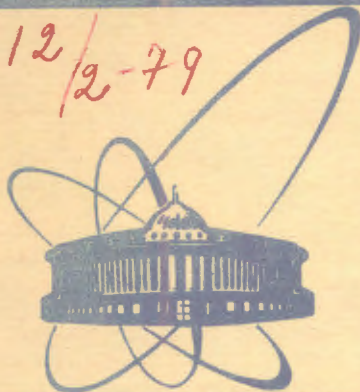


4912/2-79



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

С 344.2

0-583

3/12-79

13 - 12520

К.Ондреичка, И.Страхота

ПРИБОР ДЛЯ ЗАПИСИ СПЕКТРОВ ЯМР  
ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ ПОЛЯРИЗАЦИИ  
ПРОТОННЫХ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ МИШЕНЕЙ

1979

13 - 12520

К.Ондрейчка, И.Страхота

ПРИБОР ДЛЯ ЗАПИСИ СПЕКТРОВ ЯМР  
ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ ПОЛЯРИЗАЦИИ  
ПРОТОННЫХ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ МИШЕНЕЙ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Ондрейчка К., Страхота И.

Прибор для записи спектров ЯМР при измерениях поляризации протонных поляризованных мишеней

С целью повышения точности измерения поляризации протонных поляризованных мишеней /ППМ/ методом Q-метра создан прибор для цифрового преобразования спектров ЯМР, полученных на выходе Q-метра, с помощью стандартного амплитудно-цифрового преобразователя /АЦП/. Прибор управляет частотой ВЧ-генератора Q-метра и превращает сигнал Q-метра в серию импульсов, которые направляются на вход АЦП. Кроме того, он вырабатывает управляющие сигналы для АЦП и устройства записи. Эти сигналы возникают только по внешнему запросу /сигналу готовности устройства записи/, так что процессом измерения может управлять экспериментатор или ЭВМ.

В работе описаны принципы работы прибора, приведены его принципиальная схема и технические характеристики. Описано использование прибора в эксперименте по рассеянию нейтронного пучка на ППМ. По сравнению с интеграторами сигнала Q-метра описанный прибор позволяет улучшить точность калибровки Q-метра посредством измерения поляризации ППМ в состоянии теплового равновесия, а также точность определения высокой поляризации ППМ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Ondrejčka K., Strachota J.

A Module for Digitalization of NMR Spectra at Polarization Measurements of Polarized Proton Targets

The module which can interface a conventional Q-meter and a conventional ADC is described. It transforms the Q-meter-measured NMR spectra to the sequence of microsecond pulses on a suitable pedestal which are directed to the ADC input. Besides this main function, the module generates the saw-tooth voltage to control the frequency of the Q-meter HF generator, compensates the Q-meter baseline, and produces control pulses for the ADC and the storage device. These control pulses are produced only after the "device command" signal is obtained, which can be generated also manually. The circuitry of the module is described, the principal scheme and calibration curves are given. The performance of the module in an experiment with a polarized proton target and a neutron beam of 600 MeV is reported.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problem.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

## ВВЕДЕНИЕ

Для измерения поляризации протонных поляризованных мишеней /ППМ/ наиболее широкое распространение получили методы, связанные с обработкой сигналов ЯМР, выделенных с помощью Q-метра<sup>1/</sup>. Обычно с выхода Q-метра снимается периодическая последовательность сигналов, форма которых воспроизводит функциональную зависимость изменения модуля импеданса колебательного контура при периодической линейной модуляции частоты питающего генератора. В последующем изложении будем употреблять термин "сигнал", когда в выходном напряжении Q-метра присутствуют составляющие, связанные с парамагнитным поглощением энергии в контуре ЯМР /рис. 1а/, а при отсутствии таковых использовать термин "фон" /рис. 1б/.

Будем далее называть линией ЯМР разностный сигнал, полученный при вычитании "фона" из "сигнала". В классической постановке поляризация определяется из измерений интегралов от "сигнала" и "фона" с помощью аналогового интегратора, присоединенного к выходу Q-метра. Точные измерения поляризации ППМ требуют, однако, не только знания интегральных значений, но также и информации о форме линии ЯМР<sup>2/</sup>. Описываемый прибор в соединении с Q-метром и стандартным АЦП превращает "сигнал" /"фон"/ в серию чисел, готовую к записи на разные носители или в память ЭВМ.

