

е
+
ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

609 / 2-81

9/2-81

P13-80-709

А.Н.Козлов, Ю.В.Никитенко, Ю.В.Таран

ДВУХКАСКАДНЫЙ
СТАБИЛИЗАТОР МАГНИТНОГО ПОЛЯ
УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДИПОЛЬНОГО
МОМЕНТА НЕЙТРОНА

Направлено в "Nuclear Instruments and Methods"

1980

1. ВВЕДЕНИЕ

Известен высокий уровень требований к стабильности и однородности магнитного поля установки для измерения электрического дипольного момента ЭДМ/нейтрона с помощью ультрахолодных нейтронов /УХН/ /см., напр., /1/ /. В^{2/} был описан магнитометрический комплекс установки "Тристом", предназначенный для поиска ЭДМ нейтрона на импульсном быстром реакторе ИБР-2^{3/}.

Комплекс состоит из пермаллового цилиндрического горизонтального пятислойного экрана^{4/} с внутренним объемом около 1,5 м³, имеющего остаточное магнитное поле 4-5 нТ и продольный /вдоль оси/ коэффициент экранирования низкочастотных изменений магнитного поля 240; системы катушек со стабилизированным источником питания для создания рабочего магнитного поля с индукцией 1-10 мкТ и стабилизатора магнитного поля с использованием квантового цезиевого магнитометра /КЦМ/ на оптической накачке с S_z-сигналом с уровнем собственных шумов lnT T·Гц^{-1/2}. Получена однородность магнитного поля по объему 0,03 м³ не хуже 3-4 нТ, а подавление однородных магнитных помех было таково, что среднеквадратичная амплитуда флюктуаций магнитного поля в полосе 10⁻² - 10⁻¹ Гц не превышала 0,5 пТ.

Для подавления неоднородных магнитных помех был создан двухканальный стабилизатор магнитного поля^{5/}, S_z - датчики которого располагались друг от друга на расстоянии 60 см. В этом случае стабилизатор обеспечивал среднеквадратичную амплитуду флюктуаций среднего по двум точкам магнитного поля в интервале 10⁻⁴ - 3·10⁻³ Гц не более 7 пТ.

Однако магнитная обстановка в экспериментальном зале реактора ИБР-2, где расположена установка "Тристом", характеризуется сравнительно сильными помехами в диапазоне частот 0-10⁻⁴ Гц /на рис. 1 показан спектр флюктуаций рабочего магнитного поля внутри экрана/. Для обеспечения устойчивой круглосуточной работы установки "Тристом" в самых неблагоприятных условиях нами был разработан двухкаскадный стабилизатор магнитного поля, описание которого и полученные результаты даны в настоящей работе.

2. ТЕОРИЯ

Эквивалентная схема двухкаскадного стабилизатора показана на рис. 2. Стабилизатор содержит две замкнутые цепи: B₁-D₁-C₁ /внутренний каскад/ и B₂-D₂-C₂ /внешний каскад/, состоя-

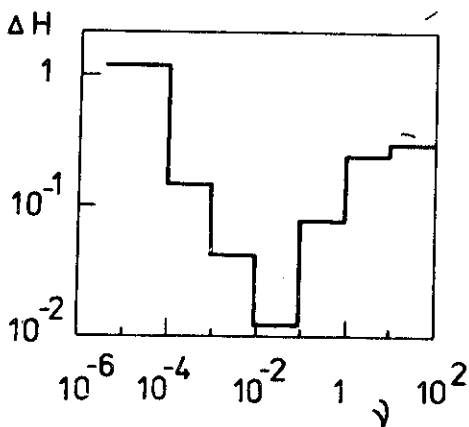


Рис. 1. Спектр флюктуаций рабочего магнитного поля внутри ферромагнитного экрана установки "Тристом" в экспериментальном зале реактора ИБР-2. ΔH - нТ, ν - Гц.

