

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



29/1-79

P13 - 11910

Л-312

В.М.Лачинов, А.А.Сабаев

389/2-79

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ЧАСТОТОМЕР  
ДЛЯ ЯМР-МАГНИТОМЕТРА,  
СВЯЗАННЫЙ С СИСТЕМОЙ КАМАК

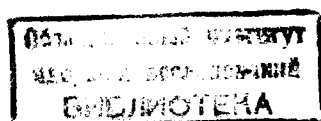
**1978**

P13 - 11910

В.М.Лачинов, А.А.Сабаев

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ЧАСТОТОМЕР  
ДЛЯ ЯМР-МАГНИТОМЕТРА,  
СВЯЗАННЫЙ С СИСТЕМОЙ КАМАК

*Направлено на II Всесоюзное совещание  
по автоматизации научных исследований в ядерной  
физике /Алма-Ата, 1978/.*



Лачинов В.М., Сабаяев А.А.

P13 - 11910

Автоматический частотомер для ЯМР-магнитометра, связанный с системой КАМАК

Рассмотрен автоматический частотомер для ЯМР-магнитометра. Он предназначен для измерения частоты ЯМР и представления результата измерения в единицах магнитного поля с точностью  $\sim 10^{-5}$ . С помощью дополнительного блока связи в стандарте КАМАК частотомер может включаться в автоматизированную систему с ЭВМ для измерения магнитных полей или калибровок магнитометров. Частотомер и блок связи выполнены на интегральных микросхемах. Максимальная измеряемая частота равна  $\sim 180-200$  МГц. Результаты измерения представляются на 8-цифровом декадном индикаторе.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Lachinov V.M., Sabaev A.A.

P13 - 11910

Automatic Frequency Counter for Nuclear Magnetic Resonance Magnetometer Connected with CAMAC System

An automatic eight-digit frequency counter for the nuclear magnetic resonance magnetometer is described. It offers decade digital read-out of the measured magnetic field strength in Tesla units with the accuracy of about  $\sim 10^{-5}$ . There is an additional 1-width CAMAC plug-in-unit which communicates the frequency counter and the system with the computer for automatization of measuring magnetic fields and calibration of other magnetometers. The frequency counter and the CAMAC plug-in-unit are designed using modern integrated circuits. The maximum measured frequency equals  $\sim 180-200$  MHz.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

## ВВЕДЕНИЕ

Современная ЯМР - магнитометрия определяет ряд требований к специализированным автоматическим частотомерам<sup>/1,2/</sup>, применяемым для регистрации ЯМР - сигналов и соответственно магнитных полей. Во-первых, частотомер должен представлять результат измерения в виде десятичного числа в единицах магнитного поля с минимальной погрешностью преобразования для используемого ядерного образца. Во-вторых, желательно поднять верхнюю границу измеряемых частот до  $\sim 200$  МГц, что, например, для протонных образцов будет соответствовать магнитным полям  $\sim 5$  Т, которые в настоящее время практически реализуются в сверхпроводящих магнитных системах. Наконец, необходимо внедрять в конструкцию частотомера элементы интегральной электроники, чтобы повысить его надежность, а также уменьшить габариты. Последнее способствует более удобному совмещению при конструировании ЯМР - магнитометра с частотомером или даже выполнению их в виде одного блока в стандарте КАМАК<sup>/2/</sup>, что важно при автоматизации измерений с использованием ЭВМ.

Ниже рассмотрен частотомер, разработанный в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ, при создании которого учитывались указанные выше требования. Поскольку частотомер предназначен для ЯМР - магнитометра с протонным образцом, при преобразовании частоты ЯМР в значение магнитного поля используется наиболее точное значение постоянной связи<sup>/2,3,4/</sup>:

$$C_p = 2\pi/\gamma_p = /2,34874 \pm 0,00001/ \cdot 10^{-8} \text{ Т/Гц} . /1/$$

Так как сигнал ЯМР в жидком протонном образце слабо зависит от концентрации дополнительно добавля-

емых парамагнитных ионов, то для исключения погрешности от намагничивания образца целесообразно применение 0,16 М раствора  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , т.к. его магнитная восприимчивость близка к нулю и, следовательно, применимо значение  $1/\chi$  для Ср.