## ПРИНЦИП РАБОТЫ ПРИБОРА

Блок-схема прибора представлена на рис. 2. Основная функция прибора заключается в разбении поступающего на основ-



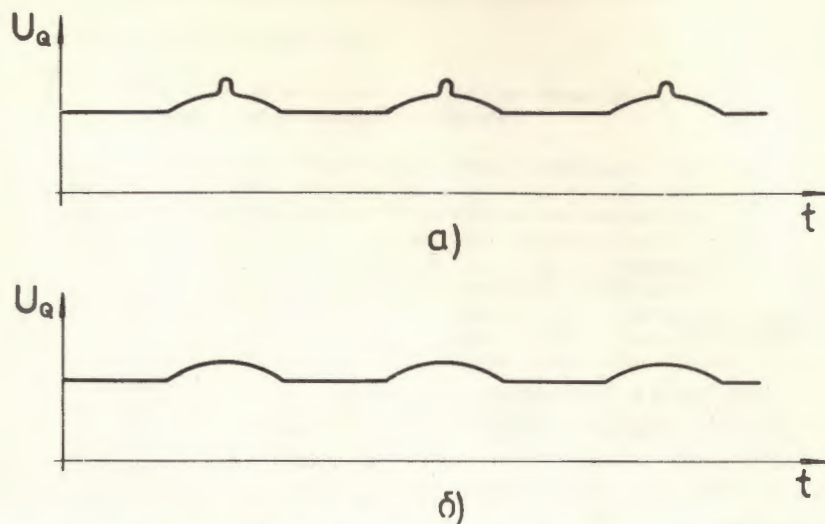


Рис. 1. а/ Сигнал Q-метра с вкладом от ядерного магнитного резонанса /ЯМР/. б/ Сигнал Q-метра без вклада ЯМР.

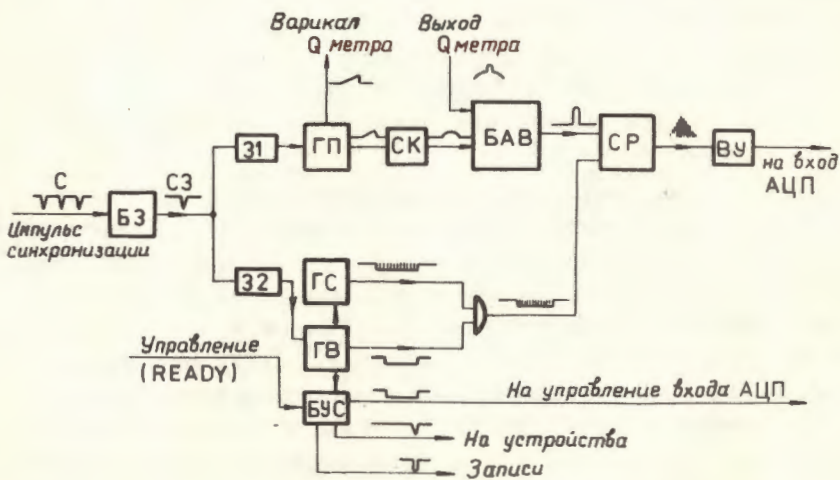


Рис. 2. Блок-схема прибора. БЗ - блок запуска; 31, 32 - регулируемые задержки; ГП - генератор пилы; СК - схема компенсации; БАС - блок аналогового вычитания; СР - схема разбиения; ВУ - выходной усилитель; ГВ - генератор ворот; ГС - генератор строга; БУС - блок управляющих сигналов.

ной вход сигнала с Q-метра на серию импульсов с огибающей, воспроизводящей форму входного сигнала. Эти импульсы далее преобразуются в числа на АЦП с управляемым входом. Управляющий сигнал для преобразования на АЦП одной серии импульсов вырабатывается в приборе только при условии готовности устройства записи, о чем свидетельствует приход отрицательного фронта ТТЛ-сигнала на вход управления. О готовности устройства записи можно сообщить прибору также с помощью унопки.

