

И-242

24/X.68

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

13 - 4045



С.А.Ивашкевич

УСТРОЙСТВО
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ
В ЯДЕРНЫХ МАГНИТОМЕТРАХ

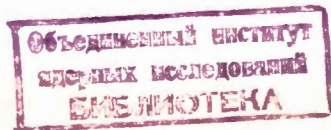
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1968

13 - 4045

С.А.Ивашкевич

УСТРОЙСТВО
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ
В ЯДЕРНЫХ МАГНИТОМЕТРАХ



7546/2 кр.

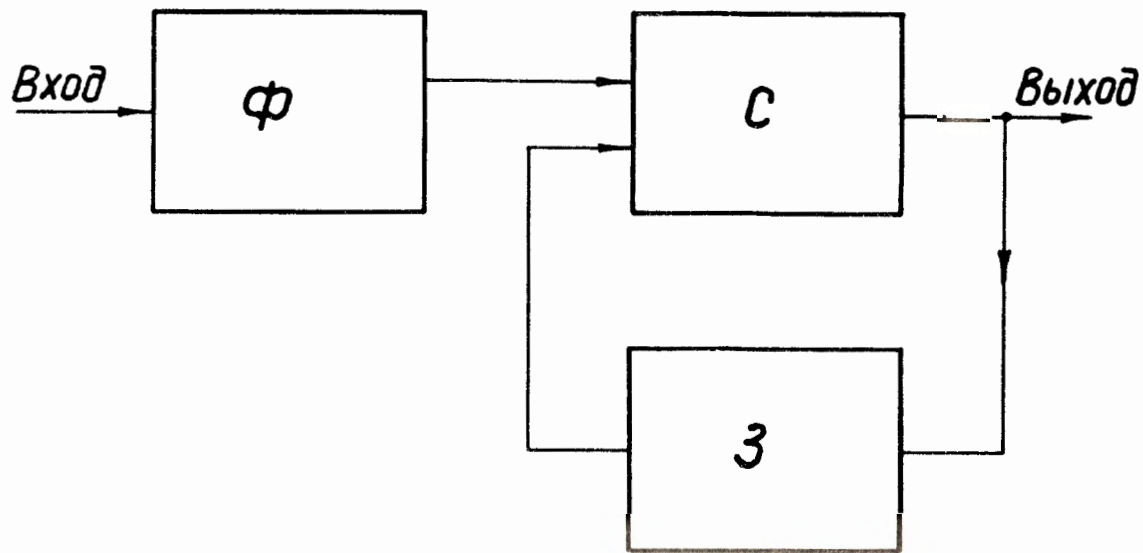
Достоинства автодинных детекторов ядерного магнитного резонанса ^{/1/} хорошо известны. Магнитометрия – одна из областей, где они успешно применяются. Однако из-за уменьшения отношения сигнал/шум (с/ш) автодинный метод мало пригоден для измерения слабых и неоднородных магнитных полей. Уменьшение, вместе с напряженностью поля, интенсивности сигнала я.м.р. ведет к снижению точности измерений или делает их вообще невозможными. К таким же результатам приводит повышение неоднородности измеряемого поля. Таким образом, при определенных условиях можно лишиться основного достоинства ядерных магнитометров – высокой точности измерения.

В настоящее время имеется ряд публикаций (например, ^{/2-8/}) с описанием схем и методов улучшения отношения с/ш в экспериментах, связанных с наблюдением сигнала я.м.р. Тем не менее проблема повышения уровня с/ш в ядерных магнитометрах остается актуальной.

В настоящей работе предлагается способ улучшения отношения с/ш в ядерных магнитометрах с автодинным методом регистрации сигнала поглощения. Он основан на использовании устройства с характеристиками, приближающимися к характеристикам линейного фильтра, оптимального для периодической последовательности видеоимпульсов. Целесообразность такого использования выяснилась из сравнения основных харак-

теристик магнитометров с предлагаемым устройством и без него. Для этого был взят прибор, предназначенный для измерения стационарных магнитных полей с осциллографическим методом индикации я.м.р. /7/. В случае равенства измеряемого поля $H_{изм.}$ и резонансного H_0 на выходе его детектора имеется последовательность импульсов с периодом $T = \frac{1}{2F_M}$. F_M - частота модулирующего поля.

Простой и достаточно эффективной реализацией оптимального фильтра для последовательности импульсных сигналов является совокупность частотного фильтра и суммирующего устройства с положительной задержанной обратной связью, у которой задержка равна периоду следования импульсов, а коэффициент передачи несколько меньше единицы /8/. Упрощенная блок-схема такого устройства показана на рис.1. Φ - частотный фильтр. Он легко может быть выполнен в виде простой RC -цепи с частотной характеристикой, близкой к оптимальной. С и З - суммирующее и задерживающее устройства, где происходит сложение (накопление) периодически повторяющихся импульсов. Хотя шумовые составляющие напряжения тоже складываются, тем не менее в силу случайности фазы шум будет нарастать медленнее сигнала, за счет чего и происходит улучшение отношения с/ш. Степень улучшения зависит от нескольких факторов: времени, в течение которого происходит накопление, коэффициента передачи цепи обратной связи, частотных характеристик элементов схемы. Фактор времени во многих случаях можно не учитывать. Действительно, при частоте модуляции F_M , равной нескольким десяткам или сотням герц, за одну секунду произойдет сложение десятков или сотен импульсов. Более существенное значение имеет коэффициент положительной обратной связи $K_{ос}$. Чем меньше он отличается от единицы, тем больше импульсов принимают участие в накоплении и, следовательно, тем больше выигрыш в отношении с/ш. Однако в этом случае есть опасность самовозбуж-



5

Рис.1. Блок-схема фильтра.

дения схемы. Предусмотрев возможность регулировки $K_{ос}$, его величину можно значительно приблизить к единице. Чтобы определить требования к частотным характеристикам накопительного устройства, необходимо знать спектр входного сигнала. Анализ последовательности импульсов на выходе датчика одного из приборов (в обозначениях /7/ - это ЯМ-П,) показал, что при реально используемых амплитудах модулирующего поля H_M гармоники выше 3-ей-5-ой не вносят большого вклада в мощность сигнала (рис.2). Результаты анализа относятся к последовательности импульсов с периодом T . Модуляция осуществлялась синусоидальным магнитным полем с частотой $F_M \approx 400$ гц. С помощью усилителя амплитуда сигнала при анализе доводилась до равенства величин первых гармоник.

Неширокий спектр сигнала, особенно при небольших H_M , позволил в качестве задерживающего устройства использовать простую LC линию задержки. Чтобы уменьшить ее габариты, частота модуляции была увеличена до ≈ 400 гц. Время задержки линии t_3 выбрано равным T , что выгодно отличается от случая, например, $t_3 = T_M = \frac{1}{F_M}$. При $t_3 = T$ обычно трудно устранимая помеха с частотой F_M существенно ослабляется, так как на этой частоте обратная связь оказывается отрицательной. Кроме того, при одинаковом со случаем $t_3 = T_M$ количестве накапливаемых импульсов время накопления сокращается вдвое. Это может быть полезно при поиске импульса.

Выбор времени задержки равным половине периода модуляции потребовал изменить способ регистрации резонансных условий ($H_{изм.} = H_0$). Если напряжение развертки электронно-лучевой трубки, как обычно, синусоидальное, и имеет ту же частоту, что и модулирующее поле, то в общем случае на экране можно наблюдать две пары импульсов. При изменении частоты высокочастотного напряжения автодиа или величины измеряемого поля импульсы совмещаются, образуя одну пару импульсов максимальной амплитуды в момент равенства $H_{изм.}$ и H_0 .

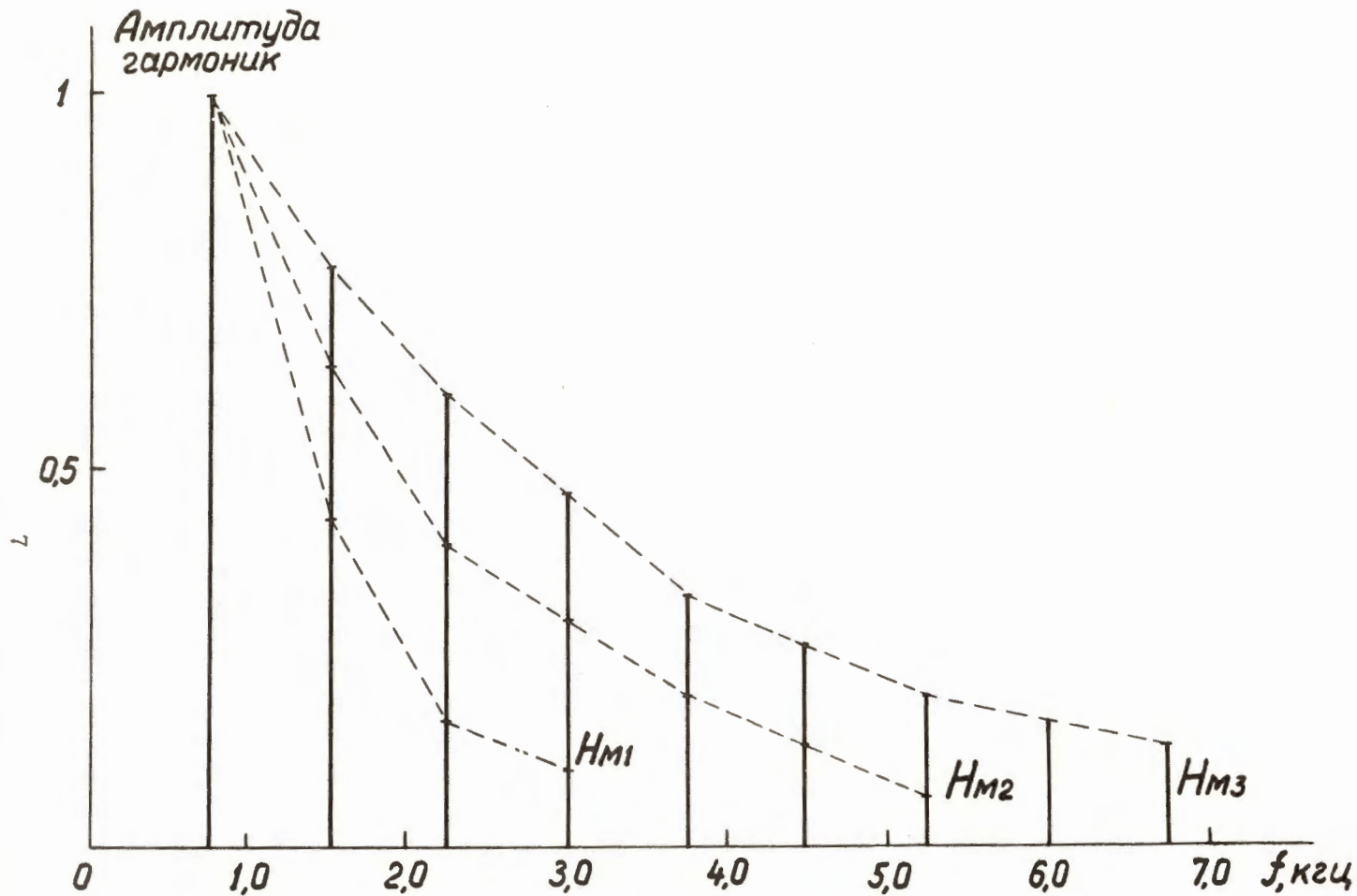


Рис.2. Спектральная характеристика сигнала я.м.р. $H_{M1} < H_{M2} < H_{M3}$.

Сравнение случайных погрешностей, связанных с регистрацией резонансных условий, способом "по опорной точке", обычно применяемым в осциллографическом методе, и предлагаемым способом "по максимальной величине сигнала" показало, что точность, обеспечиваемая последним, по крайней мере, не хуже. Сравнение велось в полях, обеспечивающих хорошее отношение с/ш, несколькими операторами.

Принципиальная схема накопительного устройства с усилителем резонансного сигнала представлена на рис.3. Сложение входного и задержанного импульсов происходит на входном сопротивлении двухкаскадного усилителя, включенного в цепь положительной обратной связи. Усилитель, не изменяя полярности сигнала, обеспечивает необходимую близкую к единице величину $K_{ос}$. Чтобы повысить стабильность $K_{ос}$ и несколько скомпенсировать неравномерность частотной характеристики линии задержки ЛЗ, в усилителе применяется частотно-зависимая отрицательная обратная связь. Величина $K_{ос}$ в небольших пределах регулируется резистором в цепи положительной обратной связи.

