

С345е4
В-63

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



3764/2-77

19/IX-77
13 - 10761

М.А.Воеводин, Л.П.Зиновьев, А.Д.Коваленко,
Н.А.Коруков, Ю.И.Романов,
Ш.З.Сайфулин, Ю.И.Тихомиров

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ МАГНИТОМЕТР
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ГАЛЬВАНОМАГНИТОРЕКОМБИНАЦИОННЫХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

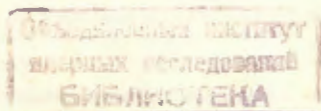
1977

13 - 10761

М.А.Воеводин, Л.П.Зиновьев, А.Д.Коваленко,
Н.А.Коруков, Ю.И.Романов,
Ш.З.Сайфулин, Ю.И.Тихомиров

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ МАГНИТОМЕТР
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ГАЛЬВАНОМАГНИТОРЕКОМБИНАЦИОННЫХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

*Направлено в ПТЭ, на V Всесоюзное совещание по про-
блемам магнитных измерений и магнитоизмерительной
аппаратуры, Ленинград, 1977.*



Воеводин М.А. и др.

13 - 10761

Многоканальный магнитометр с использованием гальваномагниторекомбинационных преобразователей

Описан десятиканальный магнитометр для измерения постоянных и медленно меняющихся магнитных полей в диапазоне ($10^{-5} \div 2 \cdot 10^{-2}$) Тл как вблизи прибора, так и на значительном расстоянии от него (до 200 м). В магнитометре использован новый тип гальваномагнитных датчиков, обладающих повышенной чувствительностью к магнитному полю. Приведены основные параметры прибора.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

© 1977 Объединенный институт ядерных исследований Дубна

При создании многоканальных магнитометров для измерения и контроля постоянных и медленно меняющихся магнитных полей в качестве датчиков обычно используют полупроводниковые преобразователи, в которых проявляется гальваномагнитный эффект^{/1/}. В начале 50-х годов в результате исследования процессов рекомбинации в полупроводниковых приборах был предложен новый вид магниточувствительного элемента, который получил название гальваномагниторекомбинационного /ГМР/ преобразователя^{/2-5/}. ГМР-преобразователь является более простым элементом, чем широко известный датчик Холла, т.к. представляет собой резистор, активное сопротивление которого зависит от магнитного и электрического полей. В отличие от магниторезисторов и магнитодиодов ГМР-преобразователь имеет линейную зависимость выходного напряжения от величины измеряемого магнитного поля. Он чувствителен не только к величине, но и направлению магнитного поля. Магнитное поле влияет на среднюю концентрацию носителей тока в ГМР-преобразователе, причем это влияние увеличивается или уменьшается под действием электрического поля, в котором размещен датчик.

Следовательно, в отсутствие магнитного поля ГМР-преобразователи ведут себя как обычные полупроводниковые резисторы, а в магнитном поле, при возбуждении переменным напряжением, проявляют вентильные свойства^{/1/}.

Эти качества датчиков, а также высокая чувствительность к магнитному полю /50 ÷ 100 В/Т/ дают возможность проектировать на их основе многоканальные магни-

тометры со сравнительно несложной электронной аппаратурой.

Описываемый многоканальный магнитометр предназначен для одновременного измерения в 10 точках постоянного во времени остаточного магнитного поля в рабочей камере синхрофазотрона. Данные магнитных измерений, поступая на ЭВМ, будут обрабатываться совместно с показаниями магнитных датчиков других типов, с тем чтобы в наглядной форме была представлена обобщенная функция распределения показателя спада магнитного поля ускорителя. Кроме того, магнитометр может быть использован для измерения полей рассеяния в различных электрофизических установках, магнитах и линзах, применяемых в ускорительной технике.

