

Характеристики время-частотных измерений

Сергей Зайцев (Самарская обл.)

В статье приведён краткий обзор основных параметров, используемых при различных методах измерения интервалов времени и частоты сигналов.

Большинство методов время-частотных измерений основано на использовании сигналов образцовой частоты, при воспроизведении которой обычно используется генератор, встроенный в измерительное устройство. Для оценки погрешностей таких приборов необходимо знать характеристики сигналов образцовой частоты.

В общем случае мгновенную частоту колебания высокостабильного генератора можно представить в виде суммы:

$$\omega(t) = \omega_0 + \omega_H \alpha t + \Delta\omega(t), \quad (1)$$

где ω_H – номинальное значение частоты; ω_0 – значение частоты при выпуске или проверке прибора; α – коэффициент, зависящий от стабильности частоты во времени; $\Delta\omega(t)$ – флуктуационное изменение частоты.

Из формулы (1) видно, что у источников частоты сигналов имеются два вида нестабильности колебаний:

- долговременная, вызванная систематическим смещением частоты за длительное время $\omega_H \alpha t$,
- кратковременная, определяемая флуктуационными изменениями частоты сигнала $\Delta\omega(t)$.

Граница разделения указанных видов нестабильности является условной и зависит от конкретного источника образцовой частоты. Характер изменений мгновенной частоты показан на рисунке 1 [1]. Поскольку процесс измерения частоты занимает определённый промежуток времени, за который происходят одновременно и систематическое, и флуктуационное изменения частоты, истинное значение час-

тоты определить невозможно. Поэтому для оценки действительного значения частоты пользуются её усреднённым на интервале измерения τ значением $\omega_{cp}(t, \tau)$, которое определяется выражением:

$$\omega_{cp}(t, \tau) = \frac{1}{\tau} \int_{t-\tau/2}^{t+\tau/2} \omega(t) dt. \quad (2)$$

ДОЛГОВРЕМЕННАЯ НЕСТАБИЛЬНОСТЬ ЧАСТОТЫ

Долговременную нестабильность определяют как разность двух усреднённых значений частоты, взятых в конце и в начале интервала времени T :

$$\Delta\omega_d(t) = \omega_{cp}(t+T/2) - \omega_{cp}(t-T/2). \quad (3)$$

Долговременная нестабильность частоты является функцией трёх аргументов: времени t , интервала T и времени усреднения τ мгновенной частоты. Для её экспериментального определения выбирают стандартные интервалы времени T и соответствующее им стандартное время усреднения τ (см. таблицу) [2].

В современной технике частотных измерений для определения долговременной нестабильности частоты используется метод сравнения с образцовой частотой как наиболее точный. Возможно применение любых способов реализации данного метода [1–3], имеющих погрешность измерения $\pm(3 \times 10^{-7} \dots 3 \times 10^{-14})$.

Для повышения достоверности результатов определения долговременной нестабильности частоты производятся N измерений частоты через несколько интервалов времени, на которых гарантируется долговременная нестабильность частоты. Затем на-

ходят среднеарифметическое значение нестабильности частоты:

$$\Delta\omega_{d,cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\omega_{cp}(t_i + T/2) - \omega_{cp}(t_i - T/2) \right]. \quad (4)$$

КРАТКОВРЕМЕННАЯ НЕСТАБИЛЬНОСТЬ ЧАСТОТЫ

При определении кратковременной нестабильности частоты сначала находят усреднённое значение частоты на интервале времени τ (2). Затем определяют кратковременную нестабильность частоты по формуле:

$$\Delta\omega_{kp}(t) = \omega_{cp}(t, \tau) - \omega(t, \tau). \quad (5)$$

Для определения кратковременной нестабильности частоты используют метод сравнения с образцовой частотой. Наиболее простым является электронно-счётный (ЭС) метод, который, однако, во многих случаях не удовлетворяет требованиям к разрешающей способности, ограниченной величиной $1/f_x \tau$.

Более совершенным является комбинированный метод с применением гетеродина и ЭСЧ (см. рис. 2). В качестве опорного генератора используется источник образцовой частоты с нестабильностью на порядок или, по крайней мере, в 3 раза меньшей нестабильности исследуемой частоты.

Период разностной частоты определяет время усреднения τ . Если в схеме на рисунке 2 перед ЭСЧ включен делитель частоты с коэффициентом деления n , то $\tau = n/F_p$, где F_p – разностная частота. Тогда кратковременная нестабильность частоты определяется по формуле:

$$\delta_{kp} = \left(\frac{F_p^2}{f_n^2} \right) \sqrt{\Delta\tau^2} = \left(\frac{F_p}{f_n} \right) \sqrt{\Delta\tau^2}. \quad (6)$$

При выбранной разностной частоте F_p , изменяя коэффициенты деления n , можно получить различное время усреднения (см. рис. 3), т.е. различные погрешности сличения. Разрешающая способность схемы, показанной на рис. 2, прямо пропорциональна погрешности

Рекомендуемые соотношения между T и τ

T	1 год	6 мес.	1 мес.	1 сут.	1 час	100 с	100 с	100 с	100 с
τ	1 сут.	1 сут.	1 сут.	1 ч	100 с	1 с	0,1 с	0,01 с	0,001 с

