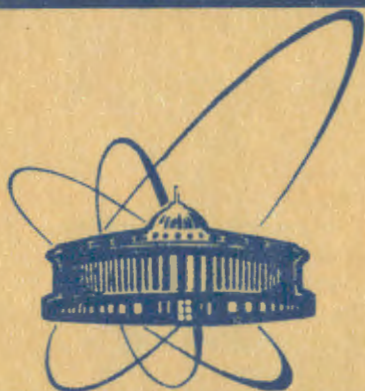


85-146



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

13-85-146

В.Н.Матафонов

ПРИБОР ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ СИГНАЛОВ
МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА ЯДЕР ДЕЙТЕРИЯ
В ПОЛЕ 2,08 Т

1985

ВВЕДЕНИЕ

Для измерения поляризации мишеней с ориентированными ядрами широко применяются методы ядерного магнитного резонанса /ЯМР/^{1/}, в частности - метод Q-метра. Если вещество мишени поместить в катушку индуктивности колебательного контура, который возбуждается от внешнего радиочастотного /РЧ/ генератора, то при выполнении условий ЯМР импеданс контура и связанное с ним входное напряжение Q-метра будут изменяться в соответствии с интенсивностью поглощения энергии РЧ-поля системой ядерных спинов вещества мишени.

Для измерения поляризации протонных мишеней обычно применяют Q-метр с последовательным колебательным контуром на входе. Длину кабеля, соединяющего катушку индуктивности контура с входом Q-метра, выбирают кратной $\lambda/2$, где λ - длина волны, соответствующая частоте наблюдения сигнала ЯМР. Для уменьшения систематических погрешностей при измерении поляризации применяют фазовую автоподстройку /ФАП/ частоты настройки измерительного контура^{2/}. Поляризация мишени определяется сравнением интегральных интенсивностей сигналов ЯМР протонов, поляризованных динамическим способом /усиленных/ и находящихся в тепловом равновесии с решеткой /равновесных/. При этом предполагается, что величина равновесной поляризации известна /она легко рассчитывается, если известны значение напряженности магнитного поля и температура/.

Измерение поляризации дейтронов методом Q-метра имеет свои особенности, связанные с различием магнитных характеристик протонов и дейтронов. Так, например, интенсивность сигнала ЯМР дейтронов на 2 порядка ниже интенсивности сигнала ЯМР равного количества протонов, находящихся в одинаковом магнитном поле, что требует соответствующего увеличения чувствительности и повышения помехоустойчивости системы измерения. Далее, частота наблюдения сигналов ЯМР дейтронов в 6,5 раз ниже, чем протонов, поэтому использование соединительного кабеля с длиной, кратной $\lambda/2$, приводит к соответствующему ослаблению сигнала и увеличению уровня помех. Более приемлемым следует считать применение короткого ($l < \lambda/4$) кабеля и параллельного колебательного контура на входе. Кроме того, из-за увеличения относительной девиации частоты генератора Q-метра /приблизительно в 6-10 раз, что обусловлено большей шириной сигнала ЯМР дейтронов и более низкой частотой наблюдения/, соответственно увеличивается влияние амплитудно-частотной характеристики /АЧХ/ контура на точность регистрации сигнала.

С учетом перечисленных особенностей был разработан Q-метр с параллельным колебательным контуром на входе. Длина соединительного кабеля $< \lambda/4$, а применение жесткой ФАП в 30 раз уменьшило влияние АЧХ-контура и механических помех.

СХЕМА ПРИБОРА

На рис.1 приведена схема генератора радиочастотных колебаний, стабилизатора амплитуды генератора и высокочастотного фазовращателя.

Генератор Q-метра собран по схеме емкостной трехточки на полевом транзисторе /ПТ/ Т3. Для развертки частоты и настройки генератора служат варикапы D6 и D7, управляемые услителем-согласователем уровней А2. На разъем 3 подается положительное пилообразное напряжение развертки, а на разъем 4 - напряжение настройки на рабочую частоту. Применение ПТ позволило существенно упростить схему стабилизации уровня колебаний генератора за счет исключения регулирующего каскада, который также мог быть дополнительным источником шума. Высокочастотное напряжение со стока Т3 поступает на буферный повторитель Т1, с выхода которого через аттенюатор (S1) и резистор связи /12 кОм/ - на измерительный контур /выход А/. Выходное напряжение генератора подается также на амплитудный детектор (D1, D2) схемы стабилизации амплитуды. Протектированное напряжение поступает на один из входов дифференциального усилителя А1, на другой вход которого через тер-