Иногда для снижения рабочих частот ЯМР применяют рабочие вещества с ядрами  $^7\text{Li}$  или  $^2\text{D}$ . В этом случае соответствующие постоянные связи для этих веществ равны

$$C_{\text{Li}} = 2\pi/\gamma_{\text{Li}} = /6,04359 \pm 0,00001/ \cdot 10^{-8} \text{ Т/Гц}, \quad /2/$$

$$C_{\text{D}} = 2\pi/\gamma_{\text{D}} = /15,8005 \pm 0,004/ \cdot 10^{-8} \text{ Т/Гц}. \quad /3/$$

Кроме работы частотомера в автономном режиме, предусмотрено использование его в автоматизированной системе совместно с ЯМР - магнитометром и другими блоками в стандарте КАМАК с подключением к ЭВМ. Это позволит с более высокой точностью и скоростью проводить магнитные измерения и калибровку различной магнитометрической аппаратуры.

### БЛОК-СХЕМА ЧАСТОМОМЕРА

На рис. 1 представлена подробная блок-схема частотомера, который функционирует по известному принципу<sup>1/</sup>. Наряду с внутренним блоком питания собственно частотомер, как автономный прибор, содержит еще два основных функциональных узла: блок управления и хронирования и счетно-регистрирующий блок. Кроме того, имеется отдельный блок связи частотомера с системой КАМАК.

В блоке управления и хронирования имеется опорный кварцевый генератор /1 МГц/ и умножители его периода. Они осуществляют формирование длительности селективных импульсов - Тс, задающих времена измерения /0,234874,  $10^{-3}$   $10^{-2}$   $10^{-1}$  1 с/, а также периоды пов-

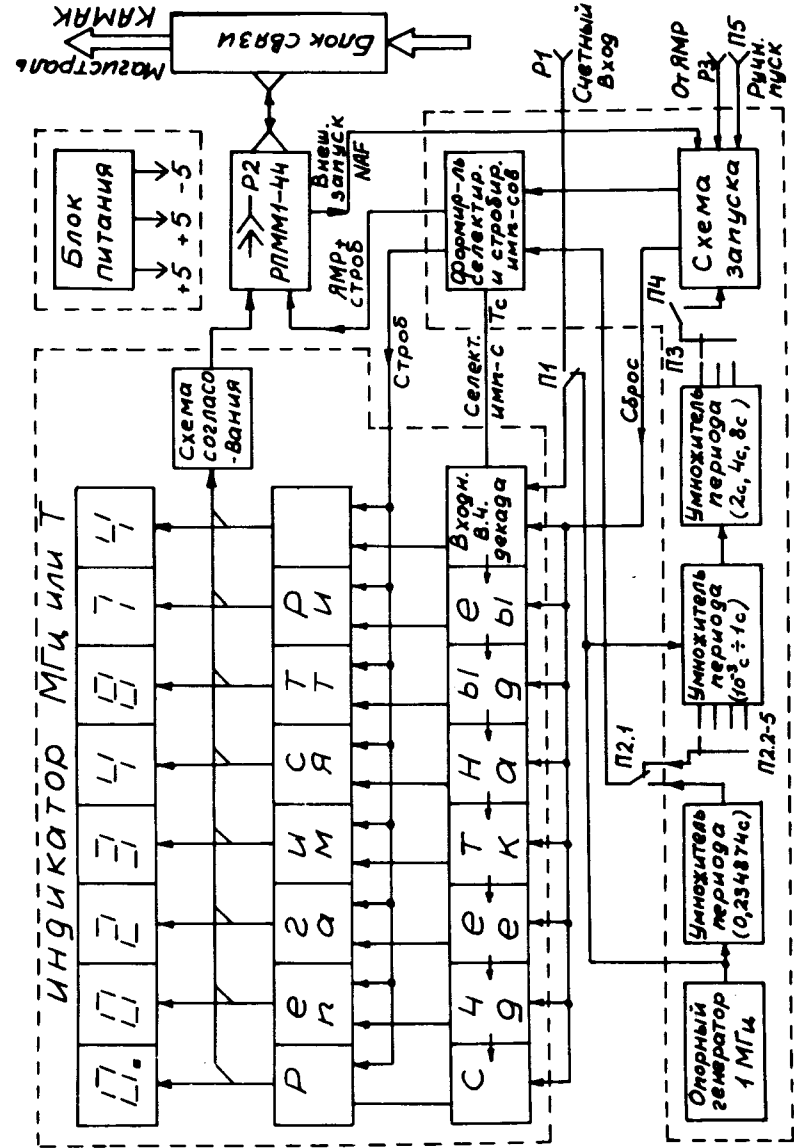


Рис. 1. Блок-схема частотомера.

