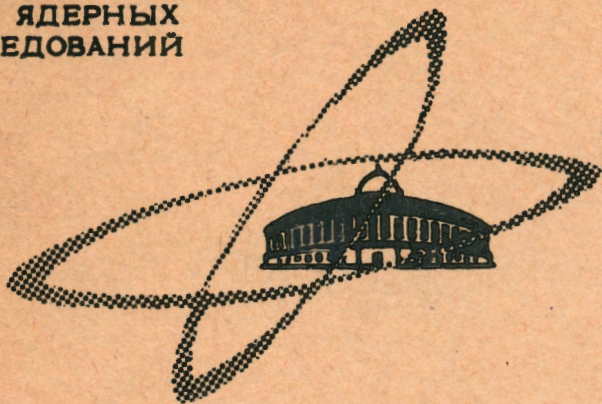


4969

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛ.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



13 - 4969

С.А. Ивашкевич

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

ШИРОКОДИАПАЗОННЫЙ ЯДЕРНЫЙ МАГНИТОМЕТР
НА ТРАНЗИСТОРАХ

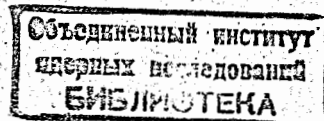
1970

13 - 4969

С.А. Ивашевич

**ШИРОКОДИАПАЗОННЫЙ ЯДЕРНЫЙ МАГНИТОМЕТР
НА ТРАНЗИСТОРАХ**

Направлено в ПТЭ



Магнитометры, использующие вынужденную прецессию вектора ядерной намагниченности, в настоящее время могут применяться не только как образцовые при градуировке и поверке магнитометров с меньшей точностью, но и непосредственно для исследования магнитных полей. Многие магнитометры имеют системы стабилизации радиочастотного магнитного поля вблизи оптимального значения, автоматического поиска сигнала и слежения частоты генератора за величиной измеряемого поля. Вместе с магнитометрами используются автоматические электронно-счётные частотомеры, имеющие цифровую индикацию в единицах магнитной индукции и позволяющие непосредственно вводить результаты измерений в вычислительную машину. Все это создает благоприятные условия для получения и обработки информации о магнитном поле.

Можно найти описание схем ядерных магнитометров с различными способами детектирования сигнала я.м.р. и регистрации резонансных условий, с разными конструкциями. Разнообразие схем и конструкций обусловлено разнообразием условий, в которых эти приборы применяются. В ускорительной технике и многих физических экспериментах, где часто используются магниты с большими диаметрами полюсных наконечников и иногда бывает необходимо вести измерения вдали от магнита, требуются приборы с датчиком, удаленным на большие расстояния. Магнитометры,

удовлетворяющие этому требованию, описаны в ^{1/1}. Эксплуатация их в разных лабораториях позволила, кроме положительных качеств, выявить некоторые присущие им недостатки, которые были учтены при разработке предлагаемой схемы магнитометра на транзисторах.

Один из существенных недостатков ядерных магнитометров, описанных в ^{1/1}, - микрофонный эффект. Если не применять специальных мер, даже очень слабые вибрации, которые обычно присутствуют в реальных условиях эксплуатации, вызывают значительные шумы на выходе усилителя. Особенно вреден микрофонный эффект, когда схема магнитометра используется в ядерных стабилизаторах магнитного поля. Возникшие вследствие вибраций переменные напряжения могут нарушить режим стабилизации и тем самым испортить эксперимент, проводимый на установках, магнитное поле которых стабилизируется. Основным источником микрофонного эффекта - лампа, применяемая в схеме датчика. Ограниченный срок службы лампы и большие размеры ламповой схемы также снижают эксплуатационные качества этих приборов.

В предлагаемой ниже транзисторной схеме ядерного магнитометра, который по своим характеристикам не уступает аналогичному ламповому прибору, микрофонный эффект практически отсутствует. Использование транзисторов позволило значительно уменьшить габариты как датчика, так и всего прибора. Срок службы датчика увеличен.

На рис. 1 приведена полная принципиальная схема магнитометра. В нем используется автогенераторный метод детектирования сигнала, поглощения я.м.р. и осциллографический способ регистрации резонансных условий. Детектор я.м.р. выделен в отдельный блок-датчик. Он является наиболее ответственной частью прибора. От его схемы и особенно от схемы генератора во многом зависят основные характеристики прибора. При выборе схемы генератора учитывались следующие требования: генератор магнитометра должен быть высокочастотным и широкодиапазонным,

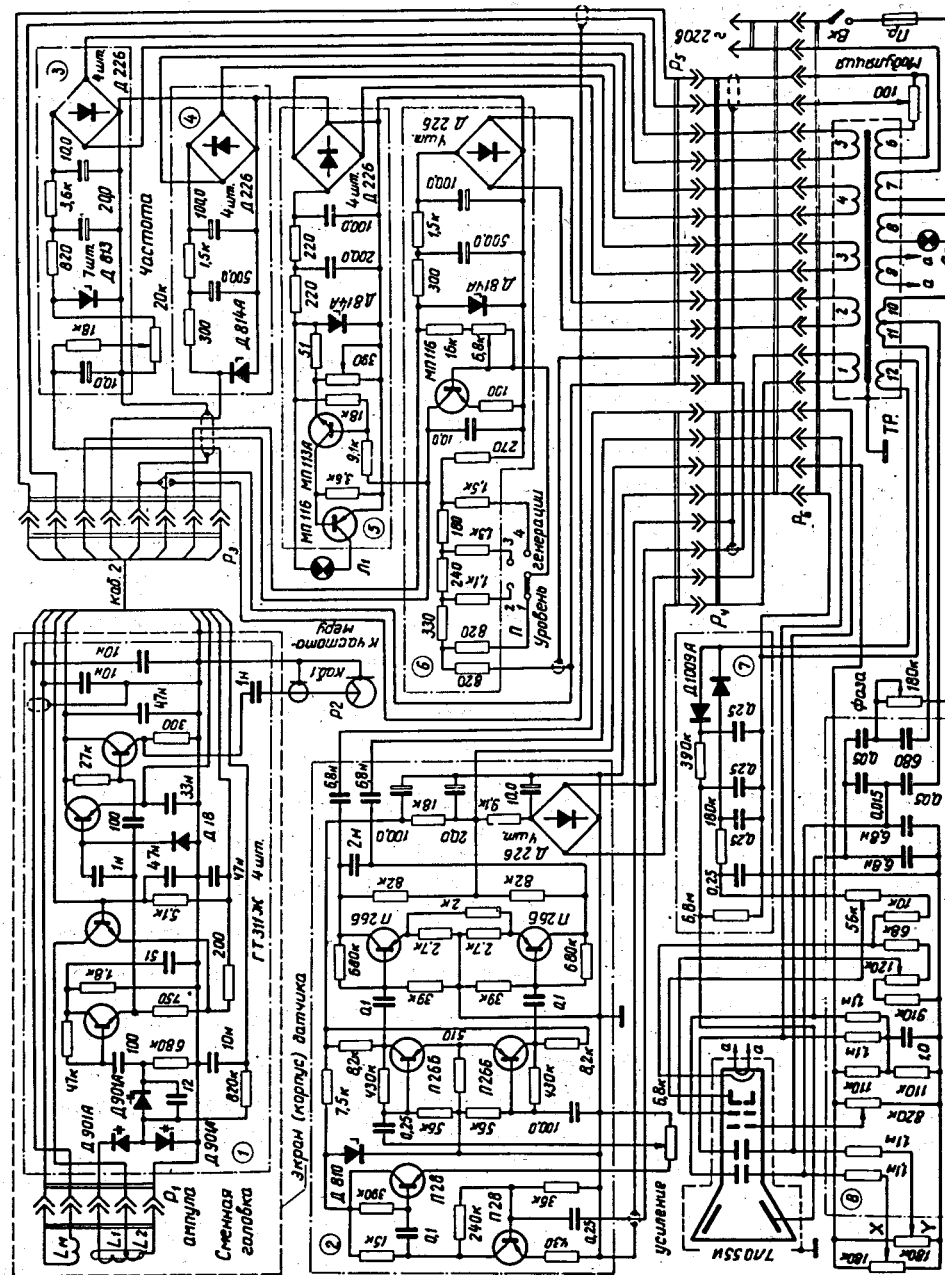


Рис. 1.

позволять регулировку и стабилизацию амплитуды высокочастотного напряжения, иметь высокую добротность цепи колебательного контура, и не быть слишком громоздким. С большой тщательностью исследовались двухтранзисторные схемы автогенераторов, так как однотранзисторные, как показала практика, не удовлетворяют большинству предъявляемых требований, а увеличение числа транзисторов увеличивало не только габариты датчика, но, как правило, и шумы.

Предлагаемая схема генератора наиболее полно удовлетворяет указанным требованиям. Ее основой является трехточечная схема LC-генератора с емкостной связью, причем коллектор транзистора подключен к части индуктивности колебательного контура. Для лучшего согласования транзистора с контуром используется эмиттерный повторитель с резисторным делителем в эмиттерной цепи. Делитель необходим для уменьшения коэффициента передачи напряжения и повышения входного сопротивления эмиттерного повторителя. Непосредственное соединение эмиттеров значительно снизило бы входное сопротивление повторителя из-за небольшого сопротивления эмиттерного входа усилительного каскада. Коллекторная цепь эмиттерного повторителя подобрана так, чтобы обеспечить нормальный режим транзистора по постоянному току и несколько снизить коэффициент обратной связи генератора в низкочастотной области.

Магнитометр предназначен для измерения полей в диапазоне $0,05 + 2,5$ тл. Так как в качестве рабочего вещества используется вода, то этому диапазону полей соответствует частотный диапазон $\approx 2+110$ Мгц. Весь диапазон полей (частот) разбит на 10 поддиапазонов. Переход от одного поддиапазона к другому осуществляется заменой стеклянной ампулы с рабочим веществом, на которую намотана катушка индуктивности колебательного контура. Внутри каждого поддиапазона частота генератора изменяется двумя варикапами, включенными параллельно индуктивности. При снижении напряжения смещения на варикапах амплитуда высоко-

частотного напряжения уменьшается, но одновременно с этим увеличивается емкость третьего варикапа, включенного в цепь связи колебательного контура с входом эмиттерного повторителя. Таким образом, третий варикап несколько компенсирует изменения амплитуды, связанные с изменением параметров контурных варикапов от напряжения смещения.

В схеме датчика можно использовать варикапы типа Д901 или им подобные и практически любые транзисторы типа ГТ311 и ГТ313. В зависимости от применяемого типа транзисторов может понадобиться изменить в датчике лишь полярность питающих напряжений, коэффициент включения индуктивности и, возможно, — делитель в эмиттерной цепи (в небольших пределах).

Параметры катушек индуктивностей для разных поддиапазонов даны в таблице 1.

Для уменьшения межвитковой емкости первые две катушки намотаны в два слоя прилегающими друг к другу секциями, остальные — однослойные. Длина намотки всех катушек приблизительно равна диаметру ампулы.

Крайние значения измеряемых полей каждого поддиапазона соответствуют напряжениям смещения на варикапах $\approx 3,5$ и 80 в. Плавная регулировка смещения осуществляется с помощью многооборотного потенциометра. Расширить поддиапазоны можно, уменьшив минимальное значение смещения. При этом, однако, надо иметь в виду, что расширение поддиапазонов может привести к таким изменениям параметров схемы, компенсировать которые применяемым способом, без уменьшения отношения сигнал/шум, невозможно.

Грубая компенсация изменений параметров схемы от частоты осуществляется изменением соотношений между частями индуктивности L_1 и L_2 при переходе от одного поддиапазона к другому. Внутри поддиапа-

Таблица 1

поддиапа- зон ТЛ	0,0460- -0,0675	0,0645- -0,0978	0,0923- -0,145	0,139- -0,222	0,213- -0,334	0,316- -0,518	0,505- -0,805	0,798- -1,18	1,18- -1,77	1,76- -2,48
Диаметр ампулы мм	8,5	7,3	7,1	5,8	4,2	3,2	2,5	1,9	1,7	1,7
Число витков	178+17	142+13	100+11	75+8	60+8	39+7	29+8	21+8	11+7	6+6
Диаметр провода мм	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,13

8

зона регулировка уровня генерации осуществляется изменением эмиттерного тока усилительного каскада генераторного транзистора.