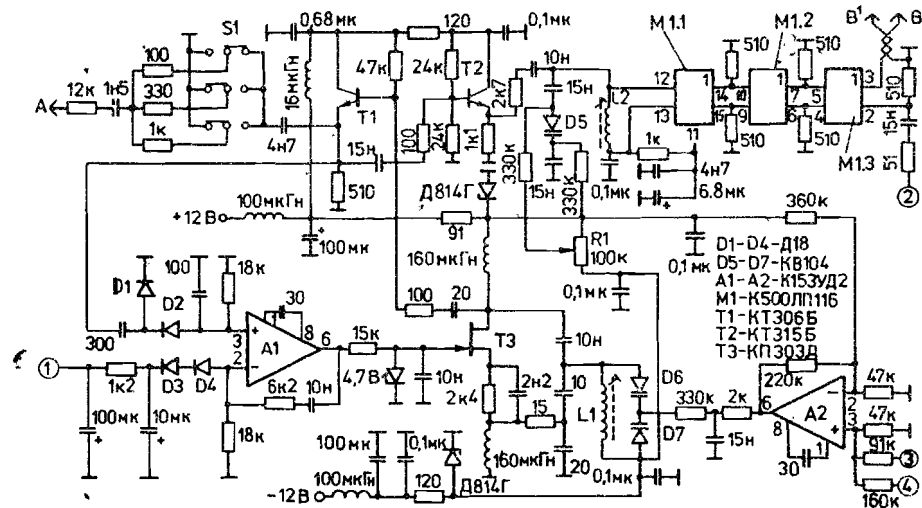


Рис.1. Принципиальная схема генератора, стабилизатора амплитуды и фазовращателя /L1 = 1,7 мкГн, L2 = 1 мкГн/. Цепи питания А1-А2 и М1 не показаны.

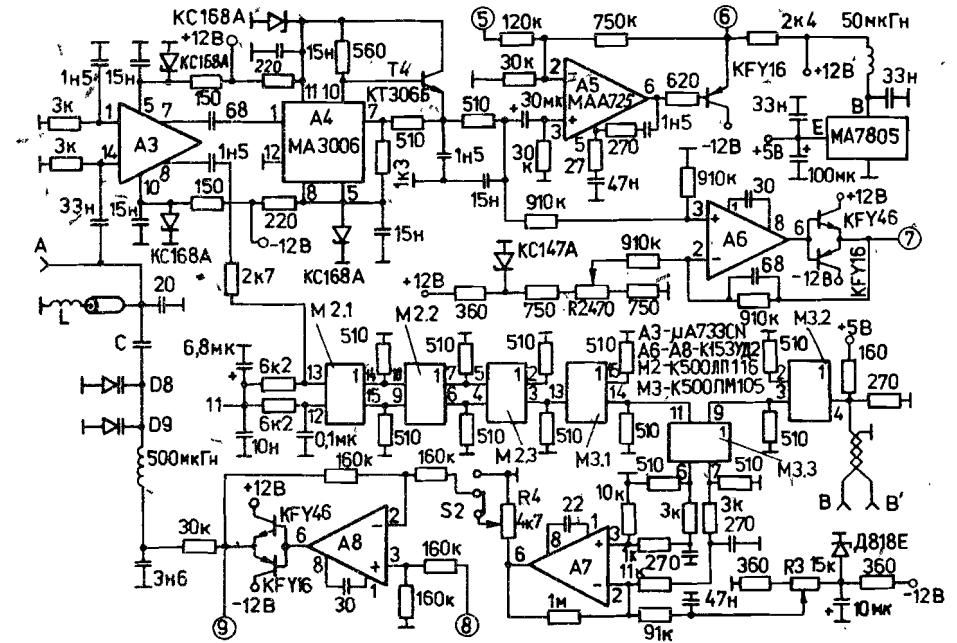


Рис.2. Принципиальная схема УВЧ, амплитудного детектора, предварительного УНЧ и схемы ФАП. Цепи питания А6-А8, М2-М3 не показаны.

