

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ АВТОДИННОГО ОТКЛИКА ПРИ «БЫСТРОМ» ДВИЖЕНИИ ОТРАЖАТЕЛЯ

Носков В. Я., Игнатков К. А.
Уральский федеральный университет (УрФУ)
им. Первого президента России Б. Н. Ельцина
Екатеринбург, Россия
e-mail: noskov@oko-ek.ru

Аннотация — Представлены результаты анализа особенностей формирования динамических характеристик СВЧ генераторов, находящихся под воздействием излучения, отражённого от «быстро» движущихся объектов. Получены выражения и построены графики фазовых, частотных, амплитудных характеристик и характеристики автодетектирования СВЧ генератора для случаев приближающегося и удаляющегося объектов. На основе результатов численных расчётов характеристик показаны особенности их поведения в зависимости от частоты автодинного сигнала и направления движения объекта.

I. Введение

Основные характеристики автодинов, получившие наименование характеристика автодетектирования (ХАД), амплитудная (АХА), частотная (ЧХА), амплитудно-частотная (АЧХ) и фазовая (ФАХ) характеристики соответственно, обеспечивают возможность анализа особенностей формирования автодинного отклика при его автодетектировании и выделении по изменению амплитуды и частоты колебаний [1]. Данные характеристики теоретически подробно изучены в квазистатистическом приближении, при котором в дифференциальных уравнениях, описывающих динамику взаимодействия СВЧ генератора с отражённым излучением, производными обычно пренебрегают. Результаты таких исследований справедливы для случая «медленных» перемещений отражателя, когда инерционностью процессов в генераторе можно пренебречь. Однако в целом ряде применений такое пренебрежение вряд ли можно считать достаточно обоснованным [2, 3].

Ниже на основе полученных в работе [4] результатов исследований представлены новые результаты анализа особенностей формирования динамических автодинных характеристик для случая, когда автодинный генератор, взаимодействует с излучением, отражённым от быстро движущегося объекта.

II. Динамические автодинные характеристики и их анализ

Рассмотрим влияние выявленной частотной дисперсии коэффициента $L_{a\Omega}$ в окрестности $\Omega_n = 0$ на особенности формирования автодинных характеристик. При этом, рассматривая наиболее часто используемую на практике область значений Ω_n от 0 до 0,2, пренебрежём частотной зависимостью коэффициентов $K_{0\Omega}$, $K_{1\Omega}$ и $L_{a\Omega}$ на искажения отклика. Эти искажения, как известно [5], обусловлены высшими гармониками автодинного отклика, которые, затухают с увеличением порядкового номера достаточно быстро. Тогда в выражениях (1) — (3) работы [4] зависящий от времени t набег фазы $\Omega_d t$ коэффициента отражения можем заменить на выражение этого набег в виде: $\delta(t) = \omega t$, то есть на фазу, зависящую от текущих значений частоты ω и времени запаздывания t отражённого излучения. С учётом сказанного запишем выражения для нормированных относительно квазистатистического случая ($\Omega_n = 0$) ФАХ $\delta(t_n)$, ЧХА $\chi_n(t_n)$, АХА $a_{n1}(t_n)$, ХАД $a_{n0}(t_n)$ в следующем виде:

$$\delta(t_n) = 2\pi t_n - p_{a\Omega} \sin[\delta(t_n) + \theta_{\Omega}], \quad (1)$$

$$\chi_n(t_n) = -L_{a\Omega} \sin[\delta(t_n) + \theta_{\Omega}], \quad (2)$$

$$a_{n1}(t_n) = K_{1\Omega} \cos[\delta(t_n) - \psi_{1\Omega}], \quad (3)$$

$$a_{n0}(t_n) = K_{0\Omega} \cos[\delta(t_n) - \psi_{0\Omega}], \quad (4)$$

где $p_{a\Omega} = p_a L_{a\Omega} = \chi_m \omega_0 T L_{a\Omega}$ — параметр искажений автодинного отклика, который в отличие известного понятия [1,5] является зависимым от частоты сигнала Ω_d ; $\chi_m = \Delta\omega_{ma}/\omega_0$ — относительная величины автодинной девиации частоты. Физический смысл этого параметра — индекс фазовой модуляции сигнала, обусловленный автодинными изменениями частоты автоколебаний; $t_n = \omega_0 t$ — нормированное (безразмерное) время.

Решение трансцендентного уравнения (1) методом последовательных приближений при условии $p_{a\Omega} < 1$ имеет вид:

$$\delta(t_n) = (2\pi t_n)_{(0)} - p_{a\Omega} \sin[(2\pi t_n)_{(1)} + \theta_{\Omega} - p_{a\Omega} \sin[(2\pi t_n)_{(2)} + \theta_{\Omega} - \dots - p_{a\Omega} \sin[(2\pi t_n)_{(k)} + \theta_{\Omega}] \dots], \quad (5)$$

где индексами в круглых скобках около слагаемых $(2\pi t_n)$ обозначен порядок приближения.

