

2978

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

10 - 2978



Ю.Н. Денисов, В.М. Лачинов, Ю.И. Сусов,
П.Т. Шишлянников

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ЧАСТОТОМЕР ДЛЯ ЯДЕРНЫХ
МАГНИТОМЕТРОВ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1966

10 - 2978

Ю.Н. Денисов, В.М. Лачинов, Ю.И. Сусов,
П.Т. Шишляников

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ЧАСТОТОМЕР ДЛЯ ЯДЕРНЫХ
МАГНИТОМЕТРОВ

Направлено в журнал "Измерительная техника"

В настоящее время для прецизионных измерений абсолютных величин напряженности магнитного поля широко используются ядерные магнитометры с автодинными детекторами ядерного магнитного резонанса (ЯМР)^{/1-3/}. Резонансная частота автодина связана с напряженностью магнитного поля известным соотношением

$$H_0 = \frac{2\pi}{\gamma} f = k \cdot f_0,$$

где γ — гиромагнитное отношение ядер, для которых создаются резонансные условия. Поскольку гиромагнитное отношение определяется атомными константами, величина которых не зависит от внешних условий наблюдения ЯМР, коэффициент k , связывающий f_0 и H_0 , остается неизменным как во времени, так и в разнообразных условиях измерений. Величина k для ряда ядер определена экспериментально с точностью $\approx 10^{-3} \%$ ^{/4/}.

Постоянство коэффициента связи k позволяет создать измерители частоты генерации автодинных детекторов ЯМР, осуществляющие автоматический перевод частоты, на которой наблюдается резонанс, в величину напряженности магнитного поля, соответствующего этой частоте^{/5,6/}. Для этой цели и разработан описываемый автоматический электронно-счетный частотомер.

Блок-схема прибора приведена на рис. 1.

Высокочастотное напряжение, поступающее на вход частотомера с автодинного детектора ЯМР, подается на быстродействующую пересчетную декаду с максимальной скоростью счета до 100 Мгц.

В приборе применена быстрая декада, рассмотренная в работе^{/7/}, однако схема формирования входных сигналов несколько изменена (см. рис. 2). Введен диодный ограничитель входных сигналов последовательного типа вместо параллельного. Это позволило устранить входной эмиттерный повторитель, а режим последующего усилителя в формирователе регулировать переменным сопротивлением R_1 . Максимальная амплитуда сигналов на выходе схемы ограничения не превышает ≈ 200 мв при изменении напря-

жения синусоидального входного сигнала в диапазоне до $3 \div 5$ в. Амплитуда малых сигналов (50 мВ) во входном ограничителе снижается не более чем на 20–30%. Завал амплитудно-частотной характеристики формирователя на высоких частотах несколько корректируется за счет дроссели и проходных емкостей диодов в ограничителе входных сигналов. Чувствительность декады в частотном диапазоне $1 \div 100$ Мгц сохранилась на уровне 50 мВ, а максимальная допустимая амплитуда входных сигналов повысилась до $3 \div 5$ в (пробивная – до $15 \div 20$ в). Таким образом, входной формирователь декады стал более простым и надежным.

Импульсы с выхода быстродействующей пересчетной декады, имеющие частоту следования, не превышающую 10 Мгц, поступают на вход ключевой схемы № 1, открывающейся на строго определенный интервал времени Δt . Как уже было показано в работах ^{5,6}, если выбрать величину эталонного временного интервала, удовлетворяющую соотношению

$$\Delta t = \frac{2\pi}{\gamma} \cdot 10^n,$$

где n – целое число, то при десятичном пересчете входных импульсов результат измерения частоты автодинного детектора ЯМР будет индцироваться на выходе прибора непосредственно в единицах напряженности резонансного магнитного поля – эрстедах или теслах.