мокомпенсирующие диоды (D3, D4) подается опорное напряжение /разъем 1/. Сигнал с выхода А1 управляет крутизной преобразования ПТ, а следовательно, и амплитудой колебаний генератора. Регулировкой опорного напряжения можно установить необходимый уровень высокочастотного напряжения на измерительном контуре.

Фазовращатель опорного напряжения фазового детектора /ФД/ собран на параллельном колебательном контуре (L2, D5), подключенном к выходу генератора через повторитель Т2. Изменение фазы колебаний /почти до +90°/ на выходе фазовращателя производится путем перестройки контура резистором R1. Сигнал с контура фазовращателя подается на вход усилителя-формирователя М1. С одного из выходов элемента М1.3 напряжение прямоугольной формы поступает на разъем 2 через резистор 51 Ом /для контроля частоты/, а с другого через согласованную линию /выходы В, В'/ - на вход опорного сигнала ФД.

На рис.2 приведена схема усилителя высокой частоты /ВЧ/, амплитудного детектора, каскада предварительного усиления низкочастотного сигнала и ФД.

Усилитель ВЧ собран на микросхеме широкополосного дифференциального видеоусилителя μ A733CN /А3/. К одному из выходов А3

подключен активный амплитудный детектор, выполненный на микро-схеме широкополосного дифференциального усилителя МА3006 /А4/, в цепь отрицательной обратной связи которого включен переход эмиттер-база транзистора Т4. Применение активного детектора позволило уменьшить требуемый коэффициент усиления УВЧ /в данном случае до $K=4$ /. В результате диапазон линейности Q-метра по входу оказался в пределах 4 ± 100 мВ.

С выхода амплитудного детектора сигнал через разделительный конденсатор поступает на вход маломощного предусилителя-компенсатора А5, с выхода которого через буферный повторитель подается на разъем 6. На разъем 5 поступает компенсирующее пилообразное напряжение. В буферном каскаде /А6/ осуществляется компенсация постоянного напряжения на выходе амплитудного детектора и выделение сигнала, соответствующего амплитуде ВЧ-колебаний. Выделенный сигнал подается на разъем 7 для контроля за уровнем колебаний на детекторе.

Фазовый детектор собран с применением цифровых микросхем эмиттерно-связанной логики серии 500 /М2-М3/ и включает в себя также усилитель постоянного тока /А7, А8/ и корректирующие цепи. Сигнал с выхода системы ФАП /разъем 9/ управляет величиной электрически регулируемой емкости (D8, D9) измерительного LC-контура так, что уменьшает фазовый сдвиг между током ВЧ, подаваемым на контур, и напряжением, снимаемым с контура /в данном случае приблизительно в 5 раз/. Настройка измерительного контура при работе схемы ФАП осуществляется регулировкой фазы опорного напряжения, подаваемого на ФД с фазовращателя. Переключателем S2 можно разомкнуть цепь ФАП. В этом случае настройка контура производится изменением напряжения, подаваемого на разъем 8.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Описанный Q-метр был применен для исследования динамической поляризации ядер в полностью дейтерированных этандиоле и пропандиоле ¹³/, а также для измерения поляризации дейтронной поляризованной замороженной мишени /ПЗМ/, выполненной на базе протонной ПЗМ ¹⁴.

В первом случае исследуемые образцы помещались в специальный контейнер из тефлона с толщиной стенки 0,5 мм и диаметром 12 мм. Катушка индуктивности /L = 1,1 мкГн/ содержала 5 витков посеребренного провода, намотанного с шагом 1,5 мм поверх контейнера. Для соединения катушки с Q-метром был изготовлен специальный коаксиальный кабель длиной около 2 м с волновым сопротивлением 135 Ом, причем на рабочей частоте /13,6 МГц/ импеданс кабеля имел емкостный характер с эквивалентной емкостью 67 пФ. Конденсатор С /рис.2/ имел емкость 100 пФ. Чувствительность описанной системы оказалась таковой, что при температуре образца -0,5 К удавалось наблюдать равновесный сигнал дейтронов. На рис.3 приведен сигнал

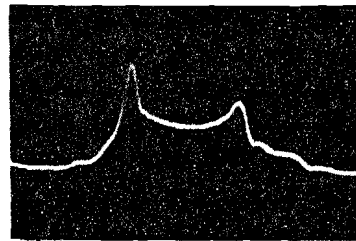


Рис.3. Спектр дейтронного магнитного резонанса в полностью дейтерированном этандиоле / $P_D = -42\%$ /.
Ю.А.Усова за помощь в работе.

