

В. П. КОМОЛОВ, В. Ю. МАСЛОВ, И. Т. ТРОФИМЕНКО

ФАЗОМЕТР НА ПАРАМЕТРОНАХ

При разработке радиоизмерительной аппаратуры большое внимание уделяется расширению динамического диапазона фазометров. Для решения этой проблемы, особенно в случаях слабых и сравнимых с шумами сигналов, определенный интерес представляет метод попарного сравнения квантованных фазовых выборок, полученных одновременно при квантовании фазы двух входных сигналов, например, с помощью параметронов.

На рис. 1 показана блок-схема, позволяющая осуществлять эти операции для двух синхронных сигналов $S_i = a_i \cos(\omega_s t + \varphi_{0i})$ и $i=1,2$; a_i — отношения сигнал/шум (с/ш), ω_s — частота сигналов, φ_{0i} — начальные фазы сигналов. Каждый входной сигнал разделяется на два ортогональных канала квантования. В качестве квантователей используются балансные двоиные емкостные параметроны (ПГ), обеспечивающие практически идеальное ограничение амплитуды выходных сигналов. Параметроны питаются от общего генератора накачки частоты $\omega_H = 2\omega_0$ (ω_0 — частота субгармоники).

Для получения квадратурных каналов квантования фаза напряжений накачки ПГ 1, 3 сдвинута относительно фазы накачки ПГ 2, 4 на π . Параметроны работают в мягком режиме с синхронным периодическим запуском с частотой $\omega_m \sim \omega_0 \cdot 10^{-2}$, при этом предусматривается хорошая экранировка параметронов и развязка их между собой по всем входам.

Статистика возбуждения стационарных фаз параметрона несет информацию о функции распределения фазы входного сигнала. При $c/\omega \ll 1$ вероятности возбуждения колебаний с фазами 0 и π в параметронах ПГ 1, 3 определяются как

$$p_k(0, \pi) \simeq \frac{1}{2} \pm \frac{a_i}{\sqrt{2\pi}} \cos \Theta_i, \quad (1)$$

где $\Theta_i = \varphi_{0i} + \Delta\omega t$, $\Delta\omega = (\omega_s - \omega_0)$ — частота расстройки, $k=1,3$ — номер ПГ. Для квадратурных каналов (ПГ 2, 4) со стационарными фазами $\pi/2$ и $3\pi/2$:

$$P_k(\pi/2; 3\pi/2) \simeq \frac{1}{2} \pm \frac{a_i}{\sqrt{2\pi}} \sin \Theta_i, \quad (k=2,4). \quad (2)$$

Сравнение квантованных фазовых выборок (выходных сигналов параметронов) осуществляется с помощью гибридных колец, выходные сигналы которых детектируются. При совпадении фаз выборок на выходе детектора появляется видеоимпульс — условная 1, при несовпадении видеоимпульс не появляется — условный 0. (При сравнении выборок взаимно ортогональных каналов предусматривается поворот фазы в одном из каналов на $\pi/2$.) Дискретные выборки, состоящие из нулей и единиц, обрабатываются с помощью цифровых вычислительных устройств.

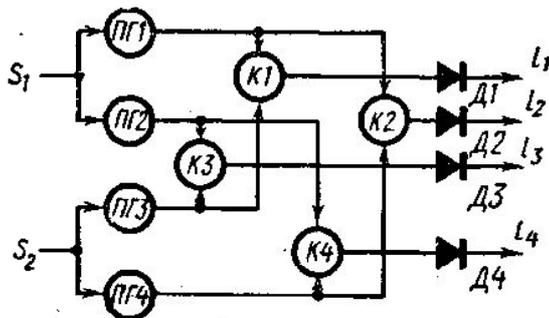


Рис. 1. Блок-схема фазометра: ПГ — параметроны, К — гибридные кольца. Д — детекторы; цепи накачки параметронов не показаны

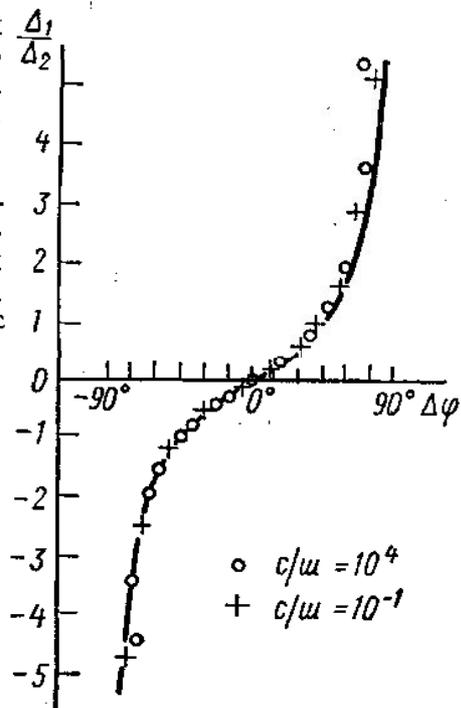


Рис. 2. Экспериментальная тангенциальная характеристика фазометра диапазона 1 мГц