Кроме этой основной функции прибор вырабатывает пилообразные импульсы для управления частотой генератора Q-метра, компенсирует медленное изменение напряжения, связанное с изменением модуля импеданса самого колебательного контура Q-метра /далее используется термин "компенсация дуги"/ и выдает сигналы управления устройствами записи.

Входные сигналы синхронизации от внешнего источника поступают на блок запуска /БЗ/. После приема заданного числа импульсов БЗ выдает сигнал запуска /СЗ/. Он поступает через регулируемые задержки 31; 32 на входы генератора пилообразного напряжения ГП и генератора ворот ГВ. Пилообразные импульсы с регулируемой амплитудой и длительностью направляются с ГП на варикап ВЧ-генератора Q-метра и на схему компенсации /СК/. Выходное напряжение со схемы компенсации - участок параболы на пьедестале. Форма этого напряжения регулируется так, чтобы на дифференциальном усилителе блока аналогового вычитания /БАС/ "скомпенсировать дугу" колебательного контура. Пьедестал служит /рис. 3/ для обеспечения одинаковых условий работы последующих после БАС цепей при разных знаках поляризации мишени /т.е. разных полярностях сигнала ЯМР/. Сигнал ЯМР на пьедестале, наконец, разбивается схемой разбиения /СР/ на импульсы, которые поступают на вход АЦП. Разбиение происходит соответственно серии стробирующих импульсов, выработанной на выходе схемы ворот из импульсов генератора строга ГС. Импульс ворот поступает также на блок управляющих сигналов /БУС/.

Этот блок вырабатывает импульс управления входом АЦП и импульсы конца преобразования, нужные для устройства записи.



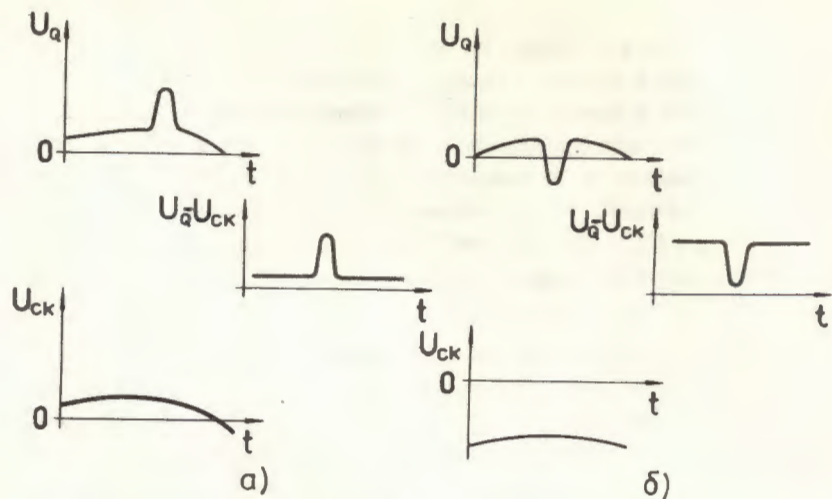


Рис. 3. Компенсация "дуги" и использование пьедестала для случаев а/ положительной, б/ отрицательной полярности мишени.  $U_q$  - напряжение на выходе Q-метра;  $U_{CK}$  - компенсирующее напряжение;  $U_q - U_{CK}$  - сигнал на выходе блока аналогового вычитания.

### ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРИБОРА

Принципиальная схема прибора приведена на рис. 4. Ее можно условно разделить на две ветви, выполняющие, соответственно, логические /БЗ, ГВ, ГС, БУС/ и аналоговые функции /ГП, СК, БАВ, СР, ВУ/.

