

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

Д 215

13-87-603

В.И. Дацков, В.М. Дробин, П. Лоботка

ИЗМЕРИТЕЛЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ГЕРКОНЕ

Направлено в журнал "Приборы и техника  
эксперимента"

1987

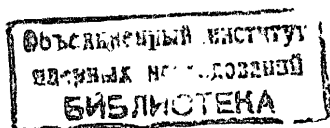
## ВВЕДЕНИЕ

В последнее время получили распространение магнитометры, в которых в качестве элемента, чувствительного к полю, используется магнитоуправляемый контакт (геркон). Они отличаются достаточно простой электронной схемой, а герконы легкодоступны, имеют малую стоимость, стабильные магнитные и температурные характеристики и обладают высокой чувствительностью к магнитным полям.

Принцип работы известных герконовых магнитометров заключается в том, что к измеряемому магнитному полю  $H_u$  добавляется периодически поле  $H_d$ , которое растет от нуля до уровня срабатывания контакта. Если  $H_{ср}$  обозначает поле срабатывания, то справедливо уравнение

$$H_u = H_{ср} - H_d. \quad (I)$$

Поле срабатывания можно считать постоянным (на практике это выполняется с точностью не хуже  $10^{-3}$ ), и определение  $H_u$  сводится к определению  $H_d$ . Это можно осуществить разными способами. Например, в работе<sup>/1/</sup> мерой  $H_u$  служит число импульсов, которые пройдут с генератора в счетчик за время нарастания  $H_d$ . Недостатком такого решения можно считать тот факт, что линейность нарастания  $H_d$  определяет и линейность калибровки. В работе<sup>/2/</sup> вокруг геркона создают переменное магнитное поле с частотой 50 Гц, достаточное для срабатывания геркона. При отсутствии внешнего измеряемого поля выходной сигнал отсутствует. В случае появления составляющей измеряемого магнитного поля выходной сигнал пропорционален измеряемому полю. Таким образом, величина несимметрии дает информацию о  $H_u$ . Недостатком такого решения является то, что у контакта уменьшается срок службы, так как он замыкается  $\sim 100$  раз в секунду.



Принцип работы созданного магнетометра отличается тем, что непосредственно измеряется ток через катушку, создающую  $H_{\Delta}$ , при котором произошло замыкание контакта. Таким образом, нет особых требований к линейности нарастания поля.

Надо отметить одно свойство геркона, которое способствует уменьшению рабочего диапазона. Это гистерезис, который определяется тем, что поле отпущения контакта  $H_0$  ниже поля срабатывания  $H_{сп}$ . Таким образом, если  $H_0 < H_u < H_{сп}$ , после первого замыкания, вызванного полем  $H_{\Delta}$ , контакт остается замкнутым. Поэтому в предлагаемом приборе в каждом цикле измерения на геркон подается короткий импульс размагничивающего поля  $H_p$ . Его величина определяется соотношением

$$H_p = -K H_u. \quad (2)$$

Постоянная  $K$  выбирается так, чтобы

$$H_p > (H_{сп} - H_0) \text{ при } H_u = H_{сп}. \quad (3)$$

Диаграмма работы геркона изображена на рис. 1.

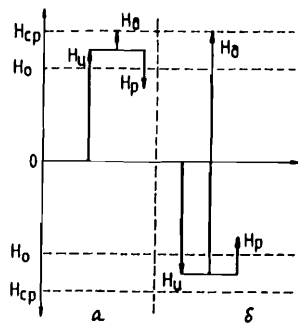


Рис. 1. Диаграмма работы геркона для положительного поля (а) и отрицательного поля (б).

### СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ПРИБОРА

Структурная схема магнетометра показана на рис. 2.

Цикл измерения начинается со сброса интегратора ИНТ через ключ  $K_1$ . Затем ключом  $K_2$  запускается управляемый интегратор ИНТ, на выходе которого появляется линейно нарастающее напряжение, которое преобразуется в ток блоком  $U/I$ . Этот ток линейно нарастает в катушке  $L_1$ , пока вокруг геркона не получится поле, равное полю срабатывания геркона,

$$H_{сп} = H_u + H_{\Delta}, \quad (4)$$

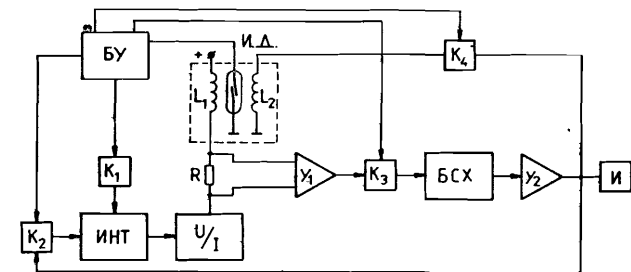


Рис. 2. Структурная схема магнетометра.