При независимых каналах квантования вероятности совпадений и несовпадений фаз сравниваемых выборок, т. е. вероятности появления 0 или 1 на выходах детекторов D_j для соответствующих номеров $j=1, 2, 3, 4$ определяются с помощью (1) и (2) как:

$$P_1(0,1) = \frac{1}{2} \mp A \cos \Theta_1 \cos \Theta_2; \quad P_2(0,1) = \frac{1}{2} \mp A \cos \Theta_1 \sin \Theta_2, \quad (3)$$

$$P_3(0,1) = \frac{1}{2} \mp A \sin \Theta_1 \cos \Theta_2; \quad P_4(0,1) = \frac{1}{2} \mp A \sin \Theta_1 \sin \Theta_2,$$

где $A = a_1 a_2 / \pi$.

Из (3) можно получить соотношения для определения разности фаз $\Delta\varphi = \varphi_{01} - \varphi_{02}$ и параметра A (обнаружение сигнала)

$$\operatorname{tg} \Delta\varphi = [P_3(1) - P_2(1)] / [P_1(1) - P_4(0)] = \Delta_1 / \Delta_2, \quad (-\pi/2 \leq \Delta\varphi \leq \pi/2), \quad (4)$$

$$\operatorname{tg}(\Delta\varphi/2) = (\sqrt{1 + \Delta_2/\Delta_1} + 1)^{-1}, \quad (-\pi \leq \Delta\varphi \leq \pi), \quad (4)^*$$

$$A^2 = \Delta_1^2 + \Delta_2^2. \quad (5)$$

В формулах (4)–(5) Δ_1 и Δ_2 постоянны только при фиксированных $\Delta\omega$, $\Delta\varphi$, A , однако ими можно также пользоваться при АМ и ЧМ сигналах с учетом, что при АМ сигналах (5) является функцией времени.

Частота и изменение знака расстройки определяются спектральным анализом полученной из (3) периодической знакопеременной функции для $\Delta\omega$:

$$\operatorname{tg}(2\Delta\omega t + \psi_0) = [P_3(1) - P_2(0)] / [P_1(1) - P_4(1)] = \Delta_3(t) / \Delta_4(t), \quad (6)$$

где t — текущее время, $\psi_0 = \varphi_{01} + \varphi_{02}$ — начальная фаза.

В эксперименте при многократных запусках параметронов измеряются не сами вероятности, а относительные частоты совпадений и несовпадений фаз квантованных выборок $h_j(0) = m_j/l$, $h_j(1) = n_j/l$, где m — число нулей, а n — число единиц в выборке длины l , полученной за время накопления T ; $l = \omega_M T / 2\pi$. Точность измерений $\Delta\varphi$ и A при обработке выборок по формулам (4) и (5) зависит от времени накопления, частоты запусков и чувствительности параметронов. Чувствительность параметронов определяется главным образом качеством их балансировки, критерием которой является $P_k(0,1) = 1/2$ при $S_i = 0$.

Рассмотренный метод применим при квантовании как непрерывных, так и радиопульсных сигналов. При несинхронных сигналах (4) имеет вид

$$\operatorname{tg}(\Delta\omega_s t + \Delta\varphi) = \Delta_1(t) / \Delta_2(t), \quad (7)$$

где $\Delta\varphi$ — начальная разность фаз, t — текущее время, $\Delta\omega_s = \omega_{s1} - \omega_{s2}$ — расстройка.

Экспериментальные исследования, проведенные на макетах радио- и СВЧ диапазонов (1 мГц и 2,7 гГц) показали надежную работу фазометров в широком диапазоне отношений $c/\lambda \sim 10^4 \div 10^{-1}$.

Чувствительность параметронов $\sim 10^{-16} \div 10^{-17}$ вт. На рис. 2 показана экспериментальная тангенциальная характеристика фазометра диапазона 1 мГц.

Поступила в редакцию
4.6 1970 г.

Кафедра
радиотехники

УДК 525.11:525.223

Л. А. САВРОВ, М. У. САГИТОВ

О СВЯЗИ СФЕРИЧЕСКИХ И ЭЛЛИпсоИДАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ГРАВИТАЦИОННОМУ ПОЛЮ ЗЕМЛИ

Аномалии силы тяжести, характеризующие гравитационное поле Земли, могут быть разложены в ряды как по сферическим (считая Землю сферой), так и по эллипсоидальным функциям [1, 3].

Известны четыре вида эллипсоидальных функций первого рода [3], которые являются решениями дифференциального уравнения Ламе и представляют собой полиномы по убывающим степеням эллипсоидальных координат. Например: