

УДК 621, 378

ИЗМЕРЕНИЕ КРАТКОВРЕМЕННОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ МОЛЕКУЛЯРНОГО ГЕНЕРАТОРА НА ЛИНИИ 3,3 N¹⁵N₃

А. С. Клейман, А. Я. Лейкин, В. И. Пестовский, Н. С. Фертик

Приводятся результаты экспериментального определения кратковременной нестабильности частоты молекулярного генератора на линии 3,3 N¹⁵N₃. Измеренная нестабильность частоты составляет $(3 \div 4) \cdot 10^{-13}$ за время измерения 1 сек.

Кратковременная нестабильность частоты молекулярного генератора (МГ) в значительной степени определяется собственными шумами генератора и связанных с ним электронных устройств. Измерения и статистическая классификация этих шумов позволяют определить предельную нестабильность частоты, достижимую с помощью МГ.

Нами произведено измерение кратковременной нестабильности частоты МГ. Блок-схема измерений представлена на рис. 1. Сигналы двух исследуемых МГ поступали на вход балансного смесителя, а затем после преобразования и усиления усилителем промежуточной частоты—на детектор. С детектора сигнал разностной частоты двух МГ (~ 100 гц) после усиления поступал на электронно-счетный частотомер типа Ф-552, работающий в режиме измерения длительности периодов. Отношение сигнал/шум на входе частотомера составляет ~ 50 .

Погрешность измерения разностной частоты двух МГ электронно-счетным частотомером мала и составляет $4 \cdot 10^{-14}$ при счете 100 периодов частоты 100 гц.

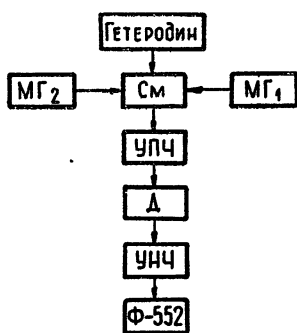


Рис. 1.

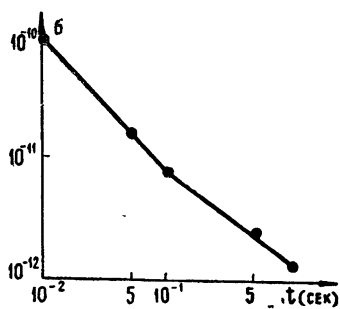


Рис. 2.

По результатам измерений определялось среднее квадратичное значение отклонения частоты σ для ряда измерений. На рис. 2 приведен график, полученный по результатам обработки многочисленных серий измерений для различных времен наблюдения. Каждая точка графика получена по результатам обработки 100 измерений.

Характер кривой $\sigma = \alpha(t)$ хорошо согласуется с соотношением, определяющим влияние на сигнал МГ частотной модуляции белым шумом [1]. Следует иметь в виду, что среднеквадратичное отклонение частоты молекулярного генератора за разные интервалы времени определяется как шумами самого МГ, так и аддитивными шумами связанных с ним электронных устройств.

Теоретическое рассмотрение нестабильности частоты [2-5] показывает, что в генераторах с самовозбуждением происходят сбивания фазы, которые накапливаются, подобно смещению броуновской частицы, по диффузионному закону

$$\Delta \bar{\varphi}^2 = Dt, \quad (1)$$

где $\Delta \bar{\varphi}^2$ — средний квадрат смещения фазы за время t , D — постоянный коэффициент.

Из (1) путем несложных преобразований получим соотношение для кратковременных относительных изменений частоты

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{A}{t^{1/2}}, \quad (2)$$

где $A = \sqrt{D}/2\pi ft$. Это уравнение справедливо и для естественных флуктуаций частоты МГ. Однако, кроме естественных флуктуаций, на кратковременную нестабильность частоты влияют технические флуктуации.

Предположим, что относительное изменение частоты МГ, с учетом технических флуктуаций, подчиняется закону

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{A}{t^x}. \quad (3)$$

Зависимость, описываемая в (3) и построенная в двойном логарифмическом масштабе, является прямой линией. Наклон этой прямой определяется коэффициентом x и характеризует вид шума, присущего стандарту частоты [6]. Измеренная нестабильность частоты определяется также нестабильностью, вносимой электронной аппаратурой.

Влияние аддитивных шумов электроники (смесителя, усилителя промежуточной частоты, детектора и усилителя низкой частоты) на относительную нестабильность частоты сигналов двух МГ, проходящих через этот тракт, оценено экспериментально. Для этого использовался эквивалентный генератор, сигнал которого модулировался по амплитуде низкой частотой (~ 100 гц). В качестве источника модулирующего сигнала применялся высокостабильный RC-генератор.

Производилось измерение вариаций модулирующей частоты за разные интервалы времени наблюдения. Блок-схема измерений представлена на рис. 3. По результатам многочисленных измерений вычислено,

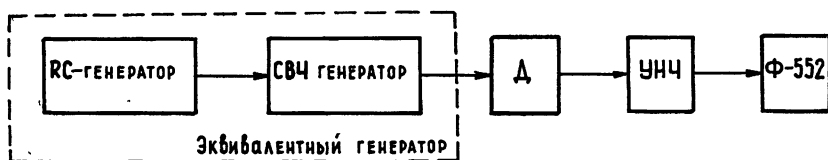


Рис. 3.