Уменьшение отношения сигнал/шум наблюдается при малых токах эмиттера.

В значительной степени отношение сигнал/шум в магнитометре зависит от схемы амплитудного детектора. Было опробовано несколько диодных и транзисторных схем детекторов, проверялась возможность детектирования на транзисторах генератора. Предпочтение было отдано схеме, содержащей высокочастотные диод и транзистор. Нагрузкой детектора служит емкость конденсатора, расположенного в датчике, и сопротивление входных цепей усилителя и схемы стабилизации амплитуды генерируемого напряжения; расположенных вне датчика. Чтобы меньше шунтировать колебательный контур, высокочастотное напряжение на детектор подается не непосредственно с контура, а через эмиттерный повторитель генератора.

Выход повторителя кроме детектора соединяется с расположенным в датчике согласующим каскадом. Этот каскад, представляющий собой простой эмиттерный повторитель, согласует входное и выходное сопротивления соответственно частотомера и генератора.

С частотомером датчик соединен десятиметровым высокочастотным кабелем, с остальной частью магнитомера - восьмижильным кабелем такой же длины. Длина кабелей - не критичная и может быть изменена.

Датчик состоит из двух легко разделяемых частей. Одна из них (сменные головки) содержит катушку, создающую модулирующее поле, и расположенную внутри нее ампулу с индуктивностью колебательного контура, другая - всю остальную часть схемы датчика. Размеры датчика 150 x 30 x 12 мм³. Толщина датчика (12 мм) определяет минимально допустимый зазор магнитов. Длина сменных головок (70 мм) вы-

нужденно увеличена. Объясняется это необходимостью удалить детали датчика, содержащие ферромагнитные вещества (корпуса транзисторов, диодов, их выводные концы), от области, в которой измеряется поле.

Удаленная от датчика часть магнитометра состоит из трех блоков, объединенных одним приборным корпусом (рис. 2). В одном из блоков размещены низкочастотный усилитель резонансного сигнала и его питание (схема 2); в другом - источники питания варикапов и транзисторов датчика, схемы стабилизации и контроля амплитуды высокочастотного напряжения генератора (схемы 3,4,5,6); в третьем - трансформатор, электронно-лучевая трубка, на которой наблюдается сигнал я.м.р., и ее питание (схемы 7,8).

Схемы 7,8 и 2 мало отличаются от описанных в /1/, поэтому здесь обсуждаться не будут. Схемы 3,4 - простые и пояснений не требуют.

Схема стабилизации амплитуды высокочастотного напряжения представляет собой однокаскадный усилитель постоянного тока, вход которого связан с выходом амплитудного детектора, а выход - с базовой цепью усилительного каскада генератора. Схема работает таким образом, что увеличению амплитуды высокочастотного напряжения соответствует уменьшение эмиттерного тока генераторного транзистора и, следовательно, уменьшение его коэффициента усиления. Резисторный делитель на входе схемы позволяет при одинаковом изменении тока регулируемого каскада (от 0,3 до 10 ма) стабилизировать разные уровни высокочастотного напряжения. Разные уровни необходимы для получения наибольшей величины сигнала я.м.р. в зависимости от используемого поддиапазона. Оказалось достаточным для всего диапазона иметь только четыре переключения. Двум-трем поддиапазонам соответствует одно положение переключателя П.