#### а/ Ветвь логических блоков

Блок запуска состоит из формирователя синхриимпульсов от переменного напряжения 50 Гц /промышленная сеть переменного тока/, установочного счетчика и формирователя сигналов запуска. Формирователь синхриимпульсов собран на диодах Д1, Д2 и транзисторе Т1 и дает возможность осуществлять синхриизацию от положительной или отрицательной полуволны. Установочный счетчик собран на трех ТТЛ-схемах МН 7493, уста-

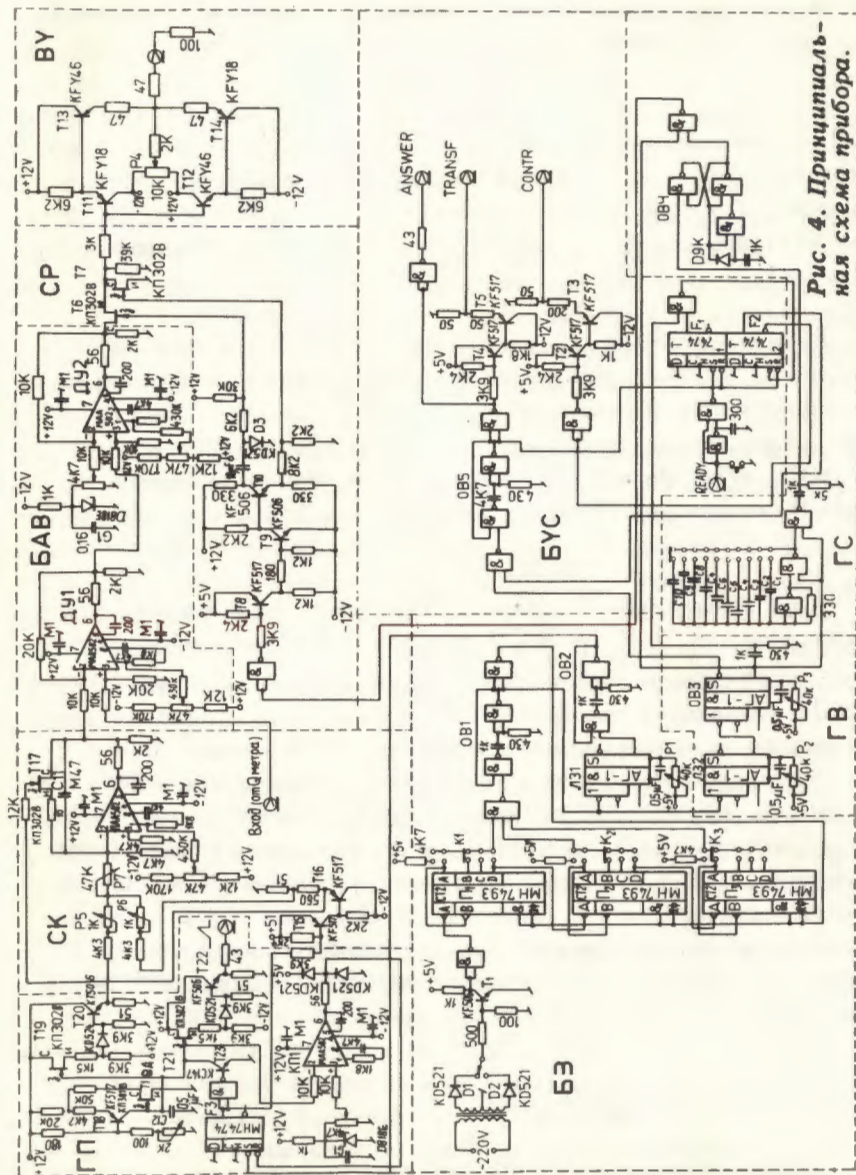


Рис. 4. Принципиальная схема прибора.



новка счетчика на заданное число осуществляется переключателями К1, К2, К3. Импульс запуска формируется одновибратором ОВ1 и поступает на линию задержки ЛЗ1, задающую время начала пилообразных импульсов. Время задержки плавно регулируется потенциометром Р1.

*Генератор ворот* работает с отдельной линией задержки ЛЗ2. Задним фронтом импульса с выхода ЛЗ2 запускается одновибратор ОВ3, вырабатывающий импульс ворот для обработки сигнала Q-метра. Этот импульс используется для управления генератором строба и также поступает на блок управляющих сигналов.

*Генератор строба* собран по схеме асимметричного мультивибратора на двух инверторах. Один вход второго инвертора используется для управления импульсом с ГВ. Частота повторения импульсов задается емкостями С1-С10 в пределах 10-100 кГц. Импульсы строба формируются одновибратором ОВ4. Их длительность равна 2 мкс.