что среднеквадратичное значение вариаций модулирующей частоты эквивалентного генератора подчиняется закону $\sigma_1 = k/t$. Затем сигнал от эквивалентного генератора подавался на вход приемного устройства

вместо сигнала МГ. Уровень сигнала эквивалентного генератора устанавливался так, чтобы отношение сигнал/шум на выходе приемного устройства было таким же, как и при работе МГ. Измерялись вариации модулирующей частоты эквивалентного генератора, прошедшей через усилительно-преобразовательный тракт, за разные интервалы времени наблюдения

Измерения и статистическая оценка показали, что среднеквадратичное значение относительных вариаций частоты модулирующего сигнала, прошедшего через усилительно-преобразовательный тракт, подчиняется закону $\sigma_2 = m/t^{0,75}$.

Так как σ_1 и σ_2 статистически независимы и подчиняются нормальному закону распределения, то влияние усилительно-преобразовательного устройства на усиливаемый сигнал может быть определено ($\sigma_3 = \sqrt{\sigma_2^2 - \sigma_1^2}$) для разных интервалов времени наблюдения. Предположим, что влияние усилительно-преобразовательного тракта подчиняется закону

$$\sigma_3 = B/t^y. \quad (4)$$

Из (4) определим $y = 0,62$, используя результаты измерений для разных интервалов времени наблюдения. Зависимость (4), построенная в двойном логарифмическом масштабе, является прямой линией. Наклон этой прямой определяется коэффициентом $y = 0,62$ и характеризует вид шума, присущего усилительно-преобразовательному тракту.

Измеренные изменения частоты МГ представляют сумму (3) и (4) и подчиняются нормальному закону распределения. Произведя квадратичное сложение этих изменений, получим основное соотношение для кратковременной нестабильности частоты σ в виде

$$\sigma^2 = \frac{A^2}{t^{2x}} + \frac{B^2}{(t^{0,62})^2}, \quad (5)$$

где A и x — постоянные коэффициенты, характеризующие нестабильность частоты МГ, B — постоянный коэффициент, характеризующий нестабильность частоты, вносимую электронными устройствами в сигнал МГ.

Из (5) можно определить нестабильность частоты МГ и оценить величину, вносимую шумами электронных устройств, связанных с МГ. Из рис. 2 видно, что среднеквадратичная нестабильность частоты зависит от времени наблюдения. Наклон кривой $\sigma = \alpha(t)$ меняется в зависимости от времени наблюдения. Поэтому анализ характера указанных зависимостей проведен для интервалов времени (0,01 — 0,1) сек и (0,1—1,0) сек.

Решение системы уравнений, полученных из (5), сводится к решению трансцендентного уравнения вида $1 + at_1^{2x} = bt_2^{2x}$. Коэффициенты A , B и x определены и приведены в табл. 1.

Из (3) и (4) определим среднеквадратичное значение нестабильности частоты собственно МГ и значение нестабильности частоты, вносимой электронными устройствами. Результаты расчетов для различных интервалов времени измерения приведены на рис. 4. Они показывают, что кратковременная нестабильность ча-

Таблица 1

Кoeffициент	Интервал времени усреднения	
	(0,01—0,1) сек	(0,1—1,0) сек
A	$2,24 \cdot 10^{-13}$	$3,70 \cdot 10^{-13}$
B	$1,90 \cdot 10^{-12}$	$1,29 \cdot 10^{-12}$
x	1,35	1,05

стоты МГ составляет $(3-4) \cdot 10^{-13}$ при времени измерения 1 сек. Таким образом, ограничения в кратковременной стабильности частоты, в основном, накладываются шумами электронных устройств ($\sim 1,2 \cdot 10^{-12}$).

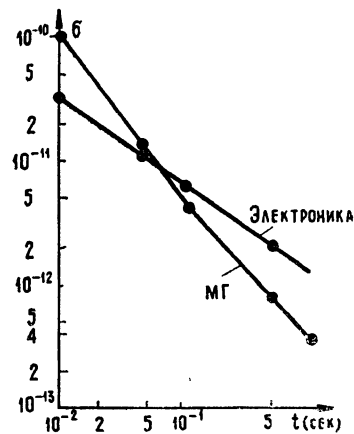


Рис. 4.

Можно предположить, что кратковременная нестабильность частоты МГ меньше, чем $3 \cdot 10^{-13}$, так как при разделении двух нестабильностей, одна из которых значительно больше другой, будет сказываться бóльшая нестабильность.

Для определения предельной нестабильности частоты МГ необходима аппаратура с бóльшей разрешающей способностью. В настоящее время предпринимается попытка разработки и изготовления такой аппаратуры.

В заключение авторы пользуются случаем выразить благодарность И. Л. Берштейну за полезную дискуссию результатов измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. D. V. Allan, Proc. IEEE, **54**, № 2, 221 (1966).
2. И. Л. Берштейн, ДАН СССР, **68**, № 3, 469 (1949).
3. Г. С. Горелик, ЖЭТФ, **20**, № 4, 351 (1950).
4. С. М. Рытов, Радиотехника и электроника, **1**, № 1, 114 (1956).
5. И. С. Гоноровский, Радиотехника и электроника, **2**, № 10 (1957).
- R. Vessot, L. Mueller, I. Vanier, Proc. IEEE, **54**, № 2, 199 (1966).

Харьковский государственный
научно-исследовательский
институт метрологии

Поступила в редакцию
29 июля 1968 г.,
после доработки
13 марта 1969 г.

MEASUREMENT OF SHORT-TIME INSTABILITY OF LASER FREQUENCY AT 3.3 N¹⁵H₃ LINE

A. S. Kleiman, A. Ya. Leikin, V. I. Pestovskii, N. S. Fertik

The results of experimental determination of the short-time instability of laser frequency at the line 3.3 N¹⁵H₃ are presented. The measured frequency instability is $(3-4) \cdot 10^{-13}$ for the period of 1 sec.