Многоканальный магнитометр состоит из следующих основных узлов:

- 1/ десяти термостабилизированных капсул-датчиков с ГМР-преобразователями и нагревательными элементами;
- 2/ линии связи длиной до 200 м, определяющей максимально возможное удаление датчика от прибора;
- 3/ входного устройства, представляющего собой десять измерительных мостов с активными и реактивными элементами (ИМ);
- 4/ десяти узкополосных фильтров нижних частот (ФНЧ);
- 5/ двух источников опорного напряжения (ИОН);
- 6/ десяти схем термостабилизации датчиков (СТД);
- 7/ аналогового коммутатора со схемой управления;
- 8/ цифрового табло на лицевой панели прибора, указывающего номер опрашиваемого канала;
- 9/ источника стабильного напряжения синусоидальной формы для возбуждения ГМР-преобразователей (ИСН);

Блок-схема магнитометра приведена на рис. 1.

Использование известных схем, предназначенных для измерения относительного изменения сопротивлений/напряжений, например, схем тензометров/, оказывается малоэффективным, так как сопротивление ГМР-преобразователя зависит не только от величины магнитного поля, но и от температуры датчика. Поэтому для уменьшения температурной нестабильности при измерении постоянных маг-

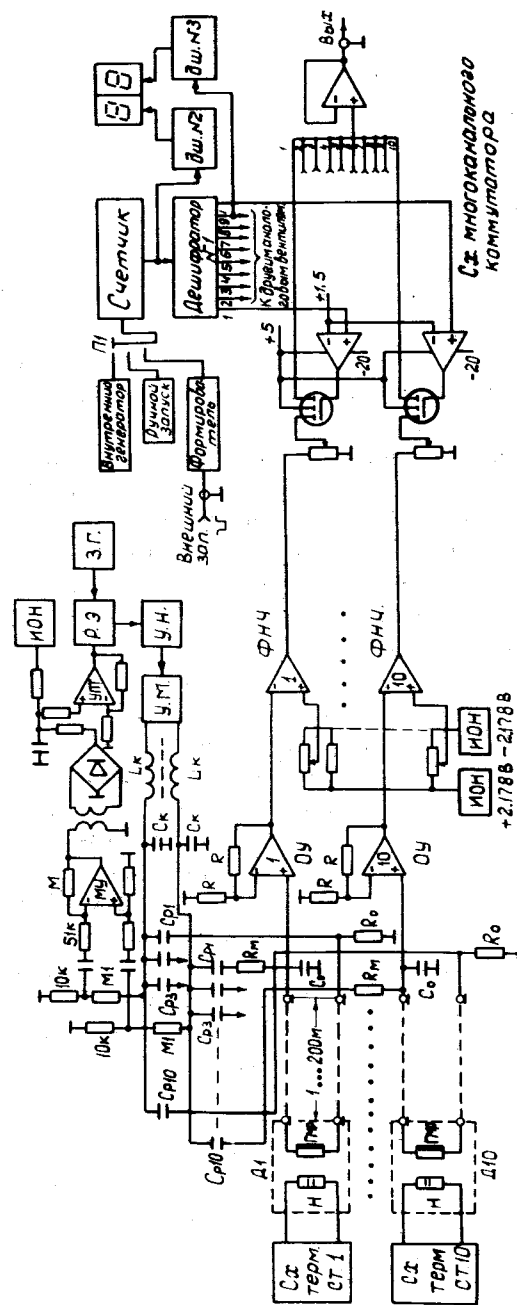


Рис. 1. Блок-схема многоканального магнитометра.

нитных полей возбуждение датчиков осуществляют переменным напряжением, а съём полезной информации производят или при удвоенной частоте изменения электрического поля, или путем измерения постоянной составляющей в цепи датчика /3.5/.

Постоянная составляющая напряжения датчика определяется выражением

$$U_0 = A H_0 E_{II}^2,$$

где A - коэффициент, характеризующий чувствительность датчика; H_0 - величина измеряемого магнитного поля; E_{II} - амплитуда напряжения возбуждения преобразователя.

