

УДК 621.376

В.В. Бирюков, М.И. Курзенков, Р.В. Мауль

СТАБИЛИЗАЦИЯ ЧАСТОТЫ ГЕНЕРАТОРА СИГНАЛОВ Г4-207

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Предложен способ улучшения характеристик серийно выпускаемого генератора сигналов Г4-207. Приведены результаты моделирования. Показано существенное повышение характеристик генератора при синхронизации кольцом фазовой автоподстройки частоты.

Ключевые слова: генератор сигналов, фазовая автоподстройка частоты, нестабильность частоты, фазовые шумы.

Измерительные генераторы сигналов применяются в качестве источников колебаний в режимах НГ, ИМ, АМ, ЧМ при настройке, регулировке, испытаниях радиотехнических устройств. Они обеспечивают калибровку измерителей мощности, измерение потерь, ослаблений, КСВН, параметров антенн и антенных трактов. Могут быть использованы в составе автоматизированных измерительных систем, а также в качестве свип-генераторов при панорамных измерениях параметров цепей.

Одним из таких приборов является серийно выпускаемый отечественной промышленностью генератор сигналов Г4-207. Это многофункциональный, малогабаритный генератор с калиброванным уровнем выходной мощности в диапазоне 17,44-25,86 ГГц (рис. 1).

**Рис. 1**

Встроенная однокристалльная микроЭВМ полностью автоматизирует процесс управления прибором, производит набор и установку параметров, исключает установку запрещенных режимов, устанавливает отсчет параметров в заданных единицах, обеспечивает управление прибором по каналу общего пользования (КОП).

Автоматическая калибровка нуля усилителя постоянного тока системы АРМ позволяет существенно увеличить динамический диапазон ее работы и свести к минимуму температурную погрешность уровня выходной мощности.

Технические характеристики характеристики генератора:

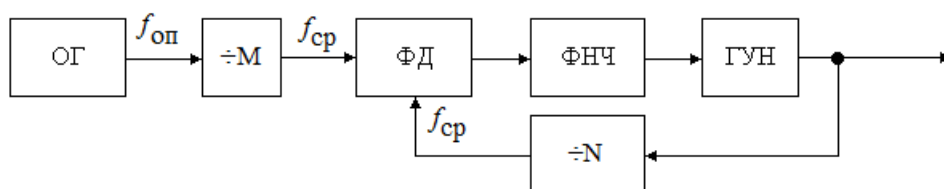
- диапазон частот: 17,44-25,86 ГГц;
- погрешность установки частоты $\pm 0,45\%$;
- уровень выходной мощности: 40 мВт;
- пределы регулирования уровня выходной мощности: 28 дБ;
- погрешность установки уровня выходной мощности, не более $\pm 1,5$ дБ;
- относительный уровень гармоник и субгармоник, не более: -30 дБ (3/2f, 2f);
- уровень мощности с дополнительного выхода (пределы регулирования 20 дБ), не менее 1 мВт.

- Частотная модуляция:
 - диапазон модулирующих частот 0,05-100 кГц;
 - девиация частоты до 50 МГц.
- Амплитудная модуляция:
 - диапазон модулирующих частот 0,05-5 кГц;
 - коэффициент модуляции 0-50 %.
- Импульсная модуляция:
 - частота повторения импульсов 0,05-200 кГц;
 - длительность импульсов 0,1 мкс-10,0 мс;
 - подавление сигнала в паузе, не менее 60 дБ.
- Свипирование:
 - полоса свипирования от 10 МГц до полного диапазона рабочих частот;
 - время автоматического свипирования 20 мс, 80 мс; 1 с.

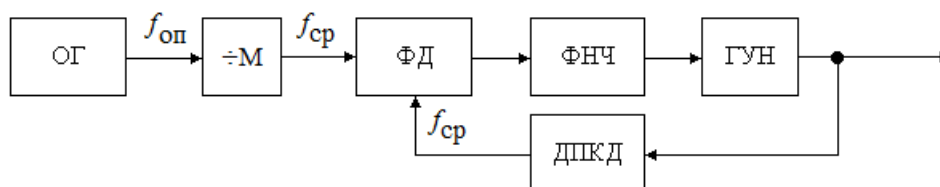
Диапазон рабочих температур -10 — $+50$ °С. Относительная влажность воздуха при 25 °С не более 98 %. Питание от сети переменного тока 220 ± 22 В, $50 \pm 0,5$ Гц; $115 \pm 5,75$ В, 400 ± 10 Гц. Потребляемая мощность не более 60 ВА. Габариты; масса: 240x120x390 мм; 9,5 кг.