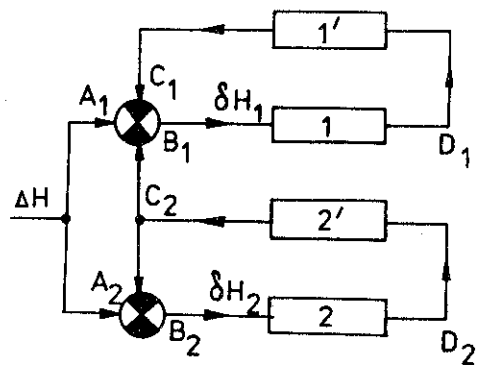


Рис. 2. Эквивалентная схема двухкаскадного стабилизатора магнитного поля: 1, 2 - прямые участки, 1', 2' - участки обратной связи внутреннего и внешнего каскадов соответственно.

щие из прямых участков 1 и 2 и участков обратной связи 1' и 2' соответственно. Внешний каскад связан с внутренним с помощью участка C_2-B_1 , коэффициент передачи которого принят за единицу и равным коэффициенту передачи участка C_2-B_2 .

В точки A_1 и A_2 расположения датчиков стабилизатора приходит магнитная помеха ΔH , которая в точке B_1 подавляется до величины δH_1 , а в точке B_2 до δH_2 . Вводя коэффициенты передачи внешнего и внутреннего каскадов k_{out} и k_{in} как произведение коэффициентов передачи прямого участка и участка обратной связи, получим:

$$\delta H_1 = \Delta H - k_{in} \delta H_1 + k_{in} \Delta H_{in} - \frac{k_{out}}{1 + k_{out}} (\Delta H + \Delta H_{2n}), \quad /1/$$

$$\delta H_2 = \Delta H - k_{out} \delta H_2 + k_{out} \Delta H_{2n},$$

где ΔH_{in} и ΔH_{2n} - немагнитные помехи во внутреннем и внешнем каскадах соответственно, приведенные к входу магнитной помехи. Преобразуя систему уравнений /1/, получим:

$$\delta H_1 = \frac{\Delta H}{(1 + k_{out})(1 + k_{in})} + \frac{k_{in} \Delta H_{in}}{1 + k_{in}} - \frac{k_{out} \Delta H_{2n}}{(1 + k_{out})(1 + k_{in})} \quad /2/$$

При достаточно малых немагнитных помехах ΔH_{1n} и ΔH_{2n} остаточная недокомпенсация определяется только магнитной помехой ΔH и коэффициентами передачи внешнего и внутреннего каскадов. В этом случае коэффициент стабилизации поля в точке V_1 , определяемый как отношение $|\Delta H|/|\delta H_1|$, равен:

$$\eta = |(1 + k_{out})(1 + k_{in})|. \quad /3/$$

Таким образом, с помощью двухкаскадного стабилизатора возможно получить существенное /в несколько сотен раз/ увеличение коэффициента стабилизации. В этом случае можно выбрать такие значения коэффициентов передачи каскадов, при которых обеспечивается более устойчивая работа стабилизатора.

3. АППАРАТУРА

Блок-схема магнитометрического комплекса установки "Тристом" показана на рис.3. Внутри пермаллового экрана 1 соосно с ним размещена алюминиевая цилиндрическая вакуумная камера /на рисунке не показана/, корпус которой являлся каркасом системы катушек и токопроводом для размагничивания и подмагничивания (shaking-effect) экрана переменным током с частотой 50 Гц. Рабочее магнитное поле создавалось соленоидом 2 длиной 63 см и ϕ 73 см и плоскими корректирующими катушками 3 ϕ 63 см, питаемыми от компенсационного стабилизатора тока 4 с относительной стабильностью $\pm 2 \cdot 10^{-6}$. Катушкой обратной связи внешнего каскада стабилизатора магнитного поля служил второй соленоид 5 с теми же размерами и коэффициентом передачи 0,7 нТ/мкА. Для обратной связи внутреннего каскада использовалась пара плоских катушек 6 ϕ 75 см с расстоянием между ними 68 см и коэффициентом передачи 0,23 нТ/мкА.