*Блок управляющих сигналов.* При появлении на входе управления низкого ТТЛ-уровня формируется 100-нс импульс, который перебрасывает триггер F1 по входу S. На выходе Q-триггера F1 появляется высокий ТТЛ-уровень, совпадение которого с началом импульса ворот перебрасывает по входу S-триггер F2. Триггер F2 после этого разрешает преобразование на БАП /Q-выход F2 используется для формирования импульса управления входом БАП на буферном усилителе Т2,Т3/. Сигнал сброса F1, F2 в исходное состояние формируется по заднему фронту импульса ворот. Этот же сигнал подается и на выходы управления устройствами записи. Преобразование уровня ТТЛ на -6 В, нужное для управления АИ-4096, обеспечено буферным усилителем /Т4, Т5/.

#### *б/ Аналоговая часть*

*Генератор пилы /ГП/.* Пилообразные импульсы снимаются с емкости С<sub>12</sub>, заряжаемой от источника постоянного тока. Ем-

кость закорочена открытым транзистором Т23 до тех пор, пока на вход триггера F3 не поступил сигнал запуска, далее Т23 закрыт, напряжение на С12 линейно растет, и в момент достижения заданного уровня компаратор КМ1 перебрасывает F3 в исходное состояние, Т23 снова открывается и разряжает емкость С<sub>12</sub>. Главным элементом ГП является источник постоянного тока. Он выполнен на биполярном и униполярном транзисторах Т18А, Т19, связанных через сопротивление в эмиттере Т18. Такое решение обеспечивает хорошую компенсацию падения тока в процессе заряда емкости. Схема проверялась с нагрузочным сопротивлением от 0 до 15 кОм, при этом ток 0,7 мА не отличался от среднего значения больше чем на 1 мкА. Пилообразные импульсы через эмиттерные повторители на униполярных Т19, Т21 и биполярных Т20, Т22 транзисторах поступают на схему компенсации и варикап ВЧ-генератора Q-метра.

*Схема компенсации* на пассивном сумматоре складывает пилообразный и прямоугольный импульсы одинаковой длительности /причем, последний вырабатывается на ключе Т15, Т16, управляемом триггером F3 /. Сумма интегрируется на интеграторе И, на выходе которого получается участок параболы /дуга/. Форма дуги регулируется потенциометрами Р5, Р6, Р7 сумматора. Разряд рабочей емкости С11 интегратора обеспечивает электронный ключ Т17, управляемый ключом Т15, Т16.

*Блок аналогового вычитания* представляет собой каскад из двух дифференциальных усилителей ДУ1, ДУ2. В первом /ДУ1/ осуществляется вычитание дуги из сигнала, приходящего на неинвертирующий вход от Q-метра /"компенсация дуги"/; на ДУ2 скомпенсированный ЯМР-сигнал складывается с пьедесталом.

*Схема разбиения* состоит из управляемых электронных ключей на полевых транзисторах Т6, Т7. Выбранная комбинация последовательного и параллельного ключей <sup>3/</sup> позволяет достигать минимальных сигналов ошибки. Для обеспечения правильной работы ключей нужно подавать на их затворы парафазные сигналы, которые обеспечивают одновременное переключение. Эти сигналы снимаются с коллекторного и эмиттерного сопротивлений транзистора Т10, работающего с распределенным нагрузочным сопротивлением. Каскад Т8, Т9 усиливает им-



пульсы строба. Диод ДЗ предотвращает утечку тока через затвор Т6 при отрицательном сигнале на входе схемы разбienia. Схема позволяет осуществлять разбиение сигналов с амплитудой  $\pm 5$  В при частоте повторения стробирующих импульсов до 1 МГц.

Выходной усилитель работает в линейном режиме с единичным усилением по напряжению и обладает в широком частотном диапазоне большим входным импедансом /100 кОм/  $^{1/4}$ . Он собран на двух комплементарных парах транзисторов Т11, Т12, Т13, Т14 с усилением  $h_{21E} = 100$ . Наличие резистора R4 позволяет точно балансировать каскад.

Монтаж выполнен на печатной плате, изготовленной с помощью системы ГРАФ  $^{15}$  на ЭВМ БЭСМ-6. Прибор занимает один блок в стандарте ВИШНЯ /потребление тока: +6 В/330 мА, +12 В/110 мА, -12 В/100 мА/.

#### Технические характеристики

Важные для эксплуатации данные о входных и выходных сигналах приведены в табл. 1.

Некоторые другие характеристики прибора даны в табл. 2.

#### КАЛИБРОВКА ПРИБОРА

Для измерения нелинейности преобразования входного сигнала в серию чисел с помощью описываемого прибора и кодировщика БАП-6М использовался источник напряжения, цифровой вольтметр, анализатор АИ-4096 и цифровая печать. На вход блока подавалось постоянное напряжение, измеряемое цифровым вольтметром. Серия чисел с выхода кодировщика записывалась в анализатор, работающий в режиме последовательной записи, и распечатывалась. На рис. 5 представлены калибровочные кривые для разных высот пьедестала и обеих полярностей напряжения на входе при частоте повторения строба 50 кГц. Если зависимость полученного на выходе кодировщика числа N от напряжения на входе U выразить в форме

$$N = aU + bU^2 + c,$$

то находим значения a, b, c приведенные в табл. 3.

Таблица 1





Сигнал	Обозначение вх./вых.	Импеданс вх./вых.	Напряжение вх./вых.	Длительность	Замечание
вход / выход Q-метра/		20 кОм	до +10 В	2÷20 мс	
Импульс готовности устройства записи	READY	ТТЛ	ТТЛ	-	
Основной выход / "разбитый" сигнал ЯМР/		100 Ом	до +5 В	2 мкс	серия импульсов
Управление АЦП	CONTR	50 Ом	-2В	2÷20 мс	
Передача данных с АИ-4096	TRANSF	50 Ом	-6 В	1,5 мкс	сигналы конца преобразования
Ответ НР 2117	ANSWER	ТТЛ	ТТЛ	1,5 мкс	
Пила для Q-метра		50 Ом	≤ 2 В	2÷20 мс	

Таблица 2

Частота генератора строба	10, 20..., 100 кГц
Пределы регулировки пересчета для запуска	$2^0 - 2^{11}$
Пределы регулировки задержек для генераторов "пилы" и ворот	0-10 мс
Нелинейность пилообразного напряжения	0,1%

Таблица 3

Пьедестал /№ канала/	a /канал/V/	b /канал/V <sup>2</sup> /	c /канал/	Диапазон напряжений на входе /В/
20	368,1 $\pm$ 1,2	0,5 $\pm$ 2,0	20,1 $\pm$ 0,5	0 $\div$ 2,000
50	369,3 $\pm$ 1,2	-0,9 $\pm$ 2,0	50,0 $\pm$ 0,6	0 $\div$ 2,000
80	367,9 $\pm$ 1,2	1,8 $\pm$ 2,0	80,3 $\pm$ 0,6	0 $\div$ 2,000
600	363,7 $\pm$ 1,2	-1,2 $\pm$ 2,0	600,7 $\pm$ 0,6	0 $\div$ -1,600
700	364,1 $\pm$ 1,2	-1,0 $\pm$ 2,0	701,0 $\pm$ 0,6	0 $\div$ -1,800
800	362,7 $\pm$ 1,2	0,6 $\pm$ 2,0	799,7 $\pm$ 0,6	0 $\div$ -2,000

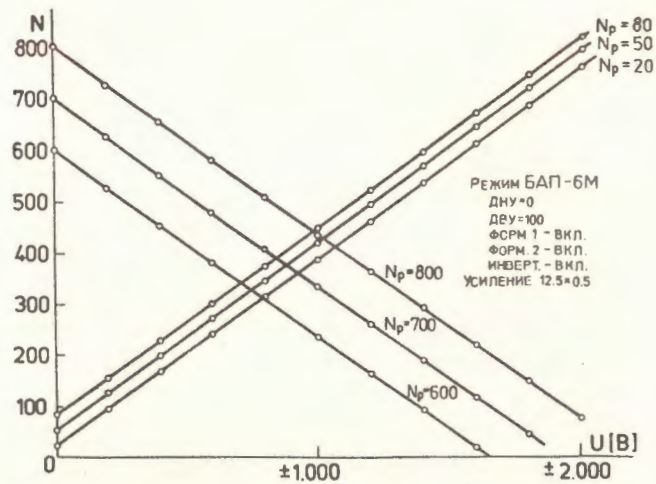


Рис. 5. Калибровочные кривые  $N = N(U)$  - зависимость числа  $N$  на выходе АЦП БАП-6М от напряжения  $U$  на входе прибора для разных значений пьедестала  $N_p = N(0)$  и обеих полярностей напряжения  $U$  /отрицательным напряжениям соответствуют кривые  $N_p = 600, 700, 800$ /.

ПРИМЕНЕНИЕ

Прибор был использован в эксперименте по измерению параметров деполаризации и поляризации в упругом пр-рассеянии при энергии 600 МэВ на синхроциклотроне ЛЯП <sup>В1</sup>. Он работал вместе с Q-метром, описанным в <sup>71</sup>. Запись сигнала ЯМР производилась с применением АЦП БАП-6М, анализатора АИ-4096, работавшего в режиме последовательной записи в качестве буферной памяти, и ЭВМ НР 2116, подключенной на линии /рис. 6/. Во время работы с большой поляризацией мишени ЭВМ принимала данные о форме сигнала ЯМР в промежутках между приемами и обработкой данных с детекторов рассеянных частиц. Форма сигнала с дополнительной служебной информацией записывалась на магнитную ленту для последующего анализа. Во время измерения поляризации, соответствующей состоянию теплового равновесия, набор данных от детек-

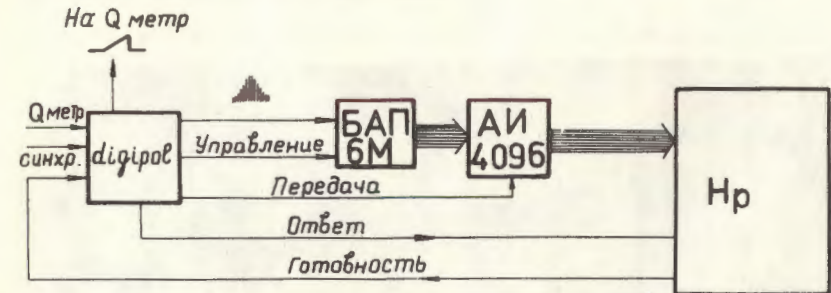
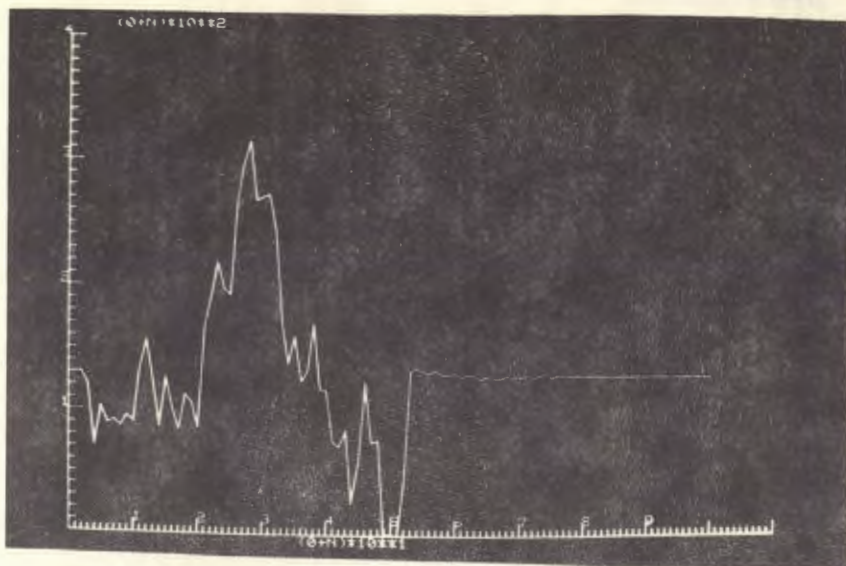


