

УДК 621.372.632

А. С. Ефимов, В. А. Жмудь

*(Новосибирск)***СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТЫ СО СВЕРХМАЛЫМ ШАГОМ
ДЛЯ СИСТЕМ ЧАСТОТНОЙ И ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ**

Разработан синтезатор частоты, управляемый двоично-десятичным кодом, с шагом управления 0,05 Гц в диапазоне 975—1025 кГц для системы стабилизации частоты He—Ne-лазера по сверхтонкой структуре резонансов поглощения метана. Синтезатор может быть использован в системах прецизионной фазовой и частотной автоподстройки с цифровым управлением.

Повышение точности системы управления спектрометром высокого разрешения [1] и лазерного стандарта частоты на ее основе [2] требует создания синтезатора частоты со сверхмалым шагом. При этом используется фазовая автоподстройка частоты (ФАПЧ) управляемого He—Ne-лазера к частоте опорного лазера, т. е. частота биений, получаемых на фотоприемнике, привязывается к частоте генератора, который, в свою очередь, управляется по заданной программе (для целей спектроскопии сверхузких резонансов). Автоматизация этой системы и достижение лучшей долговременной стабильности требуют создания генератора с существенно улучшенными точностными характеристиками. Для этого необходимо решение следующих задач:

- уменьшение шага управления до 0,05 Гц и менее;
- повышение абсолютной стабильности;
- уменьшение габаритов и веса.

Для обеспечения указанных требований нами разработан и изготовлен синтезатор двух частот: $F_1 = 975$ кГц и управляемой частоты $F_2 = 975$ кГц + F_x . Уменьшение шага управляемой частоты достигается добавлением стандартных узлов (декад), габариты синтезатора задаются размерами печатных плат — около 14 дм² (три неполные платы КАМАК).

Прибор выполнен по принципу подекадной автоподстройки частоты с фазовой привязкой в каждой декаде к частоте кварцевого резонатора (или внешнего стабильного генератора) [3, 4]. Фильтры для выделения суммарных и разностных частот в каждой декаде изготовлены на операционных усилителях, фильтр ПЧ — на стандартных ВЧ-дресселях.

Функциональная схема синтезатора показана на рис. 1. Прибор содержит кварцевый генератор 1 частоты 5 МГц, компаратор 2 для формирования сигналов ТТЛ-уровня от внешнего генератора, ряд счетчиков (3—6) для получения кратных частот: 625 кГц, 1 МГц, 100 и 5 кГц, интерфейс КАМАК 7, схему ФАПЧ 8 со счетчиком — делителем частоты на шесть — для получения частоты 600 кГц и ряд однотипных узлов (9—16) — «декад».

Каждая декада (рис. 2) содержит систему ФАПЧ, частотный сумматор и счетчик-делитель и осуществляет преобразование входной частоты в частоту