торения измерений - Тп /2, 4 и 8 с/ при автоматическом режиме работы.

Измеряемый сигнал с частотой до  $\sim 180 + 200$  МГц и амплитудой не менее  $0,05 + 0,1$  В /эффективное значение/ в течение Тс поступает на вход 8-разрядного декадного счетчика. Конечное состояние счетчика, определяемое частотой сигнала, фиксируется в регистре памяти в момент появления на его входах стробимпульса, который формируется схемой управления после окончания селектирующего импульса. Цифровой индикатор представляет результат измерения для визуального наблюдения. Увеличение разрядов до 8, в частности за счет введения входной в.ч. индицируемой декады, обеспечивает максимально точное воспроизведение результата при разных режимах измерения. Выбирая переключателем П2 длительность Тс равной  $0,234874$  с и подавая на счетный вход сигнал от ЯМР - магнитометра с протонным образцом, получим на табло число, которое соответствует измеряемому полю в единицах Т. Выбор Тс с длительностями  $10^{-3}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-1}$  и 1 с обеспечивает индикацию измеряемой частоты в МГц.

Перед каждым циклом измерения схема запуска производит сброс счетных декад в исходное состояние и инициирует работу формирователя селектирующего и стробирующего импульсов. Частотомер может запускаться вручную /с помощью кнопки П5 на передней панели/ и автоматически с периодом Тп /что осуществляется переключателями П3 и П4/.

Введение регистра памяти между счетчиком и индикатором устраняет мелькание индикатора во время счета и позволяет удобно передавать результат счета с выхода регистра памяти в блок связи через разъем Р2. Блок связи непосредственно включается в магистраль КАМАК автоматизированной системы на линии с ЭВМ и вырабатывает сигналы запуска частотомера и передачи данных согласно командам стандарта КАМАК. При работе частотомера совместно с магнитометром его запуск стробируется сигналом от магнитометра, подтверждающим наличие точной настройки ЯМР на измеряемое поле. Для питания схемы частотомера в нем имеется

стабилизированный источник питания со следующими выходными параметрами:  $+5$  В/А,  $+5$  В/2 А,  $-6$  В/0,5А. Питание блока связи осуществляется от источника крейта КАМАК.

## БЛОК УПРАВЛЕНИЯ И ХРОНИРОВАНИЯ

Схема блока управления и хронирования частотомера показана на рис. 2. Опорный генератор с выходной частотой 1 МГц выполнен на элементах ИЛИ модуля Д23 с использованием кварцевого резонатора Пэ1 без термостабилизации. Стабильность частоты генератора составляет  $\sim 10^{-6}$  /°С с отклонением от номинала  $\sim 10^{-5}$ . Умножение периода генератора /1 мкс/ до  $0,234874$  с производится делителем частоты с помощью Д1,1 /на 2/ и Д2 + Д11 /на 117 437/. Последний делитель состоит из цепи последовательно включенных двоичных триггеров с обратной связью через С3, R6, Д12, которая устанавливает часть триггеров в состояние "1" перед началом нового цикла, обеспечивая необходимую длительность периода на выходе. Получение значений Тс, равных  $10^{-3}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-1}$  и 1 с, производится декадным делителем частоты на модулях Д13 + Д18. Клавишным переключателем П2 выбирается нужная длительность периода для формирования Тс.

Формирование при автоматических измерениях периодов повторения Тп, равных 2, 4 и 8 с, осуществляется двоичным счетчиком на модуле Д19, вход которого подключен к выходу Д18 декадного делителя. Окончательно формирование селектирующего импульса Тс происходит следующим образом. Сигнал прямоугольной формы с периодом Тп, выбираемым переключателем П3, дифференцируется на С5. Полученным коротким отрицательным импульсом через элементы ИЛИ /Д24, Д25/, во-первых, сбрасывается в 0 основной счетчик, а, во-вторых, переключается по входу J триггер Д20. Сигнал 1 с выхода Q триггера Д20 поступает на один из входов элемента 2И/Д21/. На второй вход этого элемента 2И поступает положительный импульс после дифференцирования сигнала с периодом Тс. Выходной