Основными недостатками данного прибора являются низкая стабильность частоты и высокая погрешность установки частоты. Эти недостатки могут быть устранены путем стабилизации частоты генератора с помощью кольца фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) [1]. Система ФАПЧ может быть выполнена с целочисленным или дробно-переменным коэффициентом деления частоты.

В схеме с целочисленным коэффициентом деления синхронизируемый генератор, управляемый напряжением (ГУН), охвачен кольцом автоматической подстройки частоты, содержащим фазовый дискриминатор (ФД), опорный делитель частоты $\div M$, делители частоты в кольце $\div N$ и $\div P$ и цепь обратной связи с фильтром нижних частот (ФНЧ) (рис. 2, а). Делитель частоты $\div P$ работает на частоте f выходного сигнала ГУН с фиксированным коэффициентом деления, кратным степени 2, а делитель $\div N$ работает как управляемый счетчик с произвольным коэффициентом деления.



а)



б)

Рис. 2

Фазовый детектор на частоте сравнения $f_{ср} = \frac{f_0}{M}$ сравнивает приведенные фазы опорного (ОГ) и подстраиваемого генераторов. Если в кольце ФАПЧ установился режим фазовой

синхронизации, приведенные частоты совпадают, и тогда разность фаз колебаний на ФД, напряжение на его выходе и напряжение на выходе ФНЧ постоянны. Коэффициент пропорциональности частот опорного генератора и ГУН представляет собой отношение целых чисел:

$$f = \frac{N}{M} f_0.$$

При различных значениях M и N частота ГУН может принимать дискретные значения с шагом $\Delta f = \frac{f_0}{M}$. Для перехода на другую рабочую частоту необходимо переключить коэффициенты M и/или N . Это вызывает переходный процесс в кольце авторегулирования ФАПЧ, длительность которого τ равна 30–50 периодам частоты сравнения,

$$\tau \approx (30 \div 50) \frac{M}{f_0}.$$

Таким образом, возникает противоречие между требованием иметь малый шаг сетки частот Δf для уменьшения погрешности установки частоты и длительностью процесса ее установления τ , обратно пропорциональной шагу. Кроме того, при уменьшении Δf затрудняется фильтрация ближайших к несущей частоте паразитных дискретных компонент спектра.

Для разрешения этого противоречия используется более сложная схема делителя частоты в кольце – делитель с дробно-переменным коэффициентом деления (рис. 2, б).

В этом случае средняя частота выходного сигнала f дробным образом связана с частотой опорного генератора:

$$f = \left(N + \frac{q}{R} \right) \frac{f_0}{M}.$$

Шаг сетки частот $\Delta f = \frac{f_0}{MR}$ значительно меньше, чем в схеме на рис. 2, так как значение R может составлять 2^6 – 2^{12} . При этом длительность переходного процесса в кольце ФАПЧ, как и в схеме на рис. 2, определяется частотой сравнения $f_{cp} = \frac{f_0}{M}$.

