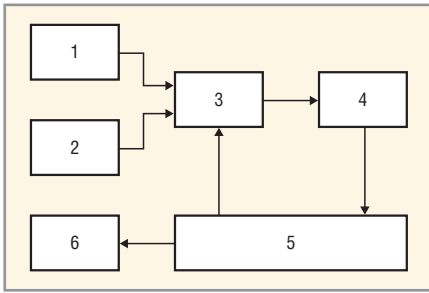


Рис. 2. Блок-схема прибора МПЧ-01

казания на индикаторном табло не изменяются) прибор выключается автоматически. Имеется возможность подключения к ПЭВМ по интерфейсу USB.

Для измерения компонентов (составляющих B_x , B_y и B_z) индукции постоянных и переменных магнитных полей используются три взаимно ортогональных элемента Холла, каждый из которых измеряет только одну из них. Затем встроенный в прибор микропроцессор вычисляет модуль индукции по формуле:

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}. \quad (1)$$

Устройство прибора (базовая модель МПЧ-01) иллюстрируется блок-схемой, изображённой на рисунке 2; фотография приведена на рисунке 3.

При помещении преобразователей в постоянное или переменное магнитное поле на выходе каждого из трёх элементов Холла 1 возникает сигнал, пропорциональный соответствующему компоненту индукции этого поля. Через блок ключей 3 сигнал поступает на усилитель 4, масштабирующий его до необходимой величины. Затем усиленный сигнал поступает на вход встроенного в микропроцессор 5 аналого-цифрового преобразователя и преобразуется в цифровой код. Полученный код микропроцессор пересчитывает в значение соответствующего компонента измеряемой индукции, а также вычисляет модуль индукции по формуле (1). На индикаторное табло 6 выводятся значения трёх компонентов и модуля магнитной индукции в мкТл или мТл.

Прибор МИН-01 [2] имеет измерительный блок и два выносных трёхкоординатных первичных преобразователя магнитного поля из магниточувствительных элементов Холла, также смонтированных на штангах в ортогональных плоскостях. В отличие от МПЧ-01, прибор МИН-01 обладает

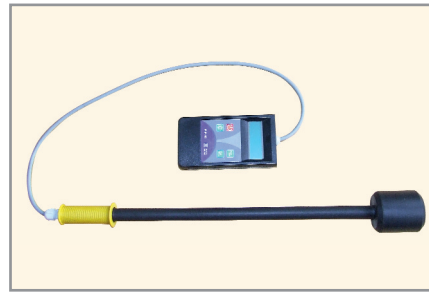


Рис. 3. Прибор МПЧ-01

расширенными функциональными возможностями. К ним относятся: ведение журнала измерений и сохранение результатов в памяти прибора в виде массива, с возможностью передачи полученных данных на ЭВМ для последующей обработки; отображение на большом графическом дисплее не только модуля измеренной величины магнитного поля, но и его формы и длительности (для импульсных магнитных полей), что облегчает обнаружение источника магнитного поля и в дальнейшем позволяет его экранировать.

Основные технические характеристики прибора МИН-01 приведены в таблице 2. Прибор изготавливается в виде базовой модели МИН-01 (см. рис. 4), предназначенной для измерения напряжённости постоянного магнитного поля в диапазоне 0,01...100 мТл и переменного магнитного поля частотой 50 ± 2 Гц в диапазоне 0,01...10,0 мТл и импульсного магнитного поля частотой 50 ± 2 Гц в диапазоне 1,5...12,5 мТл. Степень защиты МИН-01 от проникновения воды, пыли, внешних твёрдых предметов соответствует IP20 (ГОСТ 14254).

Прибор фиксирует значение модуля напряжённости магнитного поля как функцию времени на экране дисплея. Прибор измеряет амплитудные значения напряжённости импульсных магнитных полей (50 Гц) с характеристиками следующих импульсных режимов генерации ($\tau_{И}$ – длительность импульса, $t_{П}$ – длительность паузы между импульсами):

- режим I, $\tau_{И} = 0,02$ с и более, $t_{П} = 2$ с и менее;
- режим II, $\tau_{И}$ от 1 до 60 с, $t_{П}$ более 2 с;
- режим III, $\tau_{И}$ от 0,02 до 1 с, $t_{П}$ более 2 с.

Прибор питается от четырёх элементов типоразмера AA (аккумуляторов с номинальным напряжением 1,2 В или щелочных батарей с номинальным напряжением 1,5 В). Структурная схема и принцип функционирования аналогичны прибору МПЧ-01.



Рис. 4. Фотография прибора МИН-01

Следует отметить, что для разработанных приборов МИН-01 и МПЧ-01 использовались миниатюрные элементы Холла, выпускаемые ГО «НПЦ НАНБ по материаловедению» (г. Минск) по технологии гетероэпитаксиальных структур антимонида индия на полупроводнике арсениде галлия с высокой подвижностью носителей заряда n-типа [5]. Размер магниточувствительной области не превышает $50 \times 50 \times 6$ мкм, а самого элемента Холла – $0,5 \times 0,5$ мм. Магнитная чувствительность элементов Холла при управляющем токе 30 мА составляет не менее 250 мВ/Тл. Отличительной особенностью данных элементов Холла является высокая стабильность метрологических характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дранезо А.П., Соколов С.Н., Тарасевич С.В., Ярмолевич В.А. Приборы для мониторинга магнитного поля. Материалы Международной научно-технической конференции «Приборостроение – 2010». Минск, 2010.
2. Дранезо А.П., Соколов С.Н., Тарасевич С.В., Ярмолевич В.А. Трёхкомпонентный измерительный преобразователь слабых магнитных полей для мониторинга экологической обстановки объектов. Материалы Международной научно-технической конференции «Приборостроение – 2008». Минск, 2008. С. 81–82.
3. Ярмолевич В.А., Шилагарди Г., Прокошин В.И., Дранезо А.П., Цооху Х., Тимурбаев Д., Тувшинтур П. Основные концептуальные принципы проектирования сенсоров слабых магнитных полей на эффекте Холла. Физик № 309 (15) (Монголия). 2009.
4. Соколов С.Н., Тарасевич С.В., Дранезо А.П., Ярмолевич В.А. Магнитометр. Патент РБ на полезную модель № 6454 от 17.09.2009, опубл. 30.08.2010, МПК G01R33/00.
5. Прокошин В.И., Дранезо А.П., Ярмолевич В.А. Новые методы контроля с помощью прецизионных механоэлектрических микропреобразователей. Наука и инновации. 2008. № 11. С. 69–71.