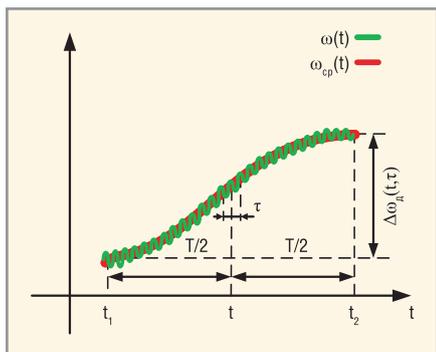


Рис. 1. Характер изменения мгновенной частоты

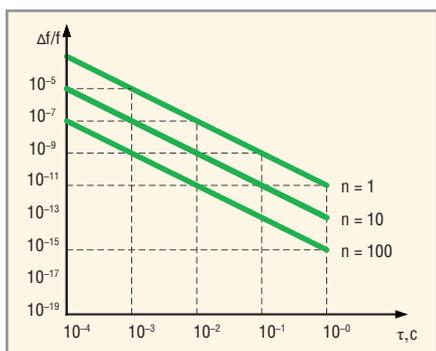


Рис. 4. Зависимость погрешности сличения частот от коэффициента умножения частоты

измерения периода электронно-счётным частотомером ($\delta_{\tau} = 3 \times 10^{-3}$). Для повышения разрешающей способности измерений применяется умножение частоты, тогда:

$$\delta_{кр} = \left(\frac{I_p n_{умн}}{f_{\tau}} \right) \sqrt{\Delta \tau^2} \quad (7)$$

На рисунке 4 показана зависимость разрешающей способности определения кратковременной нестабильности частоты от коэффициента умножения n .

Кратковременную нестабильность частоты можно также измерить с помощью фазового или частотного детектора (см. рис. 5). Сигнал на выходе фазового детектора при $\varphi_1 \ll \pi$, $\varphi_2 \ll \pi$ и $\varphi(t) = \varphi_2(t) - \varphi_1(t)$ пропорционален разности фаз.

При косинусоидальной характеристике фазового детектора измерения должны производиться при разности фаз φ_0 ($\pi/3 \leq \varphi_0 \leq 2\pi/3$). При измерениях анализатором спектра оценивается спектральная плотность мощности флуктуации фазы. При измерениях вольтметром эффективного значения напряжения сигнала на выходе фазового детектора оценивается среднее квадратическое значение флуктуации фазы.

Если на выходе фазового детектора включена дифференцирующая цепь, то выходное напряжение будет прямо пропорционально флуктуациям частоты. В этом случае анализатором

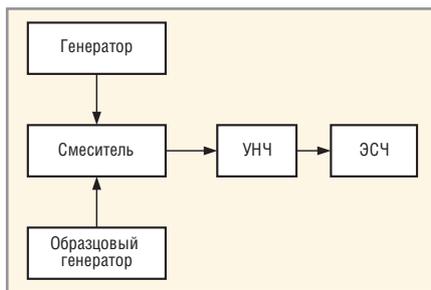


Рис. 2. Способ измерения кратковременной нестабильности частоты при помощи гетеродина и электронно-счётного частотомера

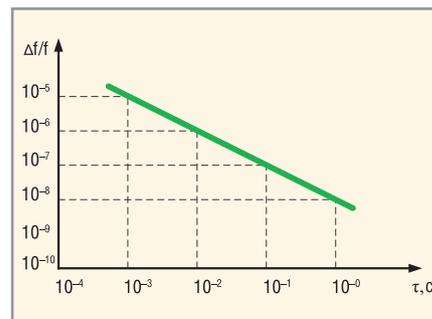


Рис. 3. Зависимость погрешности сличения частот от времени усреднения

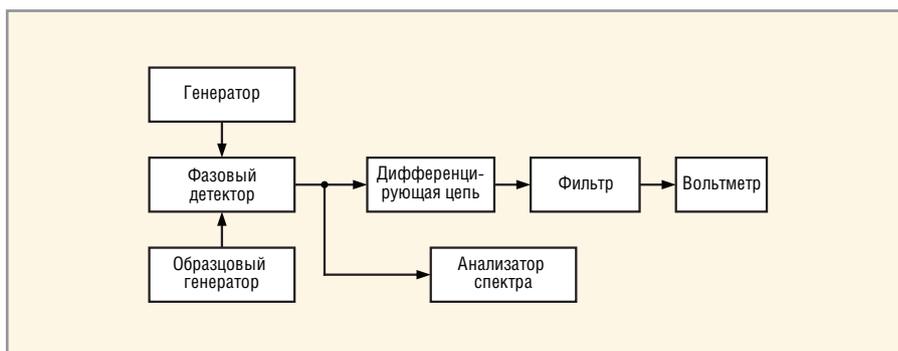


Рис. 5. Структурная схема измерения кратковременной нестабильности частоты с фазовым детектором

спектра может быть оценена спектральная плотность мощности частотных флуктуаций. Для оценки кратковременной нестабильности частоты (среднеквадратического значения флуктуации усредненного значения частоты) необходимо перед вольтметром включить НЧ-фильтр с прямоугольной характеристикой пропускания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дворяшин Б.В. Основы метрологии и радиозамерения: учебное пособие для вузов. Радио и связь, 1993.
2. Измерения в электронике: Справочник. Под ред. В.А. Кузнецова. Энергоатомиздат, 1987.
3. Кушнир Ф.В. Радиотехнические измерения: учебник для техникумов связи. Связь, 1980.



Реклама