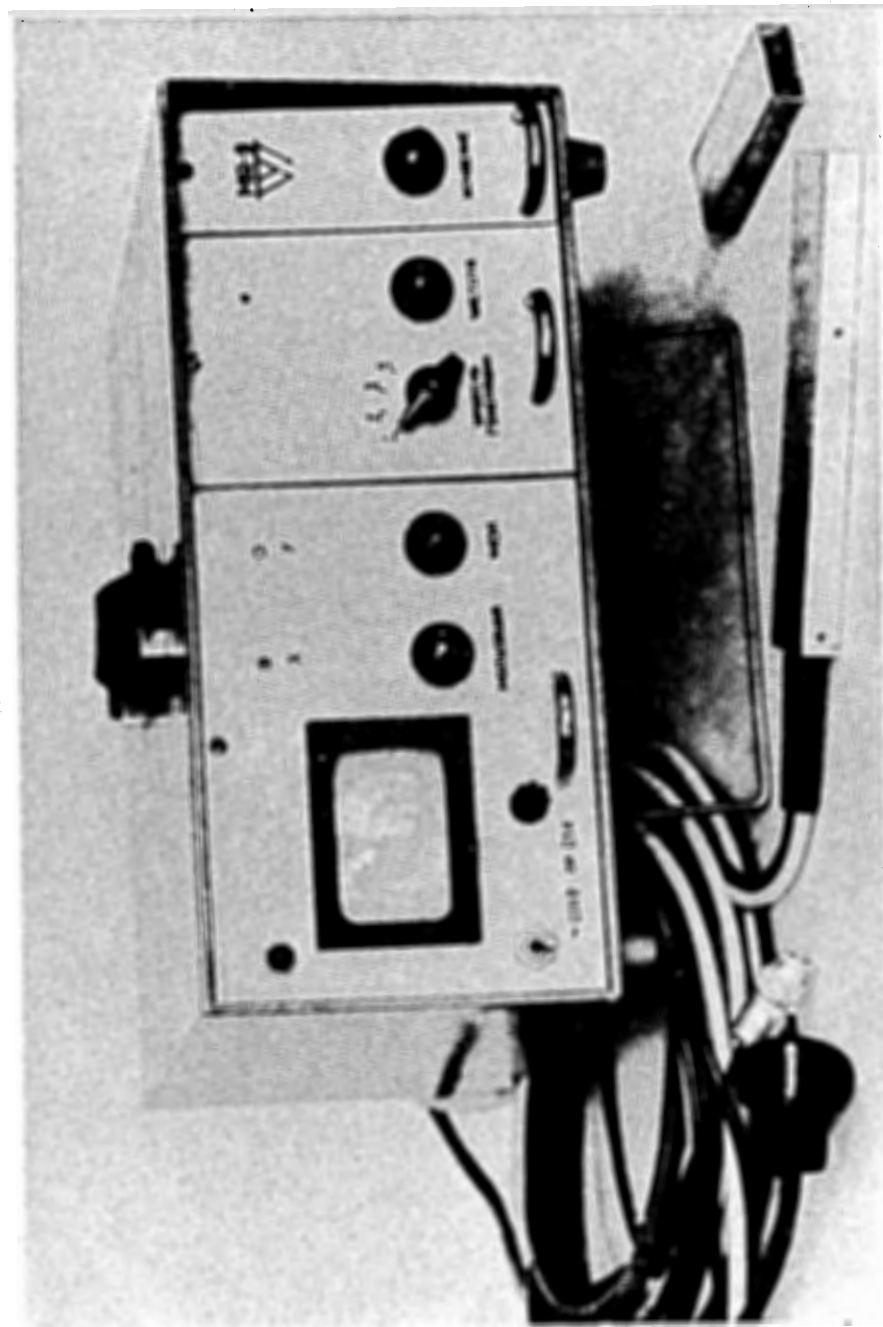


Рис. 2.

В магнитометре применена схема контроля, связанная со схемой стабилизации. Она указывает на наличие или отсутствие высокочастотного напряжения. Когда генератор не работает, транзисторы схемы открываются и загорается лампочка Л1. Такой указатель полезен, так как в приборе минимальное напряжение смещения на варикапах, при котором генератор перестает работать, — величина не фиксированная и может изменяться в зависимости от соотношения между L_1 , L_2 при замене транзисторов и т.п.

Переменные напряжения 50 гц на все источники питания, модулирующую катушку, пластины горизонтальной развертки трубки поступают от соответствующих обмоток силового трансформатора. Сечение стали трансформатора — 5,5 см². Его намоточные данные приведены в таблице 2.

Для устранения наводки на электронно-лучевую трубку и схему прибора от трансформатора трубка и трансформатор заключены в железные экраны толщиной 1,5 мм.

Выделенные штрих-пунктирной линией части схемы (исключая схему датчика) смонтированы на отдельных платах с использованием печатного монтажа. Для датчика использовался монтаж на штырьках с двух сторон фольгированной пластины из стеклотекстолита.

Корпус датчика, который одновременно является экраном, изготовлен из посеребренной латуни толщиной 1 мм.

На рис. 3 и 4 показаны фотографии импульсов в поле 0,1 тл, соответственно, при неоднородности 0,5 и 0,05% на 1 см. Эти фотографии дают некоторое представление об отношении сигнал/шум в приборе. В меньших полях это отношение несколько хуже, а в больших — лучше.

Испытания прибора показали, что при точности измерения 0,01% допустимая неоднородность поля на 1 см — 1% для индукций больше 0,08 тл, и — 0,6% для индукций \approx 0,05 тл. В полях с неоднородностью, меньше допустимой, точность измерений выше. Точность, как и в //

Таблица 2

Обмотки	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Число витков	1200	210	170	210	700	80	1570	60	50	1400	1400	4800
Диаметр провода мм	0,14	0,14	0,25	0,14	0,14	0,25	0,33	0,25	0,59	0,1	0,1	0,1

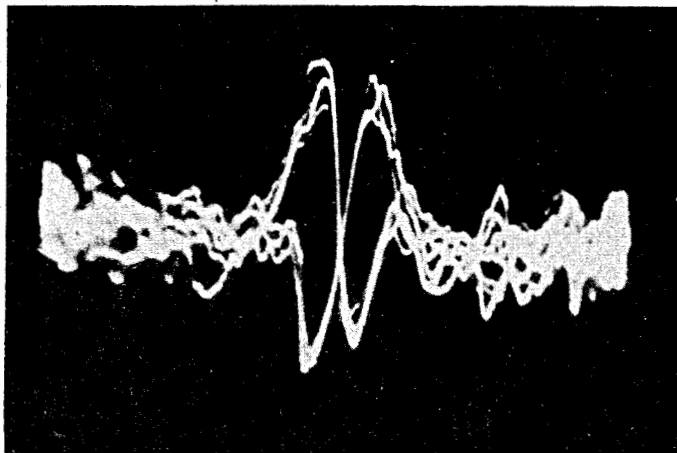


Рис. 3.

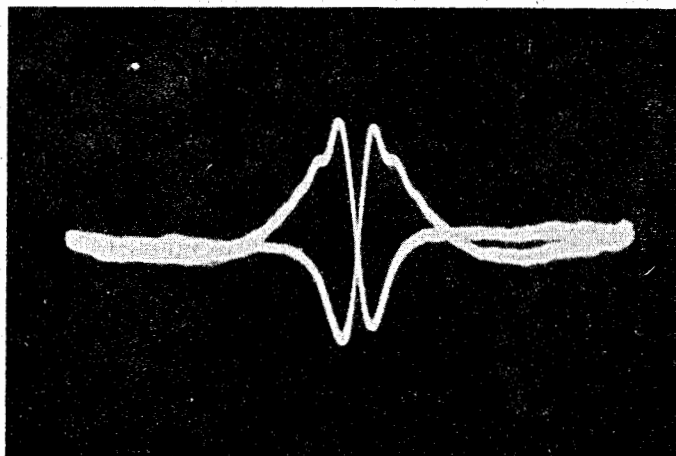


Рис. 4.

определялась из отношения $\frac{\Delta V_k}{\sqrt{n}}$, где ΔV_k — среднеквадратичная погрешность, полученная из $n = 10$ измерений выбранного значения магнитного поля. При измерении использовался электронно-счётный частотомер, описанный в ^{12/}.

В заключение автор считает своим приятным долгом выразить благодарность Ю.Н. Денисову и П.Т. Шишляникову, прочитавшим рукопись и сделавшим полезные замечания, Г.П. Шияновской за участие в работе, А.Н. Кокореву и Х.Ф. Салахатдинову за помощь в изготовлении прибора.

Л и т е р а т у р а

1. Ю.Н. Денисов, С.А. Ивашкевич. Измерительная техника, 1968, №2, 56.
2. Ю.Н. Денисов, В.М. Лачинов, Ю.И. Сусов, П.Т. Шишляников. Измерительная техника, 1968, №1, 49.

Рукопись поступила в издательский отдел
10 марта 1970 года.