На рис.4 показана амплитудно-частотная характеристика описываемого устройства. Она имеет гребенчатый характер, и поэтому устройство с задержанной обратной связью называют гребенчатым фильтром. Сигнал снимался с выхода усилителя в цепи обратной связи. Неравномерность пропускания гармоник сигнала обусловлена, в основном, неравномерностью частотной характеристики ЛЗ.

Линия задержки состоит из 200 звеньев. Катушки индуктивности L намотаны на ферритовые кольца, емкость используемых конденсаторов $C=3600$ пф. Конструктивно линия оформлена таким образом, что ее объем - $150 \times 150 \times 60$ мм³. Магнитометр ЯМ-11, на базе которого сделан прибор с предлагаемым устройством, дополнен схемой (рис.5), обеспечивающей модулирующие катушки и горизонтальные пластины электронно-луче-

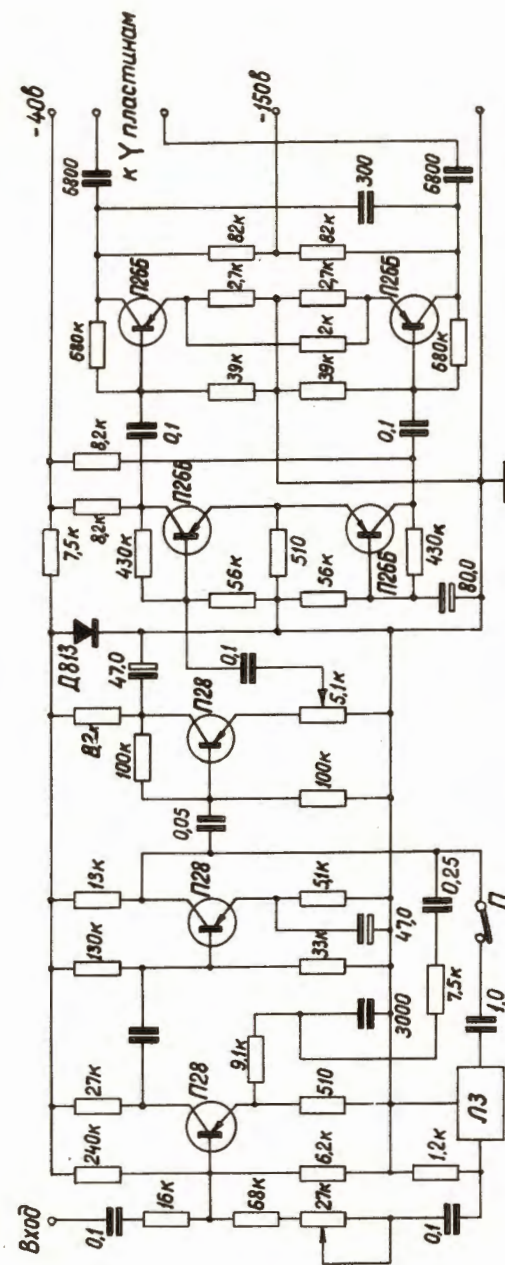


Рис.3. Принципиальная схема накопительного устройства и усилителя сигнала ЯМР.

