



сообщения  
Объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
Дубна

4232/83

15/8-83

P13-83-355

А.Беньковски, С.Н.Ткаченко

МАГНИТОМЕТР  
С ДИСТАНЦИОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ  
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ  
ОДНОРОДНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

1983

## ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПРИБОРА

Принцип действия прибора основан на использовании ядерного магнитного резонанса /ЯМР/. Этот метод измерения индукции является высокоточным и удобным для измерения однородных магнитных полей. Поэтому он получил широкое распространение при измерениях полей в зазорах магнитов, используемых в ускорителях или в спектрометрах заряженных частиц.

Между индуктивностью  $B$  и резонансной частотой  $f$  существует точная зависимость:

$$B = k \cdot f,$$

где  $K = 0,0234864 \frac{\text{Т}}{\text{МГц}}$  для ядер водорода.

При конструкции прибора особое внимание необходимо уделить получению высокого отношения сигнал/шум. Общие указания к решению этого вопроса можно найти в работе /1/.

## ДАТЧИК

Конструкция датчика аналогична конструкции, описанной в /2/. В качестве рабочей жидкости используется водный раствор  $0,5 \text{ MnSO}_4$ . Парамагнитные ионы  $\text{MnSO}_4$  уменьшают время релаксации и таким образом увеличивают отношение сигнал/шум. В датчике /рис.1/ находится ампула из стекла, содержащая вышеупомянутый раствор. Она имеет внутренний диаметр 6 мм, длину 20 мм. На этой ампуле размещена в.ч. обмотка, имеющая 7 витков. Длина обмотки 10 мм. Ампула с обмоткой в.ч. находится в хорошо экранированной коробке из меди. Один конец обмотки соединен с коробкой, второй подключен к блоку индикации /рис.2/ коаксиальным

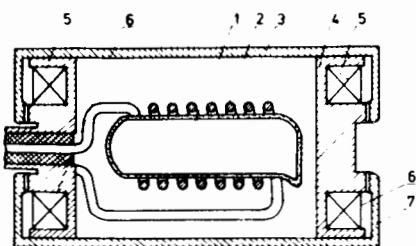


Рис.1. Конструкция датчика.  
1 - стеклянная ампула с водным раствором, 2 - обмотка в.ч., 3 - крышка из меди, 4 - коробка из меди, 5 - н.ч. обмотка для модуляции 2, 6 - н.ч. обмотка для модуляции 2, 7 - крышка из меди.

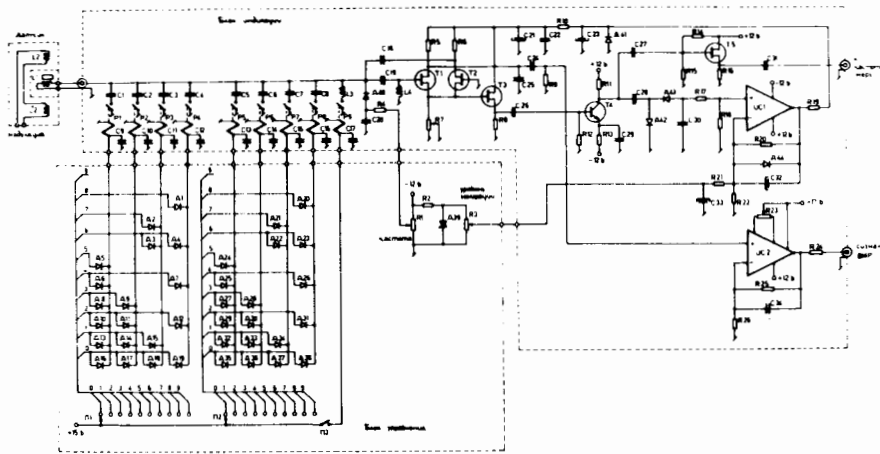


Рис.2. Принципиальная схема магнитометра.

кабелем, длина которого 50 см. Для модуляции магнитного поля внутри ампулы используются две низкочастотные обмотки диаметром  $\phi = 27$  мм, расстояние между обмотками  $a = 13,5$  мм /рис.1/. Такое размещение элементов датчика обеспечивает однородность поля низкой частоты внутри ампулы<sup>/3/</sup>. Частота модуляции равна частоте сети, т.е. 50 Гц, амплитуда модуляции равна  $2,5 \times 10^{-4}$  Т.

#### ПРИНЦИПАЛЬНАЯ СХЕМА УСТАНОВКИ

Основным узлом прибора является в.ч. генератор, который для получения большого сигнала ЯМР должен работать вблизи срыва колебаний. Кроме того, он должен перестраиваться в широком диапазоне частоты. Однако эти требования являются противоречивыми. Удовлетворительным решением проблемы может служить в.ч. генератор, описываемый ниже. Выполнен он на маломощных полевых транзисторах T1 и T2 и представляет собой модификацию схемы, описанной в работе<sup>/4/</sup>. Во время резонанса /два раза в периоде 20 мс при частоте модуляции 50 Гц/ на стоке транзистора T1 незначительно уменьшается амплитуда в.ч. колебаний. Эти уменьшения являются сигналом ЯМР. Чтобы отделить сигнал ЯМР от в.ч. напряжения, применен фильтр /C25, C24, R9/. Далее сигнал ЯМР поступает на усилитель ИС2, у которого для уменьшения шума полоса пропускания высоких частот специально ограничена емкостью C34. После усиления сигнал ЯМР поступает на вход "У" осциллографа. На вход "Х" подается синусоидальное напряжение с частотой сети.