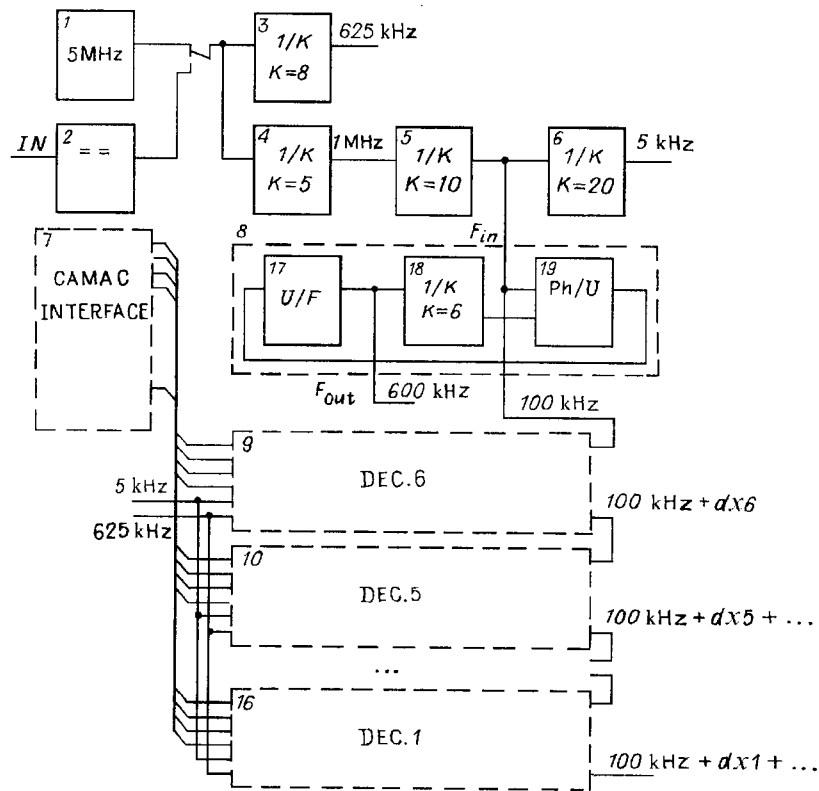


Рис. 1. Функциональная схема синтезатора:

1 — генератор, 2 — компаратор, 3–6 — счетчики, 7 — интерфейс КАМАК, 8 — система ФАПЧ, 9–16 — декады преобразования частоты, 17 — управляемый генератор, 18 — счетчик, 19 — фазовый детектор

с приращением, определяемым управляющим кодом. С этой целью ФАПЧ вырабатывает частоту

$$F_{out} = F_{in}(180 + dx_i) = (900 + 5dx_i) \text{ кГц},$$

где $F_{in} = 5 \text{ кГц}$ — входная частота системы; $180 + dx_i$ — коэффициент умножения частоты; dx_i — относительная прибавка частоты на i -м шаге.

Частотный сумматор добавляет к полученной частоте внешнюю частоту, равную 100 кГц , плюс все добавки, накопленные на предыдущих шагах, после чего частота делится на 10 . В результате получается частота 100 кГц с добавлением частоты dx_i , умноженной на 500 Гц , и накопленными ранее добавками, разделенными на 10 . Таким образом, каждая декада сдвигает полученное ранее приращение частоты на порядок вниз, добавляет новое приращение и при этом сохраняет значение несущей. Это позволяет уменьшать величину шага установки частоты за счет добавления стандартных узлов.

Последняя декада не содержит счетчика и смещает частоту на 25 кГц вниз, что требуется по условиям эксперимента. При необходимости накопленное приращение частоты может быть перенесено на желаемую несущую, в том числе в нулевые частоты. Если требуется выходная частота более высокого значения, последняя декада может быть сделана на несущей 10 МГц (для этого из предпоследней декады убирается счетчик, а последняя выполняется на другой элементной базе).

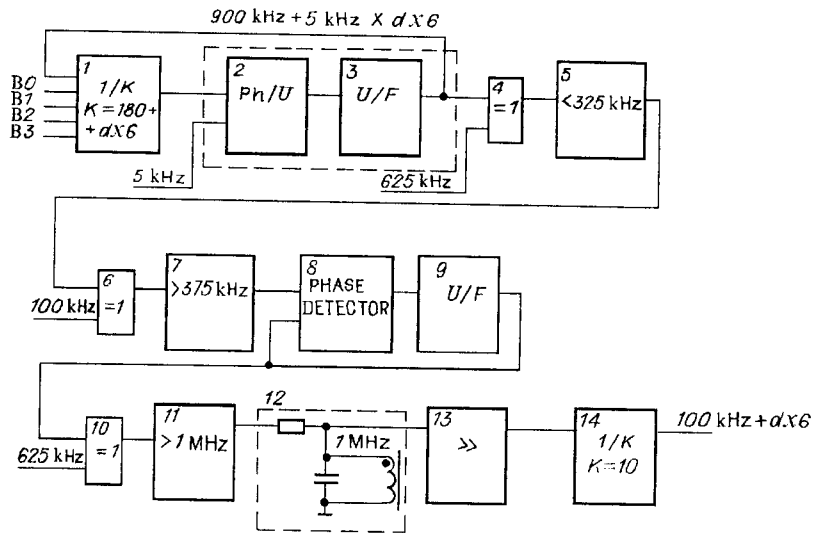


Рис. 2. Функциональная схема декады:

1 — счетчик, 2, 8 — фазовый детектор, 3, 9 — управляемый генератор, 4, 6, 10 — схема ИЛИ-НЕ, 5 — фильтр НЧ, 7, 11 — фильтр ВЧ, 12 — полосовый фильтр, 13 — усилитель, 14 — счетчик

Выбранные значения несущих частот и коэффициентов преобразования позволили реализовать это устройство на современной элементной базе и отказаться от многоконтурных резонансных полосовых фильтров для выделения суммарной частоты. В каждой декаде умножение частоты осуществляется системой фазовой АПЧ на базе интегральной ФАП [5], а в тракте передачи сигнала от управляемого генератора содержится счетчик с переменным коэффициентом деления [6]. Для того чтобы при суммировании частот ограничиться активными ВЧ- и НЧ-фильтрами на базе операционных усилителей среднего быстродействия, процесс суммирования был разбит на три этапа. На первом шаге из частоты, примерно равной 900 кГц, вычитается вспомогательная частота, равная 625 кГц. На втором шаге к полученной частоте прибавляется частота 100 кГц с добавками от предыдущих декад. В этом случае выделить суммарную частоту (более 375 кГц) из разностной (менее 225 кГц) можно активным ВЧ-фильтром, однако эти частоты достаточно близки. Их взаимодействие приводит к глубокой амплитудной модуляции суммарной частоты, которая при формировании прямоугольных импульсов может приводить к фазовой модуляции, а иногда и к потере одного импульса. Для устранения этого недостатка использована дополнительная фильтрация с помощью системы фазовой АПЧ. Полученный сигнал имеет симметричную форму типа «мандра», высокую стабильность и спектральную чистоту. На третьем шаге полученная частота смещается на несущую 1 МГц путем суммирования со вспомогательной частотой 625 кГц. В последней декаде используется частота 600 кГц, что переносит несущую на 975 кГц. Фильтрация на третьем шаге осуществляется активным ВЧ-фильтром и LC-контуром. Это можно сделать, поскольку относительные изменения частоты невелики (25 кГц на несущей 1 МГц).

Величина добавочной частоты F_x управляется в стандарте КАМАК в двоично-десятичном коде. Вес младшего разряда 0,05 Гц, весь диапазон управления от 0 до 50 кГц. Таким образом, частота F_2 управляется в диапазоне от 975 до 1025 кГц с шагом 0,05 Гц. Дрейф выходной частоты не превышает 0,1 Гц за время от 1 с до 10 ч. Имеется возможность подключения внешнего генератора от водородного стандарта частоты $F = 5$ МГц. В этом случае стабильность выходных частот определяется стабильностью частоты внешнего генератора F (гарантированы десять знаков абсолютного значения).