Внутри вакуумной камеры в цилиндрических стаканах ϕ 10 и 15 см расположены первичные преобразователи /ПП/ внутреннего 7 и внешнего 8 каскадов с расстоянием между ними 30 см. В качестве ПП использовались КЦМ, оптическая накачка которых осуществлялась по волоконным световодам 9 длиной 1 м и ϕ 1,2 см от блока спектральной лампы 10, расположенного вне вакуумной камеры вблизи крышки экрана. Генератор 11 возбуждения спектральной лампы был размещен на крышке экрана с внешней стороны.

Так как катушка 5 обратной связи внешнего каскада в местах расположения ПП имеет коэффициенты передачи, отличающиеся на 0,6%, то для их выравнивания ПП 7 внутреннего каскада охвачен локальной катушкой 12 внешнего каскада. ПП 8 внешнего каскада охвачен локальной катушкой 13 внутреннего каскада, которая компенсирует магнитное поле катушек 6, исключая влияние внут-

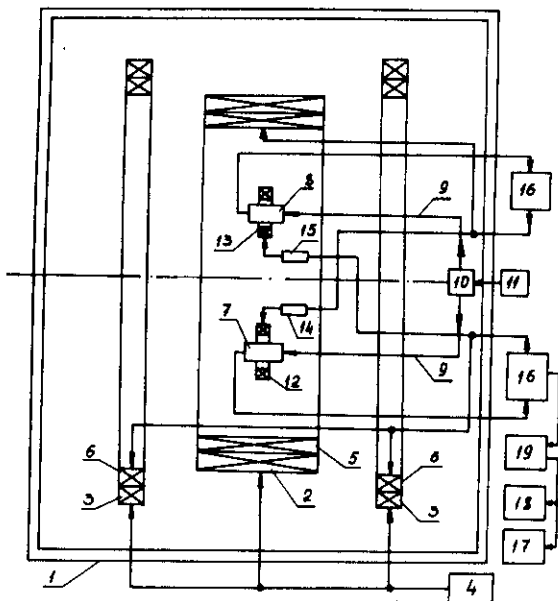


Рис.3. Блок-схема двухкаскадного стабилизатора установки "Тристом": 1 - пермалловый экран, 2 - соленоид, 3 - корректирующие катушки, 4 - стабилизатор тока, 5 и 6 - катушки обратной связи внешнего и внутреннего каскадов, 7 и 8 - первичные преобразователи внутреннего и внешнего каскадов, 9 - световод, 10 - блок спектральной лампы, 11 - генератор поджига лампы, 12 и 13 - локальные катушки внешнего и внутреннего каскадов, 14 и 15 - подстроечные резисторы, 16 - усилительно-преобразующая аппаратура, 17 - вольтметр, 18 - самописец, 19 - фильтр.

ренного каскада на внешний. Электрически локальные катушки 12 и 13 подключены параллельно катушкам 5 и 6 соответственно через подстроечные резисторы 14 и 15.

В качестве усилительно-преобразующей аппаратуры 16 при использовании КЦМ с S_z -сигналом служили промышленные узкополосный усилитель и синхронный детектор, а с S_x -сигналом - широкополосный усилитель и фазовый детектор. Для снятия характеристик стабилизатора использовался цифровой вольтметр 17 и самописец 18, подключаемые через фильтр низких частот 19 к выходам детекторов каскадов.