ЯМР дейтронов, поступающий с выхода Q-метра на регистрирующую аппаратуру /после компенсации остаточной АЧХ контура/. Максимальный коэффициент амплитудной модуляции, определенный как отношение максимальной амплитуды сигнала ЯМР к уровню несущей, не превышал 1%.

Во втором случае использовались катушки и кабель, примененные в протонной ПЗМ для измерения поляризации протонов /на частоте 88,7 МГц/. Величина емкости С /рис.2/ на входе Q-метра была увеличена до 1,5 нФ. Индуктивность измерительной катушки $L = 0,24$ мкГн, волновое сопротивление кабеля, настроенного на частоту 88,7 МГц, - 50 Ом. В результате, из-за уменьшения коэффициента заполнения катушки и ухудшения чувствительности системы величина сигнала ЯМР упала приблизительно в 4 раза, но осталась достаточной для его надежной регистрации.

В обоих случаях рабочая частота Q-метра была 13,6 МГц /индукция магнитного поля - 2,08 Т/, девиация /развертка/ частоты - линейная в пределах ± 200 кГц, уровень ВЧ-напряжения на измерительном контуре - 40 мВ, коэффициент уменьшения АЧХ контура при работе ФАП - не менее 30.

В заключение автор благодарит Н.С.Борисова, М.Ю.Либурга, Ю.А.Усова за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джеффрис К. Динамическая ориентация ядер. "Мир", М., 1965.
2. Petricek V. Nucl. Instr. and Meth., 1968, 58, p. 111.
3. Борисов Н.С. и др. ЖЭТФ, 1984, 87, с. 2234.
4. Борисов Н.С. и др. ОИЯИ, 1-80-98, Дубна, 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел
27 февраля 1985 года.

В Объединенном институте ядерных исследований начал выходить сборник "Краткие сообщения ОИЯИ". В нем будут помещаться статьи, содержащие оригинальные научные, научно-технические, методические и прикладные результаты, требующие срочной публикации. Будучи частью "Сообщений ОИЯИ", статьи, вошедшие в сборник, имеют, как и другие издания ОИЯИ, статус официальных публикаций.

Сборник "Краткие сообщения ОИЯИ" будет выходить регулярно.

The Joint Institute for Nuclear Research begins publishing a collection of papers entitled *JINR Rapid Communications* which is a section of the *JINR Communications* and is intended for the accelerated publication of important results on the following subjects:

Physics of elementary particles and atomic nuclei.
Theoretical physics.
Experimental techniques and methods.
Accelerators.
Cryogenics.
Computing mathematics and methods.
Solid state physics. Liquids.
Theory of condensed matter.
Applied researches.

Being a part of the *JINR Communications*, the articles of new collection like all other publications of the Joint Institute for Nuclear Research have the status of official publications.

JINR Rapid Communications will be issued regularly.



Матафонов В.Н.

13-85-146

Прибор для наблюдения сигналов магнитного резонанса ядер дейтерия в поле 2,08 Т

Описан чувствительный Q-метр с параллельным колебательным контуром для измерения поляризации ядер дейтерия в магнитном поле 2,08 Т /на частоте 13,6 МГц/. Применение фазовой автоподстройки частоты настройки измерительного контура позволило существенно уменьшить влияние параметров последнего на точность регистрации спектров ядерного магнитного резонанса. Приведены принципиальные схемы и основные характеристики прибора. Q-метр был применен для исследования динамической поляризации ядер в полностью дейтерированных этандиоле и пропандиоле, а также для измерения поляризации дейтронной замороженной мишени.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод О.С.Виноградовой

Matafonov V.N.

13-85-146

A Device for Observation of Deuterium NMR Signals in 2.08 T Magnetic Field

A sensitive parallel circuit Q-meter for deuterium polarization measurements in 2.08 T magnetic field (at 13.6 MHz frequency) is described. The use of phase automatic control of the measurement circuit resonance frequency permitted to diminish essentially the effect of its parameters on the accuracy of NMR spectra registration. Electronic circuits and main parameter of the device are presented. Q-meter was applied to investigate dynamic polarization of deuterium nuclei in completely deuterated ethandiol and propandiol and to measure deuteron frozen target polarization.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985