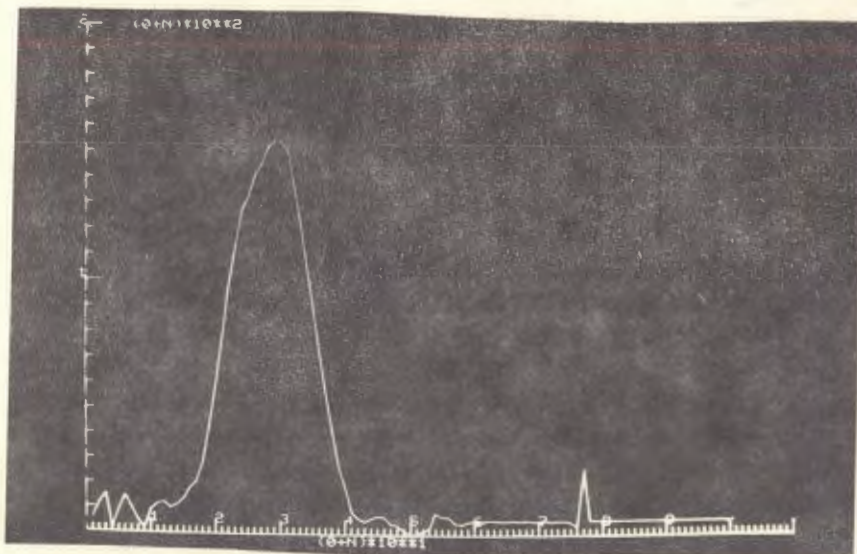
Рис. 6. Схема включения прибора (digipol) в эксперименте <sup>В1</sup>. Преобразование на АЦП БАП-6М и передача информации в ЭВМ Нр происходят только по запросу ЭВМ.

торов останавливался. Под управлением программы измерения равновесной поляризации производилось накопление "сигнала" и "фона" по очереди. Результаты накопления также записывались на магнитную ленту. Для визуального контроля накопления использовался графический дисплей. После каждого накопления "сигнала" и "фона" проводилось вычитание, на дисплее изображалась "линия ЯМР", вычислялся ее интеграл в заданных пределах, значение поляризации и калибровочный множитель для измерения высокой поляризации мишени. На рис. 7





а/



б/

Рис. 7. Экспериментальные формы сигнала ЯМР в условиях теплового равновесия при однократном измерении /а/ и после синхронного накопления 1000 измерений /б/.

показаны фотографии с дисплея "линии ЯМР", иллюстрирующие подавление шумов при накоплении.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный прибор оказался весьма полезным для точных измерений поляризации ППМ в условиях эксперимента на пучке. При его использовании повышается точность измерения поляризации мишени в условиях теплового равновесия, когда отношение сигнал/фон  $\approx 1$ . Обеспечивается также надежный набор данных для определения высокой поляризации, т.к. имеется возможность зарегистрировать форму линии сигнала ЯМР и внести в результаты измерений соответствующие поправки. В эксплуатации во время длительных измерений прибор оказался удобным и надежным.

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить профессора Ю.М.Казаринова за интерес к работе и полезные обсуждения; М.Ю.Либурга и В.Н.Матафонова за ценные дискуссии и приятное сотрудничество во время измерений; В.Р.Абазову и Т.Д.Тимофееву за помощь при оформлении работы.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Джеффрис К. Динамическая ориентация ядер. "Мир", М., 1965.
2. Petricek V. Nucl. Instr. and Meth., 1968, 58, p.111.
3. Stevens M., Wood A. Application Report B60, Texas Instruments, Dallas, Texas (USA).
4. Палм В.А. "Электроника", 1975, 18, с.64.
5. Пахомов В.П. и др. ОИЯИ, 11-8642, Дубна, 1975.
6. Багатурия Ю.Ш. и др. ОИЯИ, P1-12143, Дубна, 1979.
7. Киселев Ю.Ф., Матафонов В.Н. ОИЯИ, P13-10101, Дубна, 1976.

Рукопись поступила в издательский отдел  
5 июня 1979 года.