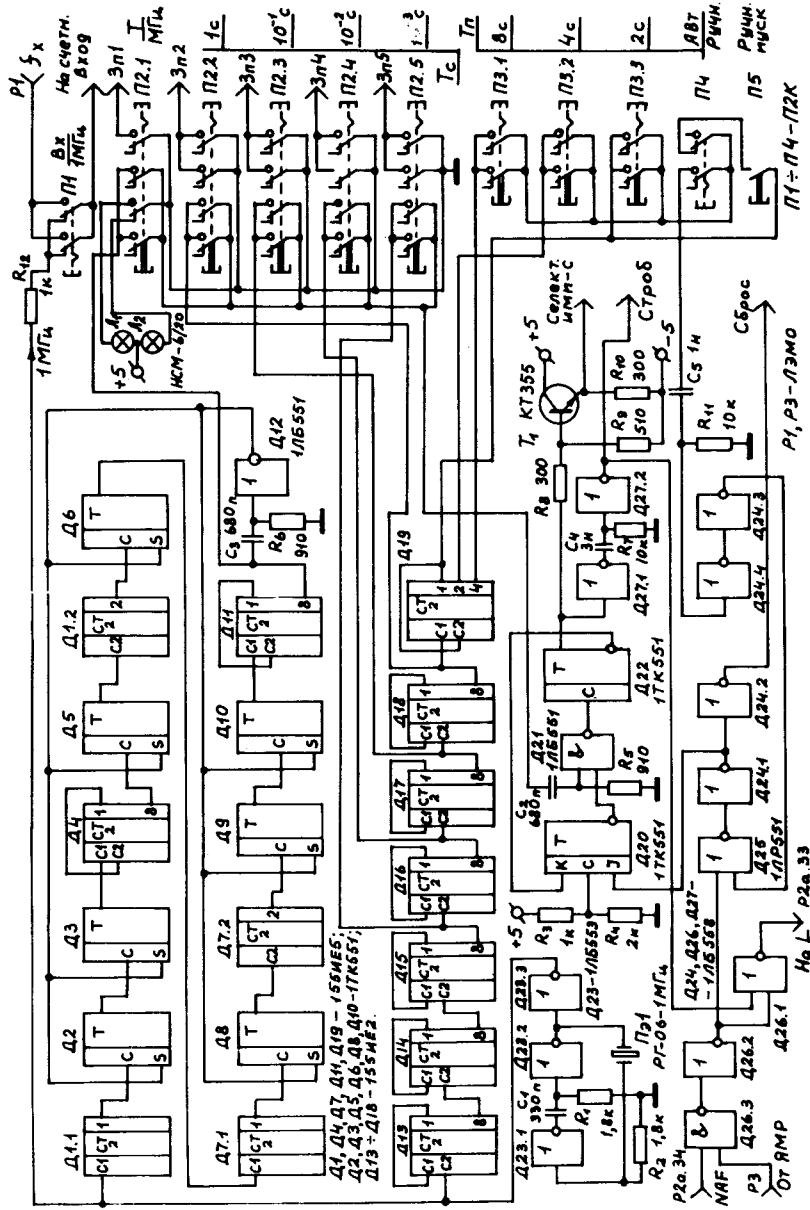


Рис. 2. Схема блока управления и хронирования.

импульс с Д21 переключает триггер Д22, с выхода Q которого через делитель  $R_8, R_9$  и транзистор  $T_1$  отрицательный перепад потенциала с амплитудой до  $\sim -2$  В подается на входной селектор счетчика /рис. 3/, определяя передний фронт селектирующего импульса. Конец селектирующего импульса определяется последующим импульсом с Д21, который поступает через период  $T_c$  и переключает триггер Д22 в исходное состояние. При этом сигнал O с выхода Q триггера Д22 переключает по входу K триггер Д20, выход которого блокирует элемент ИИ/Д21/ до начала следующего импульса  $T_n$ .

Элементы ИЛИ /Д27/ с промежуточным дифференцированием на  $C_4$  формируют из сигнала  $T_c$  с Q-выхода Д22 короткий стробирующий импульс I, соответствующий концу сигнала  $T_c$ , для передачи результата счета из основного счетчика в регистр памяти /рис. 3/.

При работе частотомера на магистраль КАМАК из блока связи приходит команда  $NA(1).F(0)$ , которая совместно с сигналом готовности от ЯМР-магнитометра через элементы И и ИЛИ модуля Д26 осуществляет запуск измерения, если оно в этот момент не происходит. После окончания измерения наличие указанных сигналов и появление стробирующего импульса на входах элемента И /Д26.4/ возбуждает на выходе его импульс, который поступает в блок связи и формирует сигнал L-готовности передачи информации в магистраль КАМАК /рис. 4/.