В большинстве ядерных магнитометров, в том числе и в магнитометрах, в комплексе с которыми используется описываемый частотомер, наблюдается ЯМР протонов воды или какого-либо другого водородосодержащего вещества, например, резины. Для протонов величина $\frac{2\pi}{\gamma_p}$ в настоящее время принята равной 234,872 э/Мгц. Таким образом, если $\Delta t = 234,872 \cdot 10^n$ сек, то цифровая информация на выходе прибора будет представлять измеряемое магнитное поле непосредственно в единицах напряженности поля.

В рассматриваемом частотомере Δt выбрано равным 0,234872 сек. Этот временной интервал получен путем последовательного умножения длительности периода кварцевого опорного генератора, составляющей 1 мксек, на 234872. Умножение периода, или, что то же самое, деление частоты опорного генератора, производится временным блоком, схема которого показана на рис. 3. Временной блок представляет собой двоичный делитель, выполненный на двадцати последовательно включенных триггерах, часть из которых охвачена внутренними обратными связями. Первые три триггера являются обычным делителем на 8. Четыре следующих триггера имеют цепочки обратных связей, и их общий коэффициент деления равен 11. Остальные тринадцать триггеров также разбиты на две группы с коэффициентами деления 17 и 157. С выхода временного блока импульсы, следующие с интервалами в 0,234872 сек, через ключ № 2 поступают на триггер № 1, управляющий ключевой схемой № 1.

Пропущенные ключевой схемой № 1 пакеты импульсов пересчитываются семью инди-

цируемыми счетными декадами, принципиальные схемы которых аналогичны (за исключением индикации) схемам декад, описанных в работе ^{15/}. Состояния декад индицируются цифровыми газоразрядными лампами типа ИН-1. Первая (со стороны ключевой схемы № 1) пересчетная декада имеет максимальную скорость счета 13 Мгд, вторая, схема которой показана на рис. 4, - 1,5 Мгд, а остальные - 300 кгд.

При выбранном временном интервале $\Delta t = 0,234872$ сек и семи пересчетных декадах в счетном блоке единица младшего разряда числа, индицируемого на цифровом табло прибора, составляет 0,01 э или 10^{-6} тл. Следует отметить, что по мере уточнения двух последних знаков коэффициента k величину эталонного временного интервала можно корректировать без схемных изменений во временном блоке, а только путем соответствующей подстройки частоты опорного кварцевого генератора.

В приборе предусмотрено два режима измерения частоты автодинных детекторов ЯМР: периодический с четырьмя величинами интервалов между измерениями и однократный с запуском частотомера от кнопки. Блок автоматки, реализующий эти режимы, включает в себя двоичный делитель с максимальным коэффициентом деления 64, триггер № 2 и ключ № 2. Блок работает следующим образом. Импульсы с выхода временного блока через переключатель рода работ P_1 поступают на двоичный делитель. В зависимости от положения переключателя P_1 импульс на выходе делителя, перебрасывающий триггер № 2, появится через 2 сек, 4 сек, 7,5 сек или 16 сек. Триггер № 2 устанавливается в такое состояние, при котором ключ № 2 оказывается открытым для положительных импульсов, поступающих на его вход с выхода временного блока. Импульсы на двоичный делитель блока автоматки и на ключ № 2 подаются с разных плеч последнего триггера временного блока, поэтому ключ № 2 открывается на $\approx 0,1$ сек раньше прихода на его вход первого положительного импульса с временного блока. Эта задержка используется для того, чтобы обеспечить устойчивый запуск триггера № 1 и, кроме того, успеть импульсом с триггера № 2 установить счетные декады в нулевое состояние. Первый положительный импульс, прошедший с выхода временного блока через открытый ключ № 2, устанавливает триггер № 1 в такое состояние, при котором ключ № 1 оказывается открытым, и импульсы с выхода индицируемой быстродействующей декады начинают поступать на счетный блок. Следующий импульс с временного блока возвращает триггер № 1 в исходное состояние, и ключ № 1 закрывается. Таким образом, ключевая схема № 1 остается открытой только на задаваемый временным блоком временной интервал Δt . Одновременно с запираем ключа № 1 импульсом с триггера № 1 триггер № 2 также возвращается в первоначальное состояние, и ключ № 2 закрывается. Один цикл измерения частоты заканчивается.