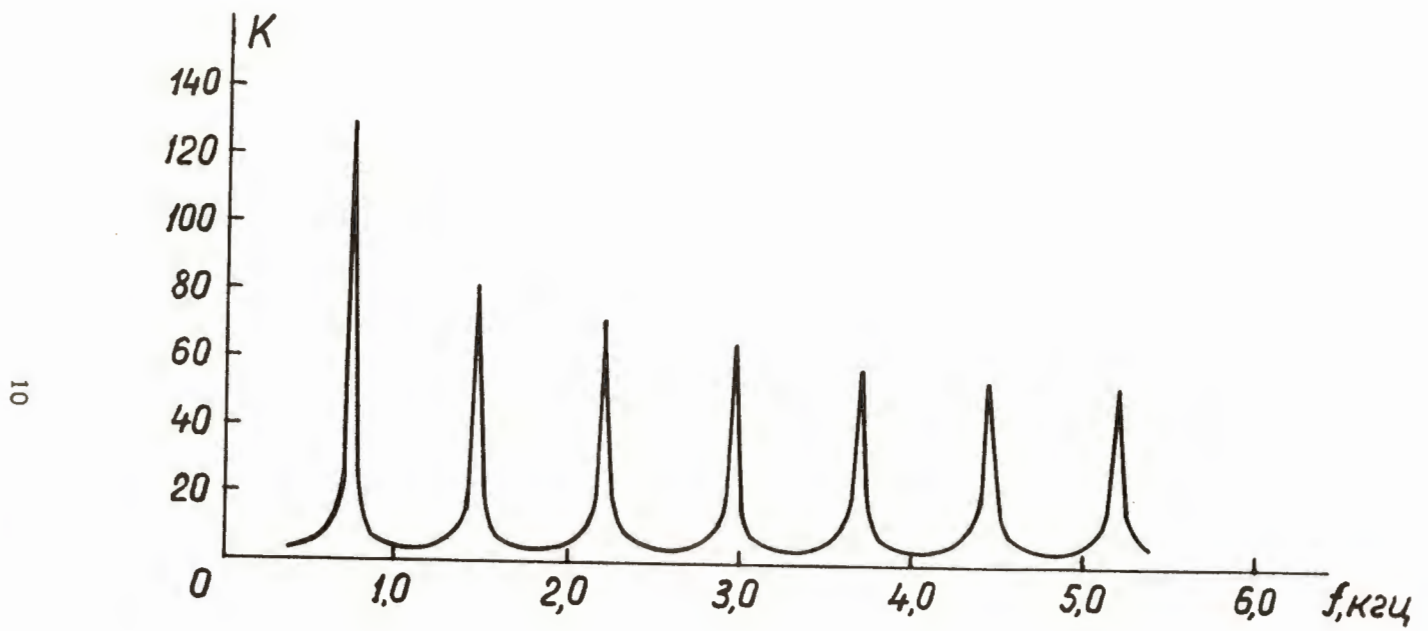


Рис.4. Частотная характеристика накопительного устройства.