Переключатель П1 позволяет подать на вход частотомера сигнал 1 МГц от внутреннего генератора для проверки работоспособности прибора. Режим измерения в единицах поля или частоты задается переключателем П2.1 и индицируется лампами Л1, Л2 соответствующих табло на передней панели. Режим ручного разового пуска частотомера осуществляется переключателем П4 и кнопкой 5.

При использовании в магнитометре ядерных образцов с  $^7Li$  или  $^2D$  для регистрации результата измерения в единицах необходимо заменить плату множителя периода другой, в которой коэффициент умножения выбран согласно выражениям /2/ или /3/.

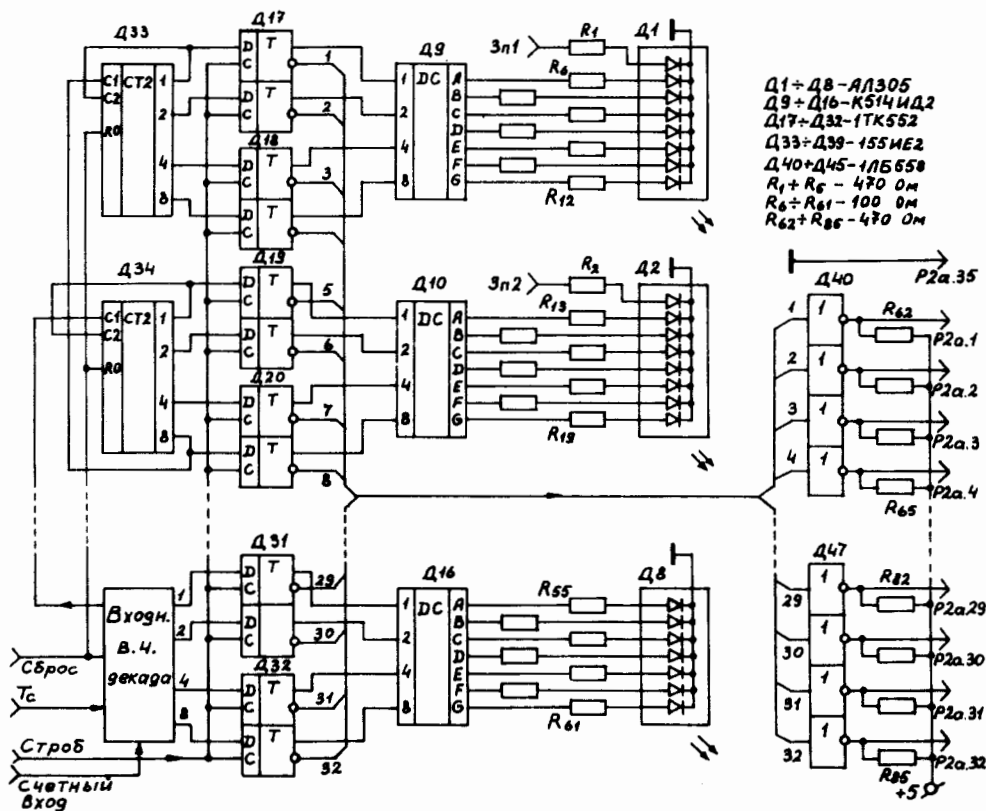


Рис. 3. Схема счетно-регистрающего блока.

### СЧЕТНО-РЕГИСТРИРУЮЩИЙ БЛОК

На рис.3 показана схема счетно-регистрающего блока. Измеряемый сигнал при наличии селектирующего импульса  $T_c$  поступает на счетный вход 8-разрядного декадного счетчика, включающего входную в.ч. декаду и интегральные декады Д33 + Д39.

Входная в.ч. пересчетная декада<sup>/5/</sup> построена на ЭСЛ микросхемах серий К138 и К500/К100/. Она состоит /рис. 4/ из 4 двоичных триггеров с допол-

нительными логическими обратными связями, которые обеспечивают выходной код 1-2-4-8 и быстродействие двоичного счетчика. Основной двоичный триггер построен на двух D-триггерах типа "Защелка". Для приведенной схемы декады быстродействие достигает ~180 МГц, а для аналогичной декады на элементах серии К500 /К100/<sup>/5/</sup> ~ 200 МГц.