где  $H_u$ ,  $H_{\Delta}$  - поле, измеряемое и добавочное соответственно.

При замыкании контакта геркона останавливается нарастание тока в катушке  $L_1$ , и после однократной паузы происходит определение тока через измерительную катушку  $L_1$ . Для этого измеряется падение напряжения на резисторе  $R$ , который включен последовательно с катушкой. Выходное напряжение дифференциального усилителя  $Y_1$  запоминается блоком слежения хранения БСХ через ключ  $K_3$ . Масштабный усилитель  $Y_2$  преобразует однополярное напряжение на выходе БСХ так, чтобы нулевому измеряемому полю соответствовало нулевое выходное напряжение.

В следующем такте подается размагничивающий импульс в катушку  $L_2$  через ключ  $K_4$  и одновременно происходит сброс тока через катушку  $L_1$  до нуля. Необходимость размагничивания гер-

кона связана с его гистерезисом, особенно при работе геркона в полях  $H_{и} > H_{ср}$ . Амплитуда поля размагничивания подобрана так, чтобы

$$|H_{раз}| > H_{ср} - H_0. \quad (5)$$

Весь цикл измерения автоматически повторяется. Работой ключей  $K_1, K_2, K_3, K_4$  управляет блок управления БУ.

### ЭЛЕКТРОННАЯ СХЕМА ПРИБОРА

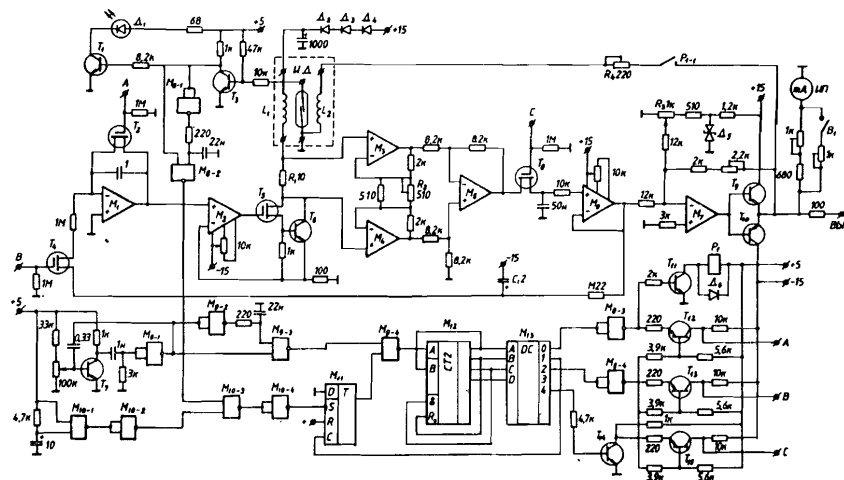
Принципиальная схема магнитометра приведена на рис. 3. Отметим некоторые особенности схемы. После управляемого интегратора  $M_1$  включен преобразователь напряжения в ток  $M_2, T_5, T_6$ , который устраняет влияние наводок в длинном кабеле датчика. Дифференциальный усилитель, который измеряет падение напряжения на номинальном резисторе  $R_1$  (10 Ом), собран на микросхемах  $M_3, M_4, M_5$  по стандартной схеме. Переменным резистором  $R_2$  регулируется его усиление так, чтобы при максимальном токе через  $L_1$  выходное напряжение не превышало - 8 В. Это максимальная допустимая величина напряжения, гарантирующая нормальную работу последующего блока слежения хранения, выполненного на  $M_6, T_8$ . Выходной сигнал с БСХ необходимо преобразовать, потому что на выходе БСХ максимальному  $H_{и}$  соответствует минимальное напряжение. Эту функцию выполняет масштабный усилитель  $M_7, T_9, T_{10}$ , который среднюю точку диапазона БСХ (- 4 В) преобразует в "0" В. Кроме того, резистор  $R_3$  позволяет регулировать усиление так, чтобы выходной сигнал величиной в 1 В соответствовал полю 1 мТ.

Для повышения быстродействия при измерении малых полей и улучшения точности при измерении больших полей важно, чтобы время нарастания тока через  $L_1$  было приблизительно одинаковым во всем диапазоне измеряемых полей. Это требование реализовано введением обратной связи с выхода БСХ на вход интегратора.

Емкость  $C_1$  обеспечивает начальный старт интегратора после включения источника питания.

Блок управления собран на ТТЛ-микросхемах. Он состоит из генератора с частотой 80 Гц  $M_9, T_7$ , R-S-триггера  $M_{11}$ , счетчика  $M_{12}$  дешифратора  $M_{13}$ . Выходные сигналы с дешифратора усиливаются транзисторами  $T_{12}, T_{13}, T_{15}$  до уровня, необходимого для надежной работы МОП - ключей.

