

# ЯДЕРНЫЙ МАГНИТОМЕТР С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ОТСЧЕТОМ

А. Г. Гордиенко, О. И. Губернаторов, В. Т. Пивовар,  
Р. М. Пивовар

Харьков

В работе [1] описан цифровой синтезатор частот (ц. с. ч.) для ядерного магнитометра (я. м.), измеряющий  $H$  дискретно. В экспериментальной практике часто требуется измерять и стабилизировать  $H$  в любой точке диапазона с высокой степенью точности. Для магнитного спектрометра рассеянных электронов был разработан прецезионный я. м. с ц. с. ч., измеряющий  $H$  непрерывно в диапазоне от 0,1 до 0,2 тл.

Ядерный магнитный резонанс наблюдается при условии  $H = 2\pi f/\gamma$ .

Дискретная перестройка частоты  $f$  в я. м. переходит в непрерывное измерение  $H$ , когда выполняется условие

$$10\Delta f/f \leq \delta_\gamma,$$

где  $\delta_\gamma = 2 \cdot 10^{-5}$  точность измерения  $\gamma$ .

Для плавного измерения  $H$  во всем диапазоне допустимый максимальный шаг  $\Delta f_{\max}$  определяется нижней частотой диапазона автогенератора и  $\delta_\gamma$ ; для нашего случая  $\Delta f \leq 10$  гц. Учитывая, что я. м. выполнен с отсчетом  $H$  в теслах и перестройка прибора осуществляется в десятичной системе, в ц. с. ч. минимальный шаг дискретности выбран  $\Delta f = 4,2577$  гц. При наблюдении я. м. р. на протонах это соответствует  $H = 10^{-7}$  тл.

На рис. 1 приведена функциональная схема автогенератора, которая формирует дискретную сетку частот, кратную десяти, с минимальным шагом 4,2577 гц в диапазоне частот  $f = 4,2577 \div 8,515$  Мгц. Схема состоит из пяти каналов [2,3]. Канал I является источником стабильных эталонных частот для всех каналов, которые подаются на смесители (см) и сравнивающие устройства (с. у.). Эталонный генератор (э. г.), содержащий кварц с резонансной частотой, равной  $f_{\text{э.г.}} = 1\,763\,080$  гц, обеспечивает стабильность  $5 \cdot 10^{-7}$ . Номинальное значение частоты выбрано кратным шагом перестройки. В канале II создается частотная сетка из 1000 частот с  $\Delta f = 4,2577$  гц в диапазоне  $f_1 = 38,3 \div 42,6$  кгц, которая в канале III линейно переносится в диапазон 2,1 Мгц и затем постукает в канал V, куда также подаются колебания редкой сетки частот — 10 фиксированных частот (подставки) в диапазоне  $f_4 = 8,08 \div 11,92$  Мгц с шагом 425,77 кгц, сформированным в канале IV. В результате преобразований в канале V формируются колебания выходных частот автогенератора в диапазоне  $f_5 = 4,2577 \div 8,515396$  Мгц. Цифровой автогенератор я. м. во всем диапазоне обеспечивает получение  $1 \cdot 10^6$  фиксированных частот.

Выходная частота  $f_5$  перестраивается с помощью делителей ДПКД<sub>1</sub>  $\div$  ДПКД<sub>3</sub> с коэффициентами деления  $K_1 = 1000 \div 1999$ ,

$K_2 = 19 \div 28$  и  $K_3 = 300 \div 399$ . ДПКД<sub>1</sub> управляется тремя переключателями, ДПКД<sub>2</sub> — одним переключателем и ДПКД<sub>3</sub> — двумя