Двоичные триггеры имеют парафазные входы и выходы. Счетный вход декады образован с помощью элемента ИЛИ-ИЛИ-НЕ, имеющего парафазный выход /M12.A/. Второй вход этого элемента используется для селектирования измеряемого сигнала через элемент M19.Г импульсом от блока управления, имеющим амплитуду ~ 2В и длительность  $T_c$ . Перед счетным входом декады поставлен элемент M12.Г в качестве усилителя, рабочая точка которого выбрана в середине динамического диапазона, и введены емкостные связи. Входной стандартный сигнал в виде меандра ~ 1В должен иметь фронт не более 0,2 мкс. В случае гармонических входных сигналов с  $f = 12$  МГц и выше амплитуда должна превышать 0,05 В /эффективное значение/.

Выходные сигналы состояния декады в виде кода 1-2-4-8, а также выходной сигнал для запуска последующей декады проходят через соответствующие преобразователи уровня ЭСЛ-ТТЛ /M14 + M18/. Установка декады в исходное состояние /сброс/ осуществляется сигналом от блока управления через преобразователь уровня ТТЛ-ЭСЛ /M13/.

Последующий счетчик /рис. 3/ выполнен на пересчетных декадах типа К155ИЕ2 /Д33 + Д39/, которые имеют выход в коде 1-2-4-8, а входы которых объединены и перед началом счета возбуждаются импульсом "сброс" от блока управления. Модуль Д39, следующий за в.ч. декадой, выбран более быстродействующим /К115ИЕ2А/ с  $f_{\text{макс}}$  более 30 МГц.

Выходная информация с декадного счетчика подается на D-входы регистра памяти на D-триггерах Д17 + Д32 /1ТК552/. По строб-сигналу на входах С результат фиксируется в регистре памяти и через дешифраторы

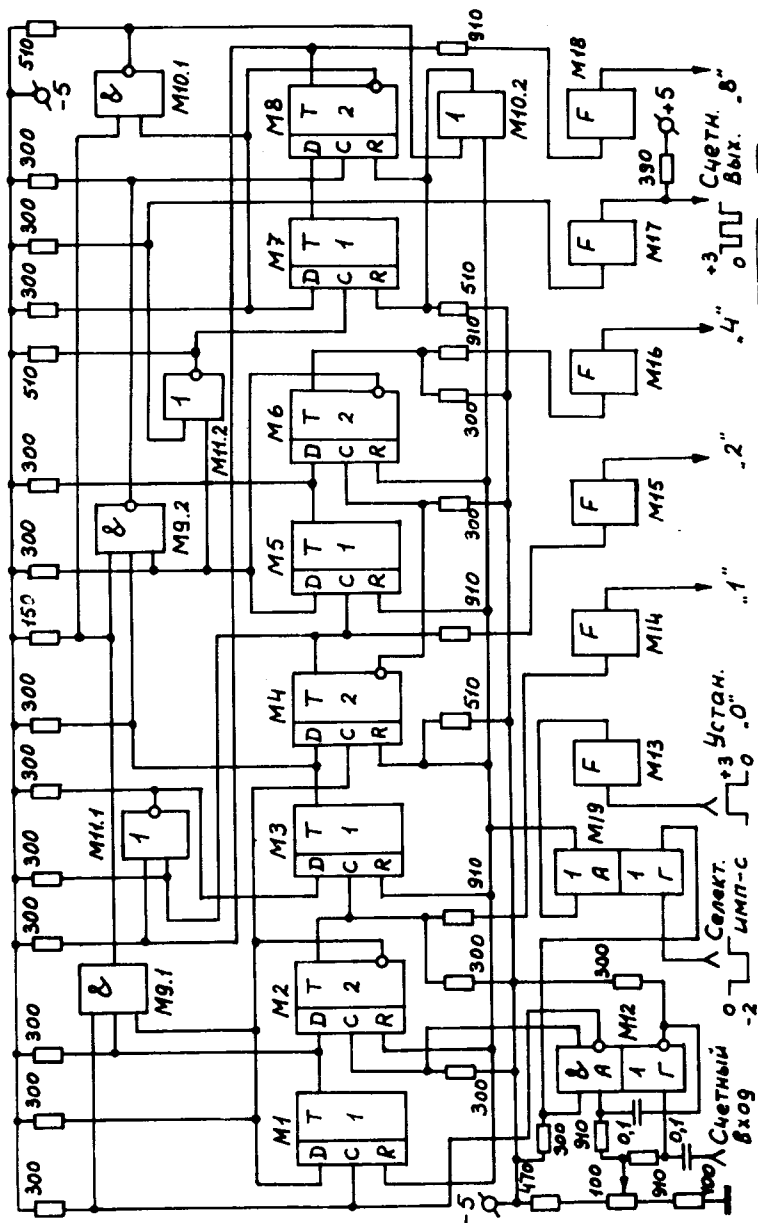


Рис. 4. Схема входной в.ч. пересчетной декады.  
 M1 - M8 - ИГР382; M9, M10 - ИЛБ382; M11 - ИЛБ383; M12 -  
 КЮОЛМО5; M13 - ППУ871; M14 - M18 - ППУ872; M19 - ИЛБ384.

Д9+Д16 /К514ИД2/ поступает на 7-сегментные светодиодные индикаторы Д1+Д8 /АЛ305/ для визуальной регистрации. На один из пяти индикаторов старших разрядов в зависимости от используемого значения Тс дополнительно подается сигнал /3п1 + 3п5/ для отсчета результата измерения в единицах магнитного поля или частоты.

Кроме того, с Q-выходов триггеров регистра памяти через согласующие элементы ИЛИ модулей Д40+Д45 результат измерения выводится на разъем Р2 для передачи его в блок связи, а затем на R-шины магистрали КАМАК.

### БЛОК СВЯЗИ С СИСТЕМОЙ КАМАК

Блок связи /рис. 5/ формирует по команде от контроллера сигнал NA(1)F(0), который, поступая на вход схемы запуска, инициирует проведение измерения частотомером в данный момент. После завершения измерения на элемент ИЛИ /Д1.1/ от блока управления поступает сигнал готовности передачи результата счета из частотомера на R-шины магистрали КАМАК. Этот сигнал с выхода Д1.1 подается на С-вход триггера Д21, который формирует команду L. После этого в блоке связи дешифруется команда контроллера NA(0)F(0) для выдачи информации на шины чтения. Соответствующий сигнал следует на входы 24 элементов И /Д2+Д7/, на вторые входы которых подан результат измерения в двоично-десятичном коде. Выходной сигнал с модулей Д2+Д7 поступает в магистраль КАМАК.

В данном варианте блока связи на R-шины подаются данные только с 6 старших разрядов результата измерения, чтобы не усложнять процесс передачи /необходимая точность измерения при этом обеспечивается/. При этом работа происходит при Тс = 0,234874 с с выходными данными в единицах поля.

Блок связи реализует все необходимые сигналы /Q, X, Z, S<sub>2</sub>/ стандарта КАМАК. По команде S<sub>2</sub> триггер Д21 переключается в исходное состояние, и цикл передачи данных завершается.