Синусоидальный в.ч. сигнал от генератора через истоковый повторитель T3, усилитель T4 и повторитель T5 подается на вход цифрового частотометра.

Как уже упоминалось раньше, одним из важнейших условий для получения высокого отношения сигнала ЯМР/шум является требование к работе генератора в режиме, близком к срыву генерации колебаний. Чтобы выполнить это условие и не допустить срыва генерации, на дифференциальном усилителе ИС1 предусмотрена схема стабилизации уровня колебаний в.ч. генератора. На один вход усилителя подается постоянное напряжение, пропорциональное амплитуде в.ч. генератора. На другой вход подается опорное напряжение с потенциометра R3. Благодаря отрицательной обратной связи усилитель вырабатывает на выходе такое напряжение питания генератора, чтобы амплитуда колебаний в.ч. поддерживалась постоянной на заданном уровне.

Для регулировки частоты генератора служат два 10-позиционных переключателя P1 и P2, которые через дешифраторы /диоды D1 - D38/ включают соответствующие реле /P1-P8/, присоединяющие емкости C1-C8 к контуру в.ч. генератора. Если принять  $C_8 = C$ , то остальные емкости выбираются так, что  $C_7 = 2 \times C$ ;  $C_6 = 2 \times C$ ;  $C_5 = 4 \times C$ ;  $C_4 = 10 \times C$ ;  $C_3 = 20 \times C$ ;  $C_2 = 20 \times C$  и  $C_1 = 40 \times C$ . Таким образом, к контуру можно подсоединять емкости от нуля до величины  $99 \times C$  с шагом  $C$ . В реальной схеме емкости конденсаторов несколько отличаются от вышеуказанных, вследствие существования паразитных емкостей. Фактически емкости были подобраны экспериментально. Переключатель P3 через реле P9 позволяют включать индуктивность L3 и, таким образом, повышать частоту генератора. Для плавной регулировки частоты служит потенциометр R1, изменяющий напряжение на варикапе D40. Частоту генератора можно регулировать в диапазоне 6-40 МГц. Благодаря применению в генераторе высокостабильных элементов и схемы стабилизации уровня колебаний в.ч. генератора получена высокая стабильность частоты /не хуже, чем  $\pm 5 \times 10^{-6}$  ч/.

Для исключения наводок в.ч. генератор, усилитель сигнала ЯМР, усилитель в.ч. колебаний и усилитель стабилизации уровня генерации экранированы друг от друга. Весь блок индикации помещен в коробку из меди.

#### ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПРИБОРА

- |   |                             |
|---|-----------------------------|
| 1. Диапазон измеряемой индукции             | - 0,15 - 0,94 Т.            |
| 2. Точность измерения                       | - $1 \times 10^{-5}$ Т.     |
| 3. Отношение сигнал ЯМР/шум                 | - 10:1.                     |
| 4. Диапазон частот                          | - 6-40 МГц.                 |
| 5. Стабильность частоты                     | - $\pm 5 \times 10^{-6}$ ч. |
| 6. Расстояние от блока индикации до магнита | - 50 см.                    |



7. Расстояние от блока управления до магнита - 30 см.
8. Осциллограф - стандартный, низкочастотный.
9. Частотомер - цифровой, стандартный.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный прибор служит для точных измерений индукции магнитного поля в зазоре электромагнитного анализа СП-88 электростатического ускорителя ЭГ-5 Лаборатории нейтронной физики. Установка работает длительное время в круглосуточных измерениях и зарекомендовала себя как надежная и удобная в эксплуатации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bloembergen N., Purcell E.M., Pound R.V. Phys.Rev., 1948, vol. 73, p. 679.
2. Bienkowski A., Zemlo L. Raport Instytutu Badan Jadrowych, Warszawa 1973, No. 1465/1/E/A.
3. Kolytek V., Zejda J. Ustav Jaderneho vyzkumu. Csekoslovenska Akademie VED 1033/64.
4. Idoine J.I., Brandenberger J.R. Rev.Sci.Instrum., 1971, vol. 42, p. 715.

Рукопись поступила в издательский отдел  
1 июня 1983 года.

Беньковски А., Ткаченко С.Н. P13-83-355  
Магнитометр с дистанционным управлением для измерения однородного магнитного поля

В статье описан прибор с дистанционным управлением для измерения индукции однородного магнитного поля. Диапазон индукции 0,15-0,94 Т измеряется одним датчиком. Точность измерения  $1 \times 10^{-5}$  Т. Принцип работы прибора основан на использовании ядерного магнитного резонанса. При разработке прибора особое внимание было уделено получению высокого отношения сигнал/шум. Отношение сигнал ЯМР/шум во всем диапазоне выше 10:1.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Benkovski A., Tkachenko S.N. P13-83-355  
Remote Controlled Magnetometer to Measure Homogeneous Magnetic Field

Remote controled device intended for measuring the magnetic induction of homogeneous magnetic field is described. 0.15-0.94 T induction range was measured with one field detector,  $1 \times 10^{-5}$  T accuracy is achieved. Principle of operation is based on using nuclear magnetic resonance. When designing the device a particular attention was paid to receiving a high ratio signal/noise. The NMR signal/noise ratio throughout the total range is above 10:1.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой.