

494/2-80



сообщения
Объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

4/2-80

P13 - 12847

Ю.В.Никитенко, А.Б.Роганов, Ю.В.Таран

ДВУХКАНАЛЬНЫЙ СТАБИЛИЗАТОР
МАГНИТНОГО ПОЛЯ
С ИНДУКЦИЕЙ 1-10 мкТ

1979

Никитенко Ю.В., Роганов А.Б., Таран Ю.В. P13 - 12847

Двухканальный стабилизатор магнитного поля
с индукцией 1 ± 10 мкТ

Разработан и испытан двухканальный стабилизатор магнитного поля в установке для измерения электрического дипольного момента нейтрона с помощью ультрахолодных нейтронов. В качестве первичных преобразователей стабилизатора использованы два квантовых цезиевых магнитометра, выходы которых включены на сумматор сигналов. При наличии неоднородных магнитных помех величиной до 0,2 нТ амплитуда флюктуаций среднего по двум точкам магнитного поля не превышала 10 пТ.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Nikitenko Yu.V., Roganov A.B., Taran Yu.V. P13 - 12847

A Two-Channel Magnetic Field Stabilizer
with 1 ± 10 мкТ Induction

A two-channel magnetic field stabilizer for the installation to be used for measuring the electric dipole moment of the neutron with ultracold neutrons was developed and tested. Two quantum cesium magnetometers connected with signal adder are used as the primary convertors. In the presence of inhomogeneous magnetic interferences up to 0.2 nT the amplitude of fluctuation of the magnetic field averaged over the two points did not exceed 10 pT.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

В ^{1/} был описан магнитометрический комплекс установки "Тристом" для измерения электрического дипольного момента /ЭДМ/ нейтрона с помощью УХН. В комплекс входят ферромагнитный экран ^{2/}, система колец ^{3/} со стабилизированным источником питания и стабилизатор магнитного поля на основе цезиевого квантового магнитометра ^{4/}. При статическом коэффициенте стабилизации 550 магнитного поля 1-10 мкТ среднеквадратичное значение амплитуды флюктуации в полосе 0,15 Гц не превышало 0,5 пТ.

Исследование характера магнитных помех внутри экрана показало, что: 1/ помехи, вызванные внешними, близко расположенными источниками, имеют амплитуду до 5 нТ, но при этом однородны /с точностью не хуже 4%/ в значительном объеме; 2/ внутренние помехи, вызванные флюктуациями остаточного магнитного поля экрана, по амплитуде не превышают 0,2 нТ, но являются сильно неоднородными /до 50-100% на расстоянии 40-60 см/. В этом случае одноканальный стабилизатор не обеспечивает необходимой стабильности среднего по заданному объему /для установки "Тристом" = 20 л/ значения магнитного поля.

Действительно, в точке расположения первичного преобразователя /ПП/ одноканального стабилизатора магнитная помеха амплитудой ΔH_1 подавляется до уровня:

$$\delta H_1 = \Delta H_1 - \delta H_1 k, \quad /1/$$

где k - коэффициент передачи цепи стабилизатора в разомкнутом состоянии, с коэффициентом стабилизации

$$\eta_1 = \frac{\Delta H_1}{\delta H_1} = 1 + k. \quad /2/$$

В произвольной точке, где действует помеха с амплитудой ΔH_2 , изменение магнитного поля равно /предполагается, что катушки обратной связи /КОС/ создают однородное поле/:

$$\delta H_2 = \Delta H_2 - \delta H_1 k, \quad /3/$$

что соответствует коэффициенту стабилизации:

$$\eta_2 = \frac{1+k}{|1+k(\Delta H_2 - \Delta H_1)/\Delta H_2|} \quad /4/$$

Для однородной помехи $\Delta H_1 = \Delta H_2$ и $\eta_1 = \eta_2$, т.е. поле стабилизируется во всем объеме. При $\Delta H_2/(\Delta H_2 - \Delta H_1) \ll K$, что соответствует сильно неоднородной помехе, и при $K \gg 1$, коэффициент стабилизации во второй точке равен:

$$\eta_2 = \left| \frac{\Delta H_2}{\Delta H_2 - \Delta H_1} \right| \ll \eta_1, \quad /5/$$

т.е. стабилизация магнитного поля в этой точке резко ухудшается. Если ввести для одноканального стабилизатора коэффициент стабилизации среднего по двум точкам магнитного поля:

$$\bar{\eta}_I = \frac{|\bar{\Delta H}|}{|\bar{\delta H}|} = \frac{1+k}{|1+kn|}, \quad /6/$$

где

$$\bar{\Delta H} = \frac{1}{2}(\Delta H_1 + \Delta H_2), \quad \bar{\delta H} = \frac{1}{2}(\delta H_1 + \delta H_2), \quad n = \frac{\Delta H_2 - \Delta H_1}{\Delta H_2 + \Delta H_1},$$

то при $1/n \ll k$ имеем $\bar{\eta}_I \approx 1/n \ll \eta_1$, и среднее поле также не стабилизировано.

В двухканальном стабилизаторе, блок-схема которого показана на рис. 1, ПП 1 и 2 помещены в точках 1 и 2 соответственно, а их выходы включены на сумматор /С/3, сигнал

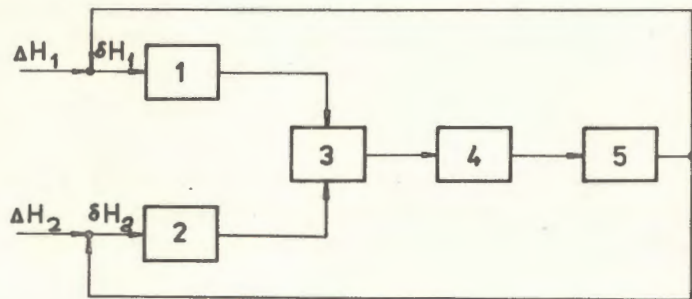


Рис. 1. Блок-схема двухканального стабилизатора магнитного поля: 1, 2 - первичные преобразователи, 3 - сумматор, 4 - усилительно-преобразующая аппаратура, 5 - катушки обратной связи.

с которого через усилительно-преобразующую аппаратуру /УПА/ 4 подается на КОС 5. Тогда для точек 1 и 2 имеем:

$$\delta H_1 = \Delta H_1 - (\delta H_1 k_{n,1} + \delta H_2 k_{n,2}) k_0, \quad /7/$$

$$\delta H_2 = \Delta H_2 - (\delta H_1 k_{n,1} + \delta H_2 k_{n,2}) k_0, \quad /8/$$

где $k_{n,i}$ - коэффициент передачи i -го ПП, k_0 - коэффициент передачи общей части цепи стабилизатора.

Из уравнений /7/ и /8/ для коэффициента стабилизации среднего по двум точкам магнитного поля следует:

$$\bar{\eta}_{II} = \frac{1+k_1+k_2}{|1-n\Delta k|}, \quad /9/$$

где $k_i = k_{n,i} \cdot k_0$, $\Delta k = k_2 - k_1$. Для идентичных каналов ($k_1 = k_2 = k$) имеем:

$$\bar{\eta}_{II} = 1+2k \gg \bar{\eta}_I. \quad /10/$$

Здесь коэффициент 2 появился за счет суммирования сигнала с двух ПП. При максимальной расстройке каналов, например, когда $\Delta k = -k_1$, реализуется случай одноканального стабилизатора: $\bar{\eta}_{II} = \bar{\eta}_I$.

Нами был разработан комплекс аппаратуры, позволяющий быстро осуществлять схемы одно- и двухканальных стабилизаторов и измерителей магнитного поля в двух точках /рис. 2/.

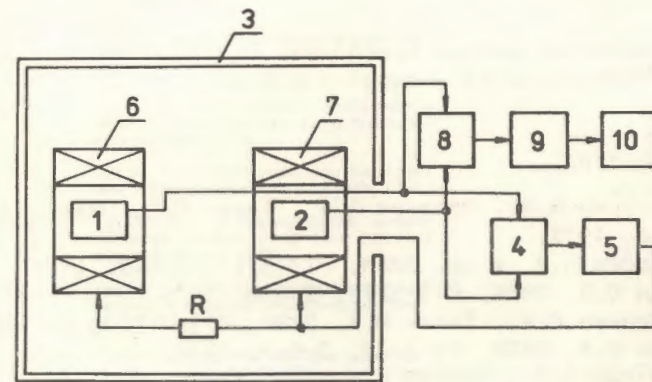


Рис. 2. Блок-схема двухканального стабилизатора установки "Тристом": 1, 2 - первичные преобразователи ПП 1 и 2; 3 - магнитный экран; 4, 8 - сумматоры С1 и 2; 5, 9 - УПА 1 и 2; 6, 7 - катушки обратной связи КОС 1 и 2; 10 - самописец.

ПП 1 и 2 помещены на оси экрана 3 симметрично относительно его центра. Расстояние между ПП 1 и 2 изменялось от 20 до 60 см. С каждого i -го ПП при помощи двух приемных фотодиодов снимаются сигналы $H_{ст,i}$ и $H_{из,i}$, используемые в схемах стабилизации и измерения соответственно. Сигналы $H_{ст,1}$ и $H_{ст,2}$ поступают в сумматор 4, в котором возможны операции сложения и вычитания. Сигнал от сумматора 4 через УПА 5 поступает на КОС 6 и 7, которые расположены непосредственно на ПП 1 и 2 и имеют равные с точностью 0,1% постоянные ≈ 10 нТ/мкА. Сигналы $H_{из,1}$ и $H_{из,2}$ проходят через аналогичные блоки 8 и 9. Результирующий сигнал регистрируется на самописце 10.

Для одноканального стабилизатора с $K = 150$ в магнитоспокойное время амплитуда флюктуаций магнитного поля в точке расположения ПП не превышала 5 нТ, при этом амплитуда флюктуаций среднего по двум точкам, расположенных на расстоянии 60 см, магнитного поля достигала 70 нТ. При осуществлении двухканального стабилизатора с тем же расстоянием между ПП 1 и 2, коэффициенты передачи каналов которого были равны ≈ 75 с относительной стабильностью $\approx 10\%$, амплитуда флюктуаций среднего поля не превышала 10 нТ. Таким образом, испытание двухканального стабилизатора показало возможность создания многоканального стабилизатора для стабилизации неоднородного магнитного поля. В настоящее время нами для установки "Тристом" реализуется трехканальная система стабилизации, в которой предполагается обеспечить относительную стабильность коэффициентов передачи каналов с точностью не хуже 1%.

В заключение авторы благодарят А.Н.Козлова, В.К.Игнатовича и В.И.Лущикова за интерес к работе и полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитенко Ю.В., Роганов А.Б., Таран Ю.В. ОИЯИ, Р13-12037, Дубна, 1978.
2. Алексеев Н.А. и др. ОИЯИ, Р13-9221, Дубна, 1975.
Таран Ю.В. ОИЯИ, Р13-9275, Дубна, 1975.
Никитенко Ю.В., Таран Ю.В. ОИЯИ, Р13-10068, Дубна, 1976.
3. Таран Ю.В. ОИЯИ, Р3-7277, Дубна, 1973.
4. Dolginov S.S., Kozlov A.N., Chincevoi M.M. Rev.Phys. Appl., 1970, 5, p.178.

Рукопись поступила в издательский отдел
9 октября 1979 года.