В периодическом режиме работы частотомера следующий цикл измерения произойдет только тогда, когда на выходе двоичного делителя блока автоматки появится очередная импульс.

Регулировка периодичности измерения, или, что то же самое, времени индикации результата предыдущего цикла измерений, производится изменением коэффициента деления двоичного делителя при помощи переключателя P_1 . Выходные импульсы в зависимости от выбранного положения переключателя P_1 снимаются с шестого, пятого, четвертого или третьего триггера, и время индикации соответственно будет составлять 15; 75; 4 или 2 сек.

В одноразовом режиме измерений с запуском прибора от кнопки импульсы на вход двоичного делителя поступают не с выхода временного блока, а с делителя на 17. В этом случае входные импульсы следуют с повышенной частотой и импульс на входе триггера № 2 появится через $\approx 0,01$ сек. Таким образом практически устраняется ограничение на длительность замыкания пусковой кнопки.

Принципиальные схемы триггеров двоичного делителя блока автоматики аналогичны схемам триггеров временного блока. Различие между ними состоит только в том, что в этих триггерах несколько увеличены входные и ускоряющие емкости, а триоды 1Т308А заменены низкочастотными транзисторами типа П42А.

Диапазон частот, автоматически измеряемых разработанным электронно-счетным частотомером, составляет (в единицах напряженности магнитного поля) 250–23500 э и перекрывает весь обычный диапазон полей, измеряемых ядерными магнитометрами. Точность измерений составляет $0,001\% \pm 0,01$ э.

Следует особо отметить, что, благодаря своему целевому исполнению, частотомер удобен в обращении, имеет небольшие размеры, легок и транспортабелен. Фотография прибора приведена на рис. 5.

Л и т е р а т у р а

1. Л.И. Герцигер. Приборостроение, № 5, 1959.
2. Я.А. Зильберштейн, В.И. Зингерман. Труды институтов Госкомитета стандартов, вып. 79, 139, 1965.
3. Д.П. Васильевская, Л.В. Васильев, Ю.П. Денисов. ПТЭ, № 1, 174 (1965).
4. А. Леше. Ядерная индукция. ИЛ, 1963.
5. Н.П. Гаврил, Ю.Н. Денисов, А.Г. Комиссаров, В.М. Лачинов, В.И. Прилипо, Ю.И. Сузов, П.Т. Шишляников. ПТЭ, № 2, 94 (1965).
6. G.M. Muha. Rev. Scient. Instr., 36, 551 (1965).
7. В.М. Лачинов. Преприят ОИЯИ, 2217, 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел
13 октября 1966 г.

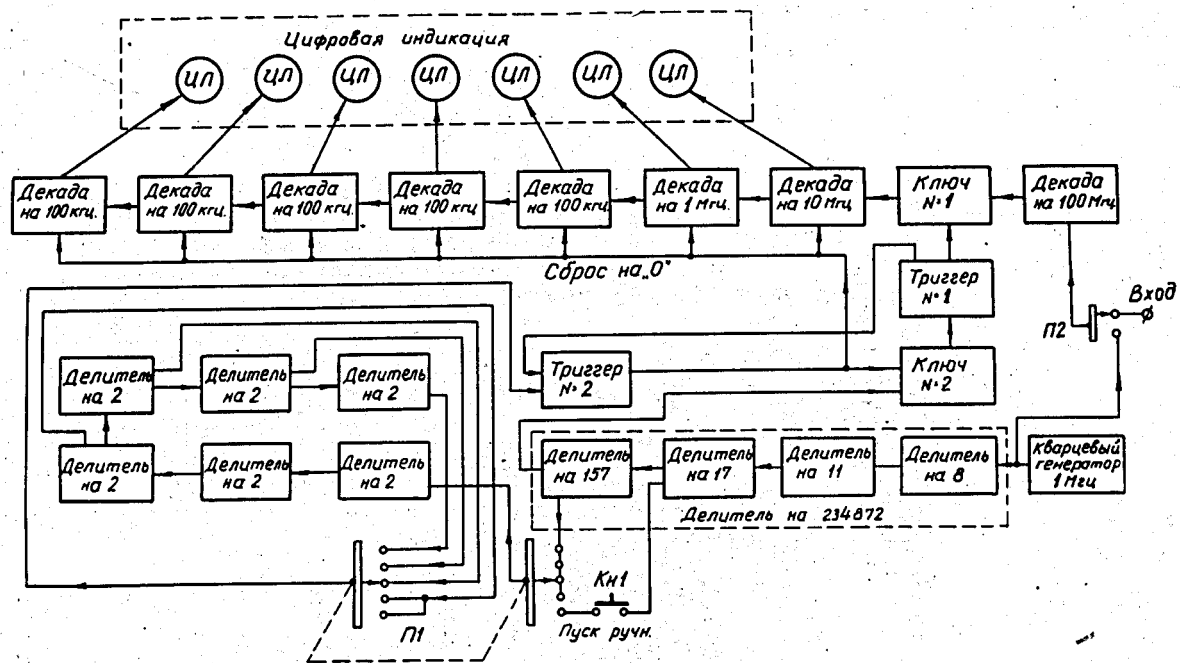


Рис. 1. Блок-схема частотомера.

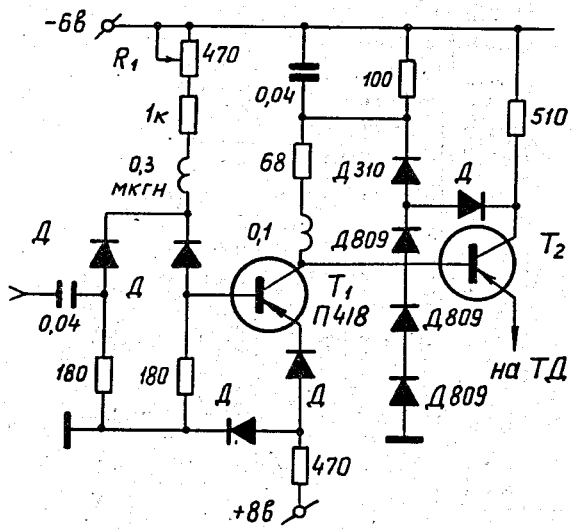


Рис. 2. Принципиальная схема формирователя импульсов запуска быстрой декады.