С целью уменьшения влияния величины E_{II} на показания датчика возбуждение преобразователя осуществляется от источника стабильного напряжения (ИСН). Стабильность величины выходного напряжения ИСН не хуже 10^{-4} . ИСН изготовлен на основе линейной схемы автоматической стабилизации выходного напряжения /6/. Для обеспечения одновременной работы десяти датчиков, имеющих большую емкостную составляющую нагрузки, а также для повышения напряжения на преобразователе до 40 В /эффективное значение/ и улучшения формы синусоидального выходного напряжения в схеме ИСН используется двухтактный усилитель мощности (УМ), возбуждающий последовательный колебательный контур $L_k C_k$. Емкостью контура служит распределенная емкость соединительного кабеля. При этом возможно удаление датчиков на 200 м при использовании в качестве соединительной линии микрофонного шнура /ШМПЭВ-О.08/.

Согласование высокоомного измерительного моста с последующими цепями осуществляет операционный усилитель (ОУ), работающий в режиме 50%-ной отрицательной обратной связи (ООС). Использование неинвертирующего входа (ОУ) обеспечивает повышенное входное сопротивление каскада.

Для ослабления наводок от ИСН и источников, работающих на частоте 50 Гц, в измерительном канале применен узкополосный ФНЧ. Использование в магнитометре десяти ФНЧ, включенных перед коммутатором аналоговых сигналов, позволяет повысить скорость опроса каналов, т.к. в этом случае снимается вопрос о

переходных процессах, возникающих в ФНЧ при коммутации сигналов на его входе /7/. Скорость опроса каналов магнитометра приобретает большое значение при работе прибора на линии с ЭВМ. Использование в измерительном тракте магнитометра только трех операционных усилителей, работающих с глубокой ООС, позволило уменьшить дрейф и повысить стабильность выходного напряжения.

Для опроса датчиков используется десятиканальный аналоговый коммутатор (МАК). МАК собран на полевых транзисторах с МОП-структурой /8/. Он обладает высокой точностью передачи сигналов, надежностью в работе и минимальным уровнем помех от параллельных неопрашиваемых каналов. Элементами управления ключей служат операционные усилители /9/. В магнитометре предусмотрено несколько режимов запуска коммутатора: а/ от внутреннего генератора с периодом опроса $T = 3; 5; 10$ с; б/ от внешнего генератора при работе с ЭВМ; в/ однократный, ручной запуск. Номер опрашиваемого канала индицируется двумя цифровыми индикаторами типа АЛ 304, расположенными на лицевой панели прибора.

ГМР-преобразователи П-образной формы размерами $10 \times 1,5 \times 0,15$ мм³ имеют сопротивление ~ 110 кОм при температуре 22°С. Они помещены в термостатированные капсулы цилиндрической формы размерами 96x40 мм² /рис. 2/. В непосредственной близости от ГМР-преобразователя расположен нагреватель /резистор МЛТ-О.125-120 Ом/.

Монтажная плата с нагревателем и преобразователем помещена в светонепроницаемый цилиндрический эбонитовый корпус, заключенный в электростатический экран. Электрическое соединение внутренних элементов датчика с внешней платой выполнено с помощью манганинового провода, обладающего существенно меньшей удельной теплопроводностью, чем медный. С помощью термостабилизирующего устройства температура внутри капсулы сохраняется в пределах $33^\circ\text{C} \pm 0,05^\circ\text{C}$ при изменении температуры окружающей среды от 15 до 33°С.

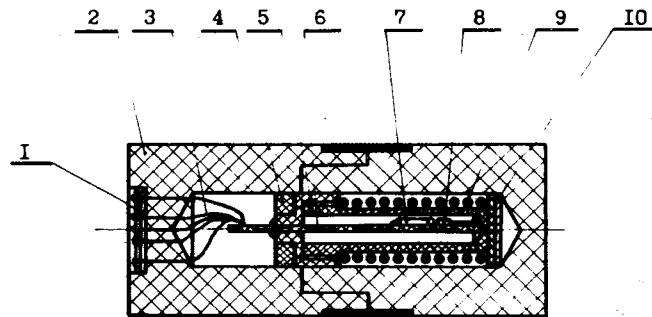


Рис. 2. Конструкция датчика с ГМР-преобразователем. 1 - плата, 2 - экран теплоизоляционный, 3 - вывод, 4 - шайба светозащитная, 5 - экран светозащитный, 6 - плата монтажная, 7 - нагреватель, 8 - ГМР-преобразователь, 9 - экран электростатический, 10 - шайба экранирующая.

Индикатором выходного напряжения магнитометра является цифровой вольтметр Щ1513. При работе на линии с ЭВМ сигнал поступает на блок 12-разрядного АЦП /ЦИФИ, Венгрия/.

Калибровка магнитометра была проведена с использованием образцовой магнитной меры (ОММ). ОММ представляет собой четыре соосно расположенные катушки. Однородность поля ОММ в объеме, занимаемом ГМР-преобразователем, составляет $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-1}$.

Порог чувствительности магнитометра ограничен собственными шумами ГМР-преобразователя. Наиболее существенными для нашего случая являются токовые шумы, т.к. спектр этих шумов пропорционален $1/f^\gamma$; $\gamma = 0,8 \pm 1,6/10$.

Экспериментальные данные показывают, что среднеквадратичное значение ЭДС токового шума в полосе частот $0,1 \div 5/ \text{Гц}$ для ГМР-преобразователей составляет $0,08 \text{ мВ}$, что превышает величину дрейфа и нестабильности трех последовательно включенных операционных усилителей в измерительном канале магнитометра.

Технические данные магнитометра

1. Число измерительных каналов	10.
2. Диапазон измеряемых магнитных полей	$/10^{-5} \div 2 \cdot 10^{-2} / \text{Т}$.
3. Чувствительность датчиков к постоянному магнитному полю	от 100 до 200 В/Т.
4. Рабочее сопротивление ГМР-преобразователя	82 кОм.
5. Эффективное напряжение возбуждения преобразователя	40 В.
6. Линейность выходной характеристики в рабочем диапазоне измеряемых магнитных полей	0,5%.
7. Диапазон рабочих температур	$+15 \div +33^\circ \text{С}$.
8. Частота возбуждения ГМР-преобразователя	300 Гц.
9. Среднеквадратичный уровень собственных шумов преобразователя в области частот $/10^{-1} \div 5/ \text{Гц}$	$5,5 \cdot 10^{-7} \text{ Т}$.
10. Частотный диапазон измеряемых магнитных полей	$/0 \div 5/ \text{Гц}$.
11. Приведенная погрешность измерения	0,05%.

Электрическая часть многоканального магнитометра изготовлена с использованием интегральных схем и смонтирована в 3-х блоках шириной 68,7 мм стандарта КАМАК.

В заключение авторы выражают благодарность сотруднику Института физики полупроводниковых приборов АН Лит.ССР И.С.Левитасу за предоставление опытных образцов ГМР-элементов, а также сотрудникам Лаборатории высоких энергий ОИЯИ В.Н.Кузнецову и А.А.Анашину за большую помощь при настройке отдельных узлов прибора и проведении стендовых испытаний.

Литература

1. Вайсс Г. Физика гальваномагнитных полупроводниковых приборов и их применение. "Энергия", М., 1974.
2. Madeoing O., Teword L., Welker H. Zs.Naturforsch., 1955, 10, S, 467.
3. Жузе В.П., Пикус Г.Е., Сорокин О.В. ЖТФ, 1957, 27, с. 1167.
4. Левитас И.С., Пожела Ю.К. Лит. Физ. сб., 1967 VII, с.2,
5. Левитас И.С., Пожела Ю.К., Сащук А.П. Лит.Физ.сб., 1972, XII, 5.
6. Основы автоматического управления /под редакцией В.С.Пугачева/. "Наука", М., 1968.
7. Прянишников В.А. Интегрирующие цифровые вольтметры постоянного тока. "Энергия", Л., 1974.
8. Микроэлектронные цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи информации /под ред. В.Б.Смолова/. "Энергия", Л., 1976.
9. Демиденко В.В. ПТЭ, 1975, №3, с. 105.
10. Нарышкин А.К., Врачев А.С. Теория низкочастотных шумов. "Энергия", М., 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 июня 1977 года.