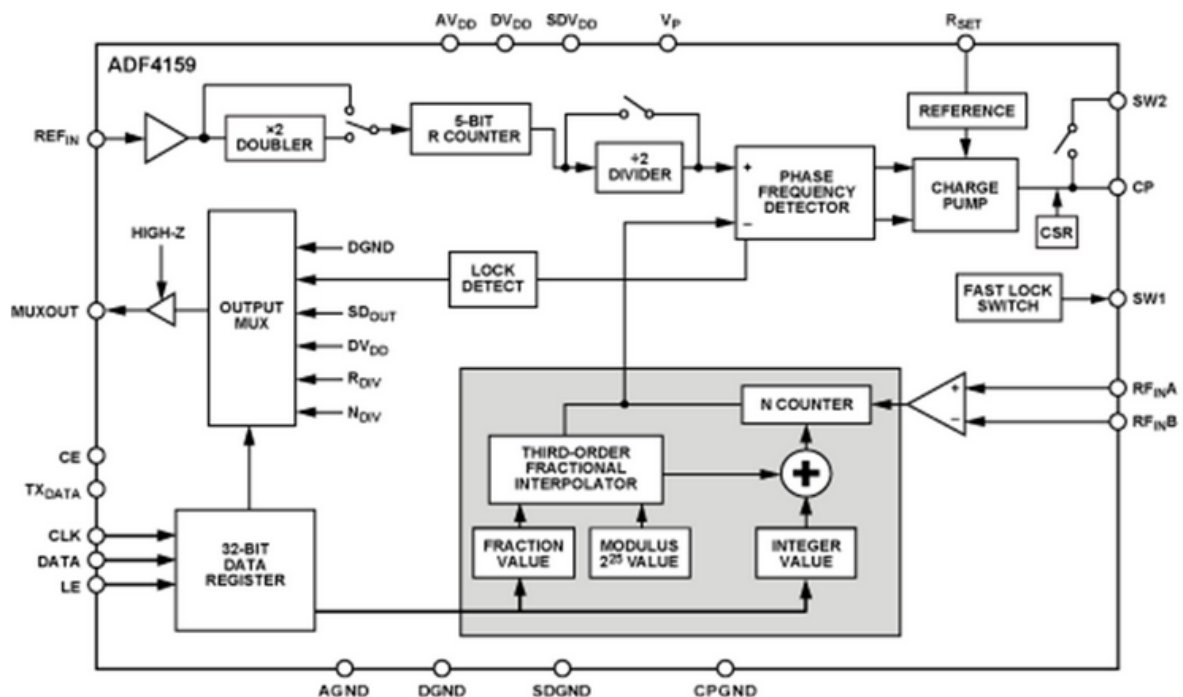


Рис. 3

В настоящее время существует широкий выбор микросхем фазовой автоподстройки частоты, включающих в себя все основные элементы кольца ФАПЧ [2]. Наиболее подходящей из них в рассматриваемом случае является микросхема ADF4159.

ADF4159 – это синтезатор частот с дробным коэффициентом деления и функцией модуляции, который обладает полосой 13 ГГц и обеспечивает разрешение установки частоты менее 1 Гц. Генератор Г4-207 имеет дополнительный выход, частота сигнала которого равна половине частоты основного сигнала. Это позволяет обойтись без дополнительного делителя частоты.

ADF4159 включает в себя малошумящий цифровой фазочастотный детектор, прецизионную схему накачки заряда, программируемый делитель опорной частоты, программируемый делитель с дробным коэффициентом (рис. 2).

Управление всеми внутренними регистрами осуществляется через простой трехпроводный интерфейс. ADF4159 работает с напряжением питания аналоговой части в диапазоне от 2.7 до 3.45 В и напряжением питания цифровой части в диапазоне от 1.62 до 1.98 В. Когда компонент не используется, его можно переключить в режим пониженного энергопотребления.