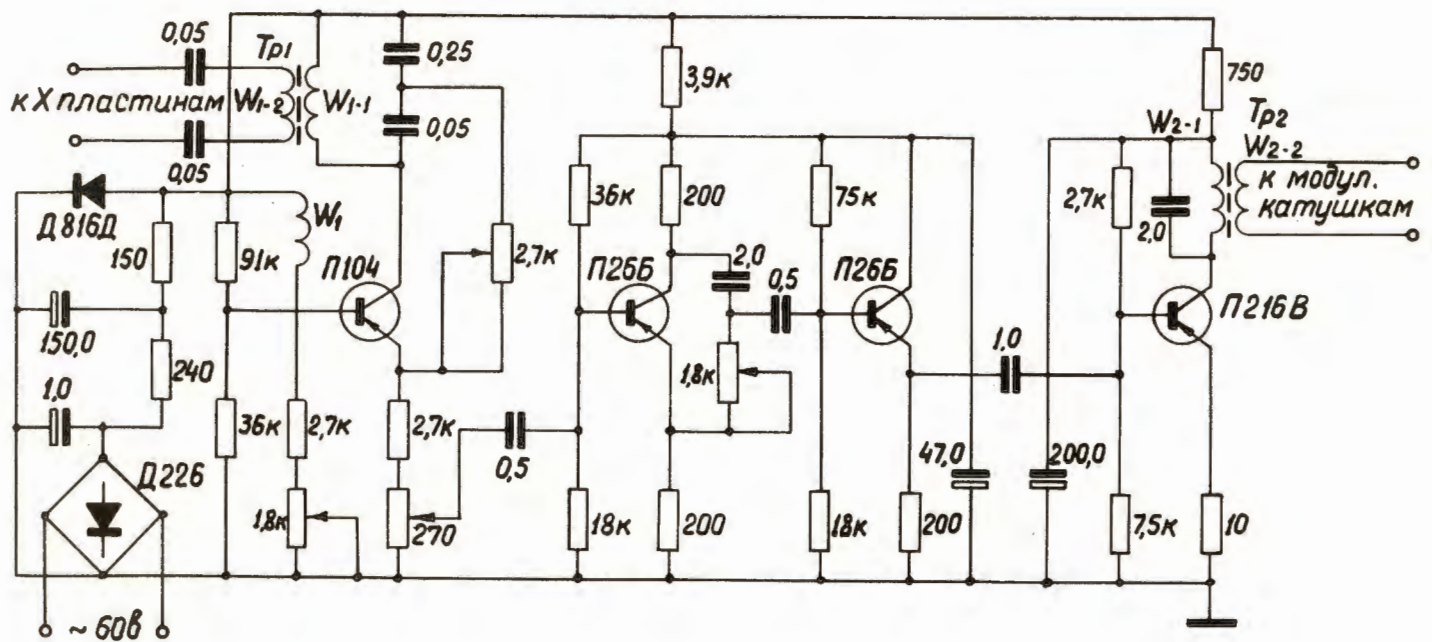


Рис.5. Принципиальная схема питания модулирующих катушек и горизон-

вой трубки напряжением с частотой ≈ 400 гц. Напряжение развертки снимается с обмотки W_{1-2} повышающего трансформатора $Tr1$. Первичная обмотка W_{1-1} служит индуктивностью колебательного контура генератора. На ферритовый сердечник трансформатора намотана еще обмотка подмагничивания W_1 . С ее помощью можно изменять частоту генератора так, чтобы выполнялось равенство $T = t_g$. Высокой точности выполнения этого равенства не требуется. Опыт показал, что различие в 1% незначительно уменьшает амплитуду импульса. Напряжение на схему модуляции снимается с эмиттерной цепи генератора. Модулирующие катушки подключаются к обмотке W_{2-2} понижающего трансформатора $Tr2$.

В полях, обеспечивающих хорошее отношение с/ш, магнитометр может работать без накопительного устройства. Положительная обратная связь разрывается переключателем П. Для регистрации в этом случае резонансных условий по опорной точке в схеме модуляции имеется фазовращатель.

Использование в ЯМ-И гребенчатого фильтра позволило без снижения точности измерения уменьшить нижний предел измеряемых полей в два раза, а допустимую неоднородность поля - увеличить в полтора. Конструкция и схема датчика магнитометра не менялись.

Рис.6 иллюстрирует работу фильтра. На нем даны фотографии сигналов я.м.р. при включенной и разорванной цепи положительной обратной связи.

На рис.7 показан внешний вид прибора.

В заключение считаю своим приятным долгом выразить благодарность Ю.Н.Денисову за внимание к работе, А.Н.Кокореву и З.Н.Шишлянниковой за помощь при изготовлении прибора.

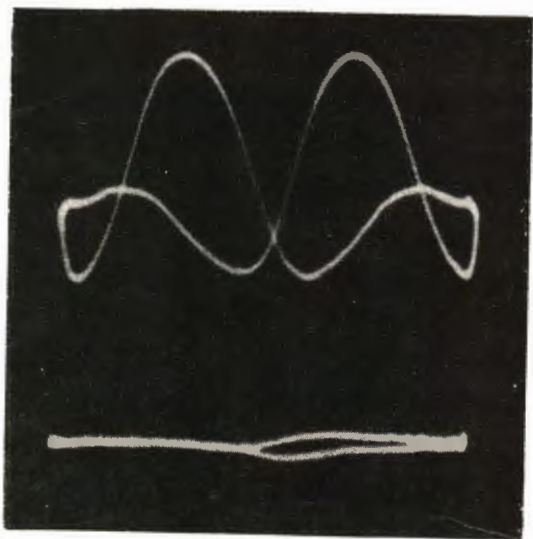


Рис.8. Осциллограмма сигналов ЯМР при включенной (вверху) и разорванной цепи положительной обратной связи.

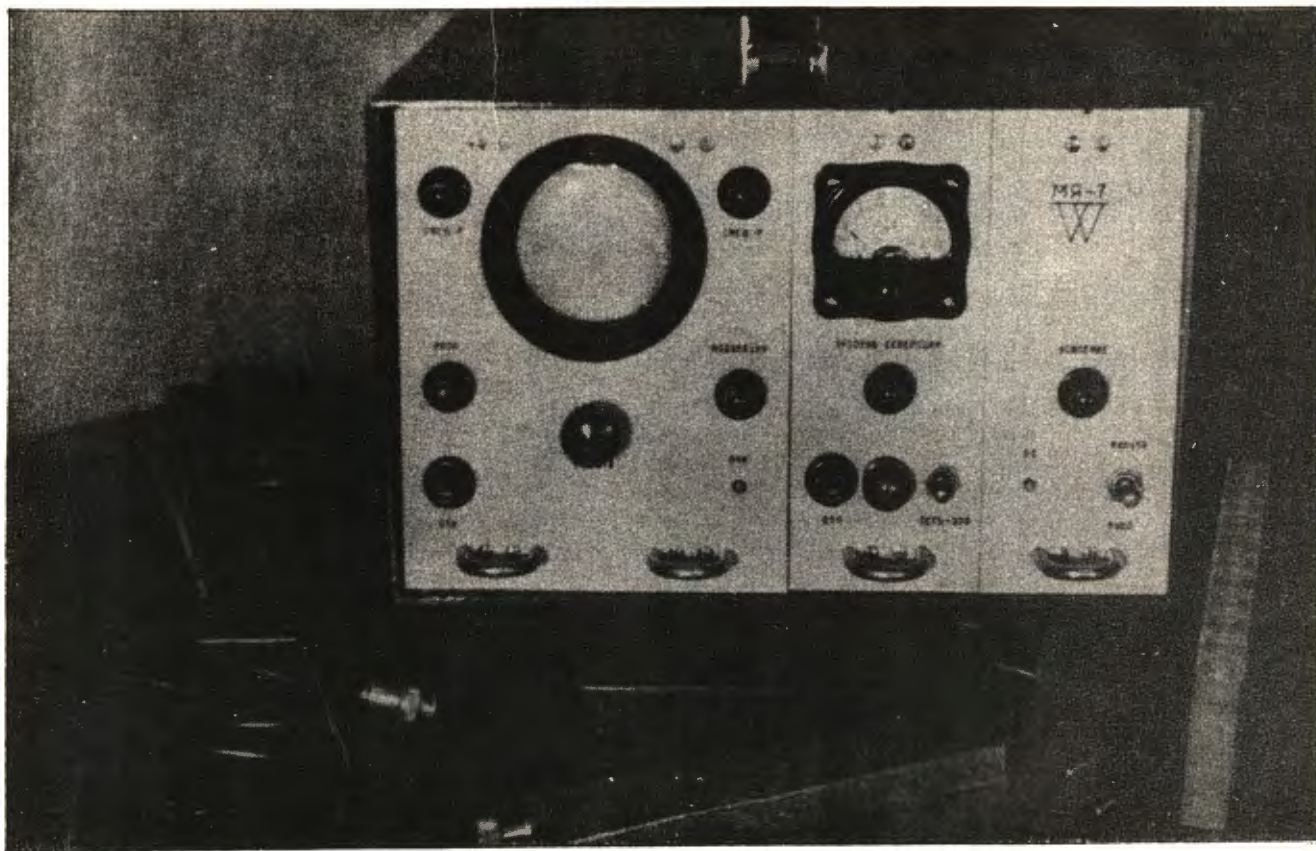


Рис.7. Общий вид магнитометра.

Л и т е р а т у р а

1. А.Леше. Ядерная индукция, Изд-во иностр. лит. 1963г.
2. П.М.Бородин, А.В.Мельников, А.А.Морозов, Ю.С.Чернышов. Ядерный магнитный резонанс в земном поле, Изд-во ЛГУ, 1967.
3. М.В.Морковин, Ю.Д.Нечаев. ПТЭ, №1, 132 (1968).
4. Д.П.Василевская, Л.В.Васильев, Ю.Н.Денисов. ПТЭ, №1, 174 (1965).
5. Г.С.Ануфриев, О.Ф.Афонин, Б.А.Мамырин. ПТЭ, №1, 121 (1964).
6. V.Dose. Nucl. Instr. and Methods, 34, 2, 253 (1965).
7. Ю.Н.Денисов, С.А.Ивашкевич. Измерительная техника, №2, 56 (1968).
8. Ю.С.Лезин. Оптимальные фильтры и накопители импульсных сигналов, Изд-во Сов. радио, 1963.

Рукопись поступила в издательский отдел
21 августа 1968 года.