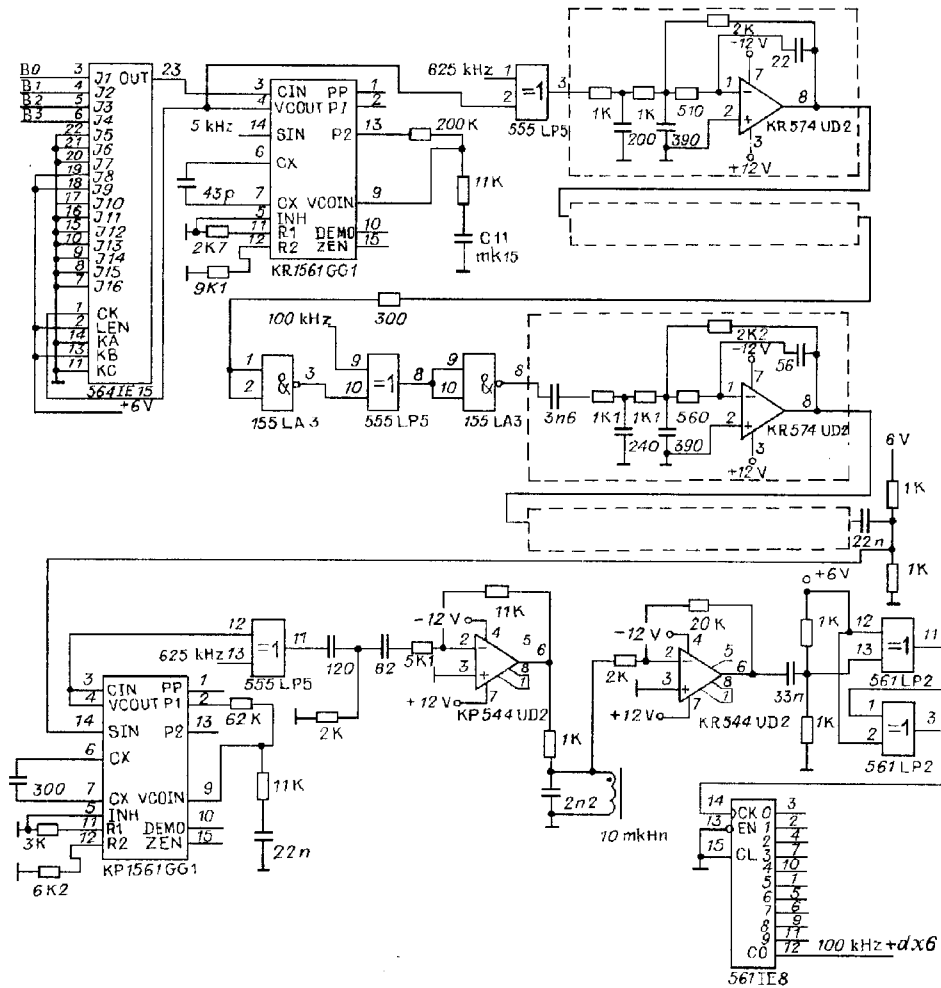


Рис. 3. Принципиальная схема декады

Принципиальная схема декады преобразования частоты показана на рис. 3. Система ФАПЧ собрана на микросхеме КР1564ГГ1 с включением счетчика 564ИЕ15 в тракт между управляемым генератором и фазовым детектором. Применение питания 5 В для КМОП-серии делает ее совместимой по уровням с ТТЛ-серией, что позволяет исключить преобразователи уровней. Применение только КМОП-серии нецелесообразно из-за низкого быстродействия, которое усложняет суммирование частот. Все узлы не требуют никаких подстроечных элементов, для фильтров использованы резисторы и конденсаторы среднего класса точности (МЛТ-0.125, КМ-5а).

Описанный синтезатор может быть применен в системах прецизионной фазовой (частотной) автоподстройки с возможностью наращивания точности, поскольку шаг управления частотой может быть сделан сколь угодно малым. Особый интерес представляют системы, ориентированные на достижение высокой долговременной стабильности, в которых повышение точности требует дальнейшего уменьшения шага управления частотой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bagayev S. N., Dmitriev A. K., Ohm A. E. et al. Portable He—Ne/CH₄ frequency standard on cold particles // CPEM'94 Digest /Ed. E. De Weese, G. Bennett. Boulder, Colorado, USA, 1994. P. 167.
2. Bagayev S. N., Dmitriev A. K., Klementyev V. M. et al. Progress towards optical clock // MPLP'95 Digest. Novosibirsk, Russia, 1995. P. 73.
3. Винокуров В. И., Каплин С. И., Петелин И. Г. Электрорадиоизмерения: Учеб. пособие для радиотехн. спец. вузов /Под ред. В. И. Винокурова. М.: Высш. шк., 1986.
4. Рыжков А. В., Попов В. Н. Синтезаторы частот в технике радиосвязи. М.: Радио и связь, 1991.
5. Шило В. Л. Популярныe микросхемы КМОП: Справочник. М.: Ягуар, 1993.
6. Коган А. Л., Кожемякин А. Н., Колосовский А. В., Синекаев В. В. Программируемый счетчик K564ИЕ15 // Электрон. пром-сть. 1982. № 1.

Поступила в редакцию 13 октября 1995 г.

Реклама продукции в нашем журнале — залог Вашего успеха!