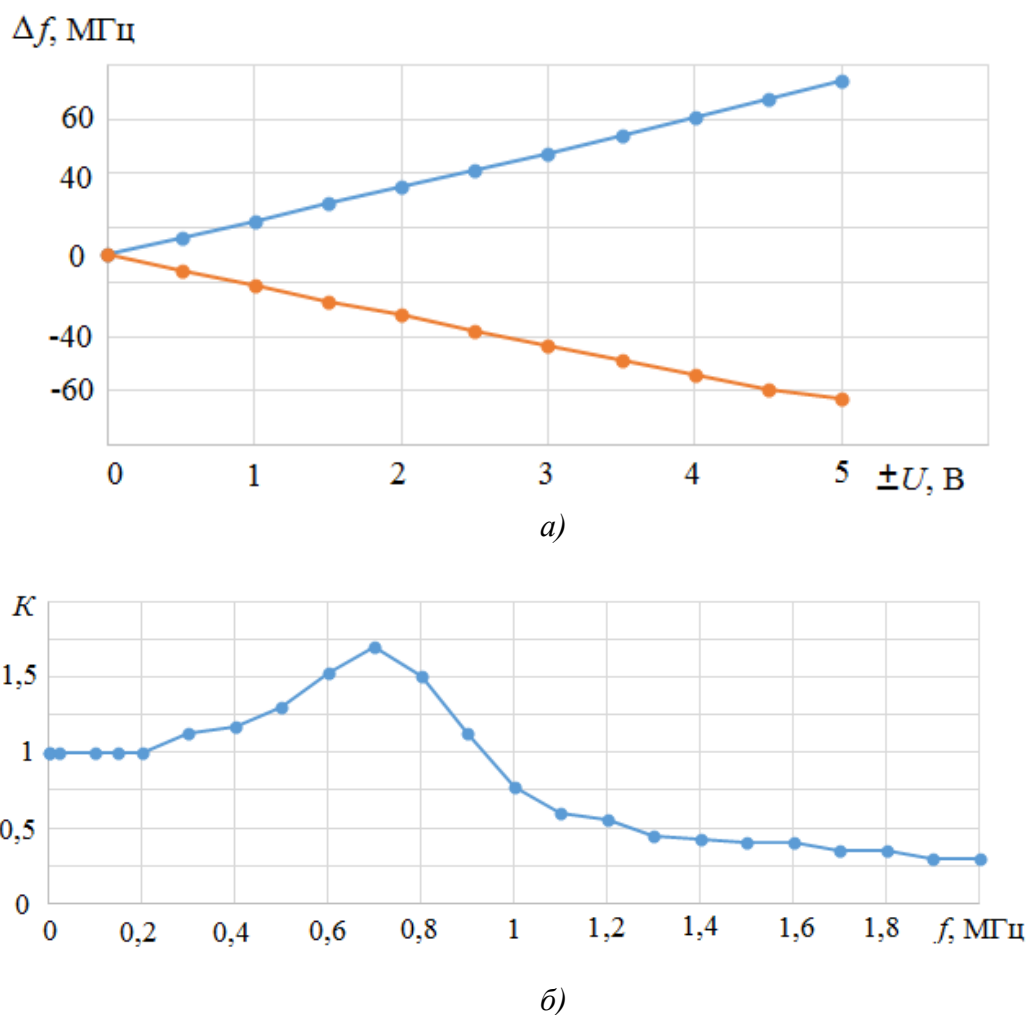


Рис. 4

В настоящее время наиболее близким отечественным аналогом является микросхема 1508ПЛ9Т, обладающая следующими параметрами:

- входная частота до 3 ГГц;
- частота работы фазового детектора не более 75 МГц;

- коэффициенты деления предделителя 4/5, 8/9, 16/17 и 32/33;
- режимы работы с целочисленным и дробным коэффициентом деления;
- устройство рандомизации помех дробности;
- последовательный порт управления SPI;
- возможность управления коэффициентом деления по параллельной шине;
- потребление не более 80 мВт.

Использование данной микросхемы затруднено её низкой входной частотой, что требует применения дополнительных делителей частоты.

По отношению к микросхеме ФАПЧ синхронизируемый генератор выступает в качестве генератора, управляемого напряжением.

В случае генератора Г4-207 управляющее напряжение может подаваться на вход ЧМ генератора, предназначенный для реализации режима внешней частотной модуляции сигнала. Основные характеристики цепи управления по этому входу приведены на рис. 4.

Как видно из приведённых зависимостей при изменении управляющего напряжения от -5 до +5 В частота генератора меняется на 130 МГц. Этой величины достаточно для компенсации уходов частоты генератора во всех рабочих условиях. Попадание частоты в полосу захвата обеспечивается имеющейся в генераторе системой установки частоты по основной катушке ЖИГ-генератора.

Амплитудно-частотная характеристика цепи управления (рис. 4, б) постоянна в диапазоне частот до 200 КГц, что позволяет не учитывать её при частоте среза петлевого фильтра порядка 20 кГц. Для обеспечения малого времени установления частоты генератора частота сравнения выбрана равной 1 МГц. В качестве ФНЧ взят активный пропорционально-интегрирующий ФНЧ с частотой среза 20 кГц, позволяющий улучшить фильтрацию шумов и паразитных составляющих спектра.

Полученные в результате моделирования характеристики синхронизированного генератора приведены на рис. 5 и 6. Как видно из этих зависимостей при частотах отстройки от несущей менее 10 кГц фазовые шумы определяются опорным кварцевым генератором, а при частотах более 100 кГц совпадают с шумами «свободного» (несинхронизированного) генератора. Время установления частоты составляет менее 100 мкс.