Выходной индикатор (стрелочный измерительный прибор ИП или цифровой) показывает величину напряженности магнитного поля и его знак. Сам геркон чувствует абсолютное значение поля. Поэтому знак внешнего поля определяется не относительно самого геркона, а относительно поля, создаваемого катушкой  $L_1$ . Знак размагничивающего поля катушки  $L_2$  всегда противоположен направлению внешнего измеряемого поля.



$M_1$ -140УВ6,  $M_2, M_3, M_4$ -140УВ6,  $M_5$ -544УД1А,  $M_6, M_7, M_8$ -155АА2,  $M_9, M_{11}$ -155ТМ2,  $M_{12}, M_{13}$ -155НЕ5,  $M_{14}$ -155АД6,  $T_1, T_2, T_3, T_4$ -КТ315,  $T_5, T_6, T_7, T_8$ -КТ305В,  $T_9, T_{10}$ -КТ503В,  $T_{11}$ -КТ342В,  $T_{12}, T_{13}, T_{14}, T_{15}$ -КТ381С,  $\Delta_1$ -307АМ,  $\Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$ -208А,  $\Delta_5$ -КС170А,  $\Delta_6$ -А226Б

Рис. 3. Принципиальная схема магнитометра.

Конструктивно магнитометр выполнен в виде прямоугольного корпуса размером 240x300x80 мм. Датчик размером  $\varnothing 7 \times 30$  гибким

кабелем  $\sim 2$  м подключается к разъему прибора. Индикатор - стрелочный типа М42101, имеется возможность подсоединения внешнего цифрового прибора, что позволяет повысить точность измерения поля до  $\sim 10^{-4}$ .

Магнитометр успешно использовался для измерения с точностью  $10^{-3}$  распределения поля в системе Гельмгольца и остаточных полей внутри магнитных экранов.

В заключение авторы выражают благодарность М.А.Воеводину за помощь в работе и ценные обсуждения результатов измерений.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В.И.Дацков, В.М.Дробин, В.М.Лачинов, А.М.Стариков.

Цифровой магнитометр на герконе для полей до  $15 \cdot 10^{-4}$  Тл.

III Всесоюзная конференция. Методы измерения параметров магнитного поля. Л.: Изд. ВНИИМ им.Менделеева, 1985.

2. И.А.Кузнецов, Н.Н.Петров, В.Ф.Шумятский.

Датчик магнитного поля. VI Всесоюзная научно-техническая конференция. Проблемы магнитных измерений и магнитоизмерительной аппаратуры. Л.: Изд. ВНИИМ им.Менделеева, 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел  
31 июля 1987 года.

## ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р.55 к.
Д2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р.00 к.
Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р.50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р.30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р.50 к.
Д10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983.	3 р.50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р.75 к.
Д11-85-791	Труды Международного совещания по аналитическим вычислениям на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1985.	4 р.00 к.
Д13-85-793	Труды XII Международного симпозиума по ядерной электронике. Дубна, 1985.	4 р.80 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1985.	3 р.75 к.
Д3,4,17-86-747	Труды V Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1986.	4 р.50 к.
-	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984. /2 тома/	13 р.50 к.
Д1,2-86-668	Труды VIII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1986. /2 тома/	7 р.35 к.
Д9-87-105	Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1986. /2 тома/	13 р.45 к.
Д7-87-68	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Дубна, 1986	7 р.10 к.
Д2-87-123	Труды Совещания "Ренормгруппа-86". Дубна, 1986	4 р.45 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79. Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.

Дацков В.И., Дробин В.М., Лоботка П.

13-87-603

Измеритель магнитного поля на герконе

Описан измеритель магнитного поля на основе геркона типа КЭМ-2А, предназначенный для измерения магнитных полей в диапазоне  $0,02 \div 2,0$  мТ. Точность измерения  $\pm 2 \cdot 10^{-3}$  мТ. Диапазон измеряемых полей определяется выбором типа геркона. Интервал времени между двумя измерениями 0,5 с. Введение размагничивающего поля в каждом цикле измерения позволило расширить рабочий диапазон измеряемых полей. Магнитометр может найти широкое применение при исследовании пространственного распределения поля магнитных систем.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1987

Перевод О.С.Виноградовой.

Datskov V.I., Drobin V.M., Lobotka P.

13-87-603

A Magnetometer on Magnetic Dryreed Switch

A magnetometer for measurement of stationary magnetic field within the  $0.02 \div 2.0$  mT range with  $\pm 2 \cdot 10^{-3}$  mT accuracy is described. The measuring range depends on contact type. The mechanical hysteresis of a sensor is overwhelmed by demagnetization pulse in each measuring cycle, which allows to expand the range. Cycle durations is about 0.5 s. The magnetometer is suitable to map a magnetic field in a relatively large magnetic apparatus.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1987