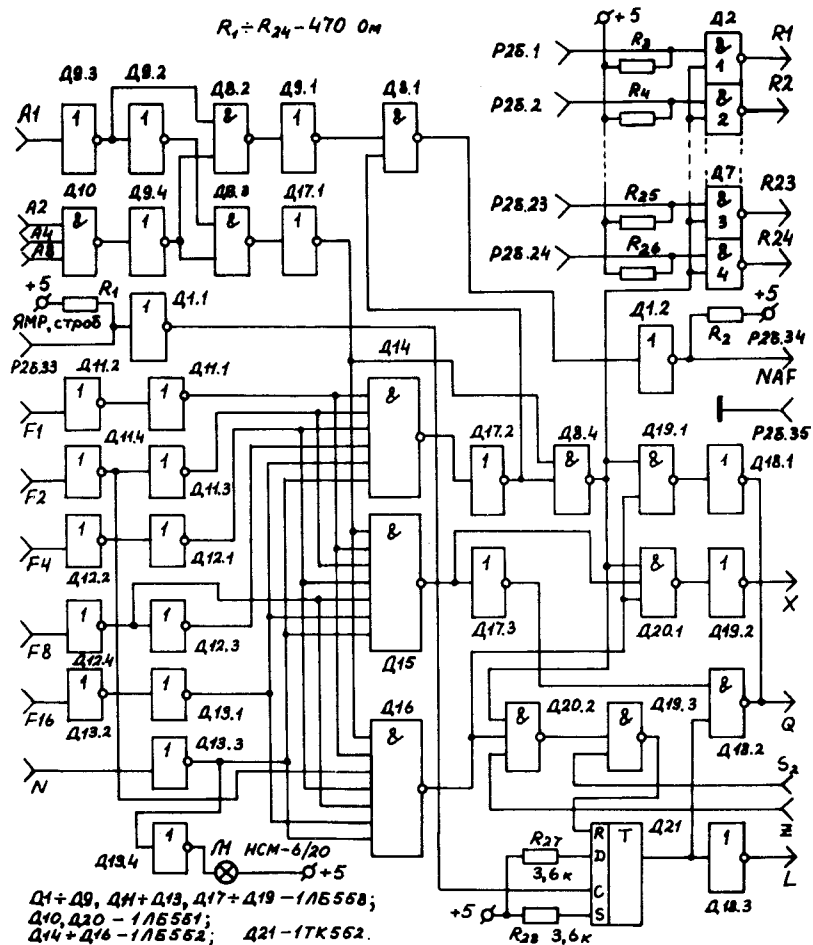


Рис. 5. Схема блока связи частотомера с системой КАМАК.

Для индикации обращения (N) контроллера к блоку связи на передней панели последнего установлена лампа Л1, возбуждаемая через Д13.4.

Блок связи выполнен в конструктиве КАМАК с шириной 1М /рис. 6/. Он устанавливается в стандартный крейт, и с помощью 5-метрового кабеля подсоединяется к разъему на задней панели частотомера.

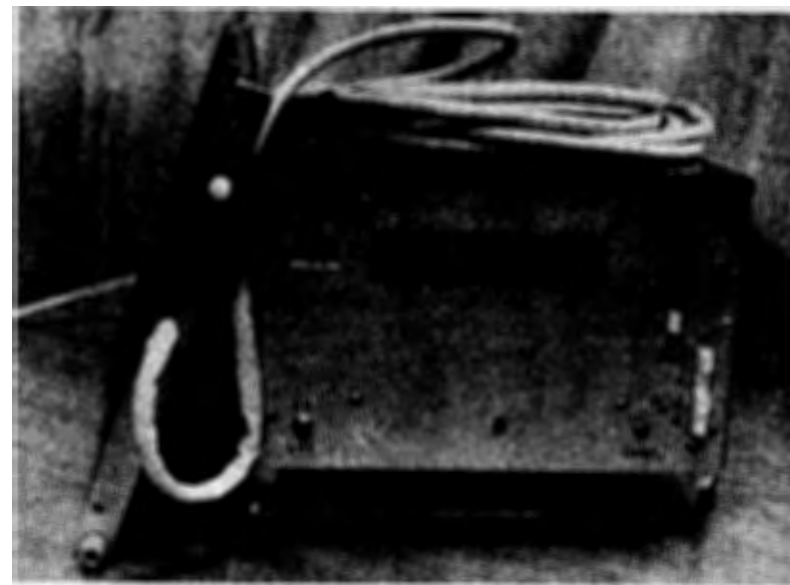


Рис. 6. Внешний вид частотомера с блоком связи.

Внешний вид частотомера и блока связи представлен на рис. 6. Органы управления частотомера и входные разъемы расположены на передней панели, а на задней - разъем для подключения блока связи и предохранитель. Размер частотомера - 150x220x280 мм, хотя он может быть сделан более компактным.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Точность измерения частот до  $\sim 180 \pm 200$  МГц, обеспечиваемая прибором, не хуже  $\sim 10^{-5}$  в диапазоне комнатных температур. Введение при необходимости термостабилизации и абсолютной коррекции частоты опорного генератора еще заметно снизит общую погрешность измерения частоты или магнитного поля. Кроме того, возможно проведение 2-этапной передачи всей информации от частотомера в магистраль КАМАК, что по-

зволит использовать в полной мере результаты измерения.

Представленный выше частотомер, обладая высокими метрологическими параметрами, является надежным и удобным в эксплуатации прибором.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Денисов Ю.Н. и др. Автоматический частотомер для ядерных магнитометров. Изм. техн., 1968, №1, с.48; ОИЯИ, 2978, Дубна, 1966.
2. Borer K., Fremon G. CERN EPD/77-19, Geneva, 1977.
3. Cohen E.R., Taylor B.N. J.Phys.Chem. Ref. Data, 1973, 2, p.718.
4. Спектор С.А. Рабочие вещества для тесламетров в ЯМР. Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции "Теория, методы и средства измерения магнитных величин". Изд-во ВНИИЭП, Л., 1977.
5. Лачинов В.М. ОИЯИ, P13-11086, Дубна, 1977.

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 сентября 1978 года.