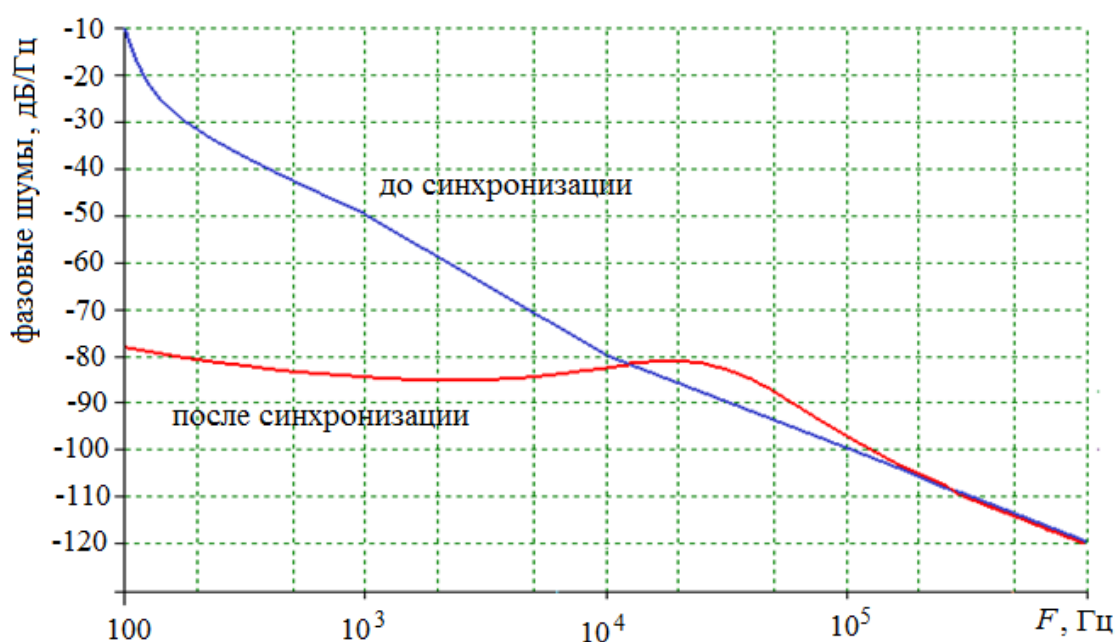


Рис. 5

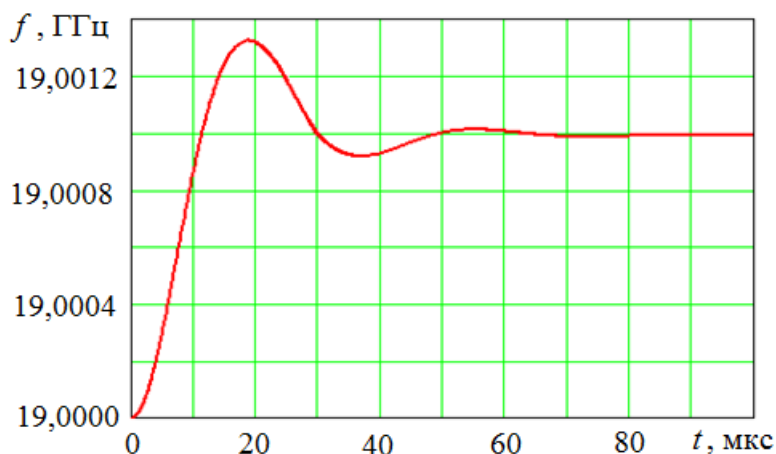


Рис. 6

Таким образом, предлагаемая система синхронизации генератора сигналов Г4-207 существенно понижает его фазовые шумы вблизи несущей частоты, на несколько порядков уменьшает погрешность установки и нестабильность частоты выходного сигнала генератора.

Библиографический список

1. Белов, Л.А. Синтезаторы частот и сигналов / Л.А. Белов. – М.: САЙНС ПРЕСС, 2002. – 80 с.
2. РАДИОКОМП – радиокомпоненты мировых производителей. <http://www.radiocomp.ru>

Дата поступления
в редакцию 30.09.2015

V.V. Biryukov, M.I. Kurzenkov, R.V. Maul

FREQUENCY STABILIZATION OF THE SIGNALS GENERATOR G4-207

Nizhniy Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: The article describes a method for improving the characteristics of the signal generator G4-207 using ring a phase locked loop (PLL).

Design/methodology/approach: The characteristics of generator are presented. Its shortcomings are identified. The simulations of the ring oscillator phase-locked loop with a fractional-N division are carried out.

Finding: The possibility of significant improving generator characteristics is shown.

Research limitations/implications: The proposed method of improving the characteristics uses commercially available chip PLL. The justification of chip PLL selection is provided.

The characteristics of engulfed ring of the generator PLL are given.

Originality/value: It is shown that the proposed system synchronization signals generator G4-207 significantly reduces its phase noise near the carrier frequency.

Instability and the inaccuracy of installation of the output frequency of the generator are reduced in several orders.

Key words: generator of signals, phase-locked loop, instability of frequency, phase noises.