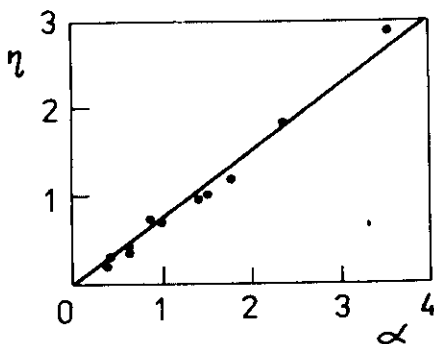


Рис. 4. Зависимость статического коэффициента стабилизации η / в единицах 10^4 / двухкаскадного стабилизатора с двумя КЦМ на S_z -сигнале от параметра α . Темные кружки - экспериментальные данные; прямая линия построена по формуле /4/ при $k_{in} = 75$ и $k_{out} = 100$.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ

Принципиальная проверка идеи двухкаскадного стабилизатора была осуществлена с двумя ПП на S_z -сигнале. В этом случае стабилизатор представлял собой статический регулятор магнитного поля.

На рис. 4 представлена экспериментальная зависимость статического коэффициента стабилизации η при коэффициентах передачи внутреннего и внешнего каскадов $k_{in} = 75$ и $k_{out} = 100$ соответственно от параметра α , представляющего собой отношение коэффициентов передачи локальной 13 и общей 16 катушек обратной связи внутреннего каскада. В этом случае формула /3/ модифицируется в следующую:

$$\eta = (1 + k_{in})(1 + k_{out}) - k_{in} k_{out} (1 - \alpha) \quad /4/$$

Теоретическая зависимость η от α показана на рис. 4 сплошной линией, которая хорошо описывает экспериментальные данные. Максимально достигнутое значение η при амплитуде помехи $\Delta T = 20$ нТ было равно $3 \cdot 10^4$ и ограничивалось возбуждением стабилизатора.

Максимально достигнутые значения статических коэффициентов передачи каскадов $k_{in} = 300$ и $k_{out} = 600$. В этом случае был достигнут коэффициент стабилизации $/2-4/ \cdot 10^5$ при изменениях поля в пределах $+20-50/$ нТ, при этом среднеквадратичная амплитуда флюктуаций рабочего магнитного поля в полосе $10^{-8} - 3 \cdot 10^{-8}$ Гц не превышала 0,05 нТ, что с большим запасом удовлетворяет требованиям, предъявляемым с точки зрения измерения ЭДМ нейтрона.

Для расширения частотной полосы стабилизации во внешнем каскаде использован КЦМ с S_x -сигналом, установленный в стакан $\phi 15$ под углом 30° к направлению магнитного поля. В этом случае стабилизатор представлял собой астатический регулятор, коэффициент стабилизации которого ограничивался с одной стороны полосой удержания внешнего каскада, а с другой - уровнем

помех в цепи внутреннего каскада. В полосе 10^{-3} - $3 \cdot 10^{-3}$ Гц был достигнут коэффициент стабилизации $4 \cdot 10^5$ при изменении поля на ± 20 нТ, при этом стабилизация осуществлена в значительно более широкой полосе частот. В частности, в полосах 0,1-1 Гц и 1-10 Гц среднеквадратичная амплитуда флюктуаций магнитного поля не превышала 1 нТ и 15 нТ соответственно.

Таким образом, разработанный двухкаскадный стабилизатор обеспечивает высокий коэффициент стабилизации магнитного поля установки для измерения ЭДМ нейтрона при интенсивных магнитных помехах /до нескольких мкТ вне магнитного экрана/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Таран Ю.В. ОИЯИ, РЗ-7147, РЗ-7149, Дубна, 1973.
2. Никитенко Ю.В. и др. ОИЯИ, Р13-12037, Дубна, 1978.
3. Ананьев В.Д. и др. ПТЭ, 1977, 5, с.17.
4. 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.
5. Никитенко Ю.В. и др. ОИЯИ, Р13-12847, Дубна, 1979.

Рукопись поступила в издательский отдел
3 октября 1980 года.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований.
Заказ 28832. Тираж 530. Уч.-изд. листов 0,74.
Редактор Б.Б.Колесова.
Набор В.С.Румянцевой, Е.М.Граменицкой.
Макет Т.Е.Жильцовой. Подписано к печати 12.11.80.