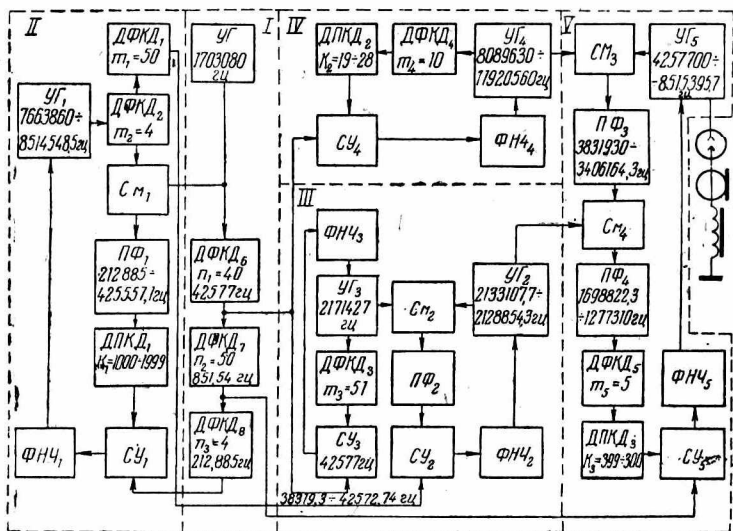


Рис. 1. Функциональная схема цифрового синтезатора частот: у. г — управляемый генератор; ф. н. ч — фильтр нижних частот; д. ф. к. д — делитель с фиксированным коэффициентом деления; п. ф. — полосовой фильтр; д. п. к. д — делитель с переменным коэффициентом деления; с. у — сравнивающее устройство; э. г — эталонный генератор.

переключателями на десять положений каждый. Переменные делители ДПКД<sub>1</sub> — ДПКД<sub>3</sub> обеспечивают перестройку выходных частот в десятичной системе, кратную минимальному шагу  $\Delta f = 4,2577$  гц в диапазоне  $4,2577 \div 8,5153$  Мгц, что соответствует измерению  $N$  в интервале  $0,10 - 0,1999999$  мл с дискретностью  $10^{-7}$  мл.

На рис. 2 приведена принципиальная схема с. у. В качестве с. у. во всех каналах ц. с. ч. применен триггер с раздельным входом. Отличительной особенностью данного с. у. является линейность амплитудно-фазовой характеристики в пределах  $0^\circ \div 360^\circ$ ,

положений каждый. Переменные делители ДПКД<sub>1</sub> — ДПКД<sub>3</sub> обеспечивают перестройку выходных частот в десятичной системе, кратную минимальному шагу  $\Delta f = 4,2577$  гц в диапазоне  $4,2577 \div 8,5153$  Мгц, что соответствует измерению  $N$  в интервале  $0,10 - 0,1999999$  мл с дискретностью  $10^{-7}$  мл.

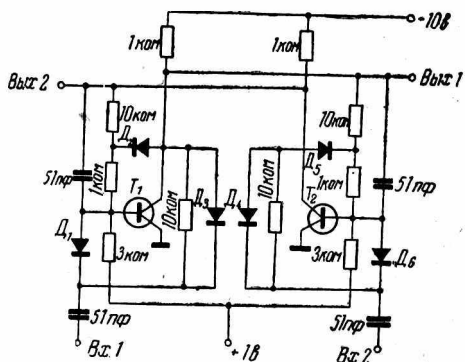


Рис. 2. Принципиальная схема сравнивающего устройства (транзисторы  $T_1$  и  $T_2$  — П416; диоды  $D_1 \div D_6$  — Д18).

широкополосность от единиц герц до нескольких мегагерц, температурная стабильность, простота схемы, отсутствие необходимости ее регулировки [4]. Для обеспечения необходимой чистоты спектра и стабильности частоты автогенератора применен быстродействующий триггер. Высокое быстродействие достигается применением нелинейной обратной связи и внешнего смещения. На вход 1 подается сигнал напряжением 7 в из канала эталонных опорных частот, на вход 2 — напряжение преобразованной частоты управляемого генератора (у. г.). В начальный момент (в режиме поиска), когда частоты отличаются друг от друга, с. у. работает как частотный детектор. На выходе триггера получается группа импульсов, модулированных по длительности, повторяющихся с частотой, равной разности частот входных сигналов. Фильтром нижних частот эта группа импульсов преобразуется в пилообразное напряжение, которое поступает на управляющий элемент (у. э.), частота которого изменяется под действием управляющего напряжения до тех пор, пока входные частоты с. у. не станут равными. Далее с. у. работает как фазовый детектор (режим захвата частоты).

Схема ц. с. ч. выполнена на транзисторах типа П-416 и полупроводниковых диодах Д-18. Стабильность частот синтезатора в любой точке диапазона проверялась электронным частотомером ЧЗ-29 и составляет  $5 \cdot 10^{-7}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. О. И. Губернаторов, А. Г. Гордиенко, В. Т. Пивовар, Р. М. Пивовар. ПТЭ, 1970, № 1.
2. В. Т. Пивовар, О. И. Губернаторов, Р. М. Шевченко, А. Г. Гордиенко. «Приборы и системы автоматки», вып. 9, Харьков, Изд-во ХГУ, 1968.
3. О. И. Губернаторов, В. Т. Пивовар, В. И. Цыбулько. «Радиотехника», вып. 11, Харьков, Изд-во ХГУ, 1969.
4. В. В. Шахгильдян, А. А. Ляховкин. Фазовая автопостройка частоты. Изд-во «Связь», 1966.