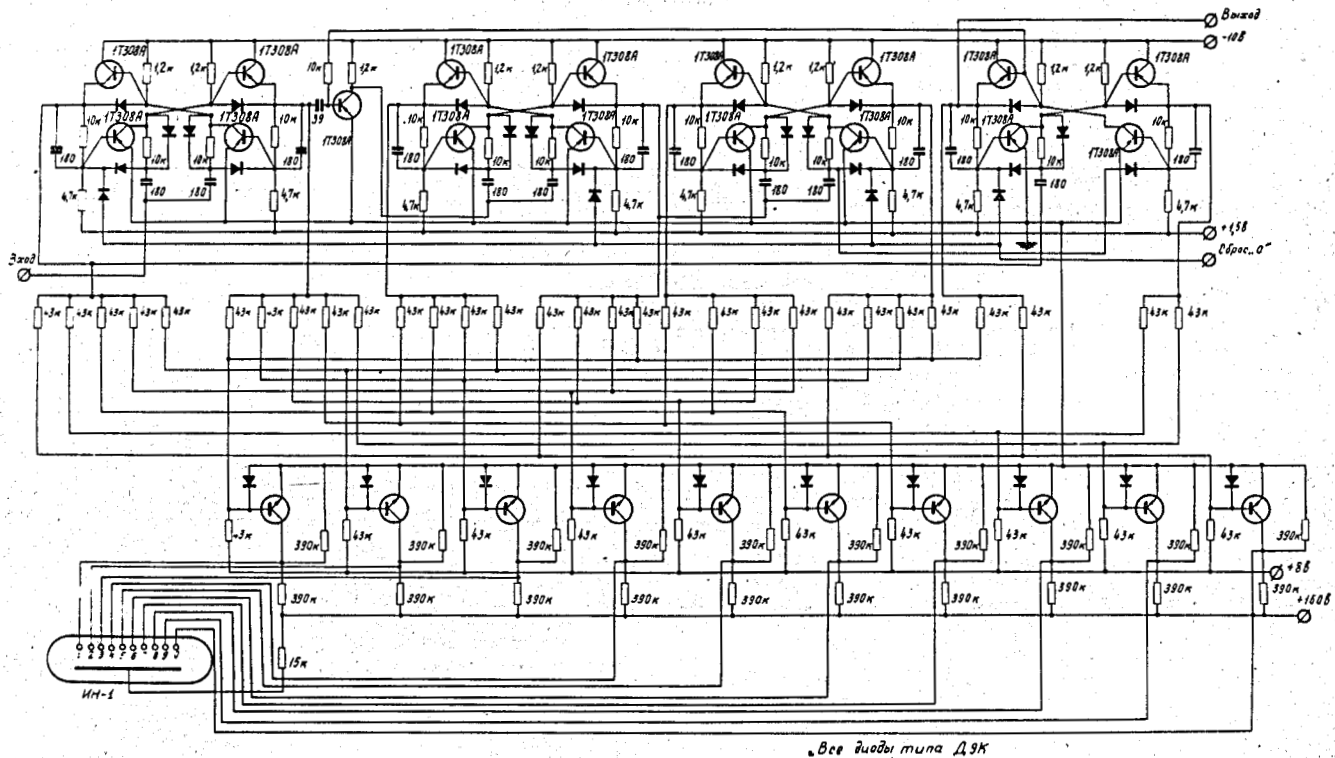


Рис. 4. Принципиальная схема индицируемой декады на 1 МГц.

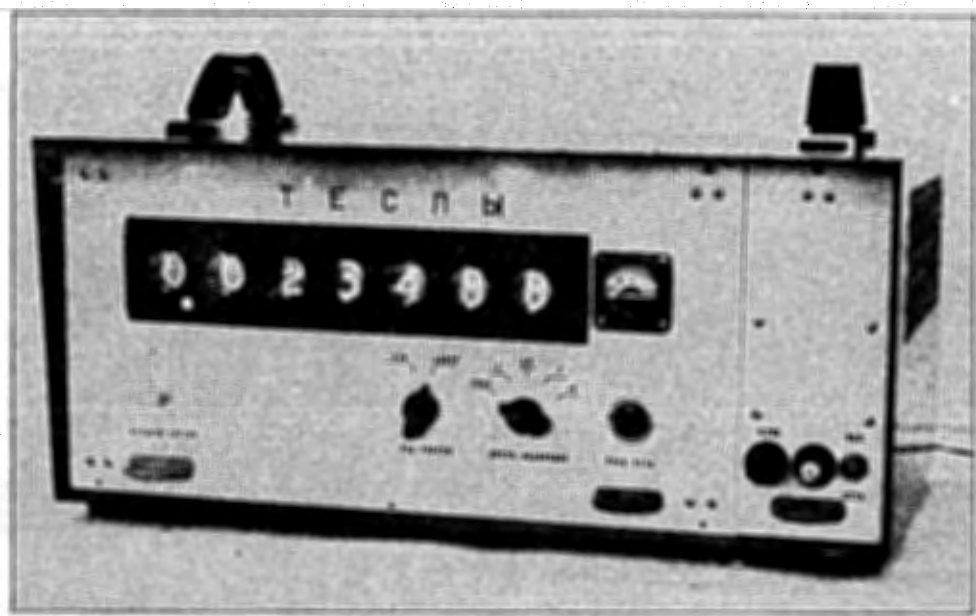


Рис. 5. Общий вид частотомера.