На рис. 1 представлены рассчитанные согласно выражений (1) — (4) с учётом (5), а также (7) — (12) работы [4] ФАХ $\delta(t_n)$ и их нормированные производные $\Omega_{ан}(t_n) = (1/2\pi)(d\delta(t_n)/dt_n)$, а также ЧХА $\chi_n(t_n)$, АХА $a_{n1}(t_n)$ и ХАД $a_{n0}(t_n)$ для случаев приближающегося (кр. 1) и удаляющегося (кр. 2) объекта. При расчётах приняты следующие значения: $p_a = 0,8$; $\gamma = 1,2$; $\rho = -0,5$; $k = 50$; $\Omega_n = 0,2$; $K_{чд} = 0,1$.

Влияние частотной дисперсии автодинной девиации частоты, как видно из (5), в наибольшей степени проявляется при больших значениях параметра искажений p_a . Поэтому вычисления характеристик выполнены при $p_a = 0,8$. Для случая приближающегося отражателя кривые отмечены цифрами «1», а для удаляющегося — цифрами «2».

Из анализа полученных характеристик следует, что в пределах каждого периода автодинного отклика неравномерность набег фазы $\delta(t_n)$ отражённой волны (см. рис. 1а), вызванная автодинными изменениями частоты $\chi_n(t_n)$ (см. рис. 1б), зависит от направления движения отражателя. Это связано, как видно из графиков рис. 1б, с различием порядка следования «пологих» и «крутых» участков «волн» автодинного отклика и величины девиации частоты. Например, в случае приближающегося объекта девиация частоты при $\Omega_n = 0,2$ на 13,7 % больше относительно случая квазистатистического изменения t_n , когда $\Omega_n = 0$. Тогда как в случае быстро удаляющегося отражателя ($\Omega_n = -0,2$) девиация относительно случая, когда $\Omega_n = 0$, уменьшается на 15,4%. Поэтому в первом случае параметр искажений имеет величину $p_{a\Omega} = 0,9$, а во втором он явно меньше: $p_{a\Omega} = 0,67$. Соответствующие этим случаям АХА $a_{n1}(t_n)$ и ХАД $a_{n0}(t_n)$ (см. рис. 1г и 1д) также заметно отличаются степенью искажений («наклоном волн вправо-влево») и углами фазового смещения этих характеристик.

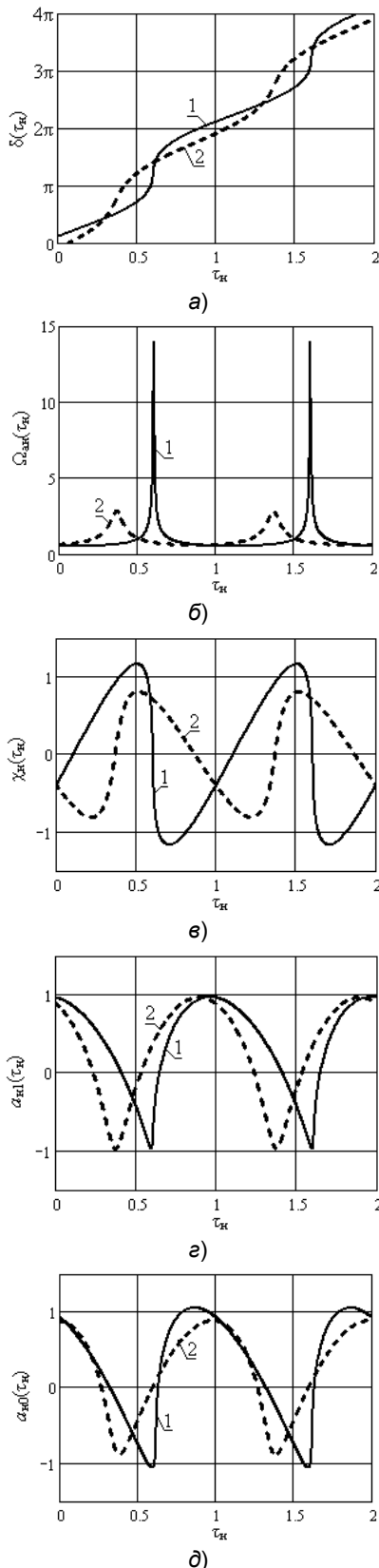


Рис. 1. ФХА $\delta(\tau_n)$, $\Omega_a(\tau_n)$, ЧХА $\chi_n(\tau_n)$, АХА $a_{н1}(\tau_n)$ и ХАД $a_{н0}(\tau_n)$, для приближающегося 1 и удаляющегося 2 отражателя.

Fig. 1. Characteristics $\delta(\tau_n)$, $\Omega_a(\tau_n)$, frequency response $\chi_n(\tau_n)$, autodyne amplitude response $a_{н1}(\tau_n)$ and autodetection response $a_{н0}(\tau_n)$, for the case of an approaching 1 and outgoing 2 reflector

Скорость изменения фазового набега, характеризующая как мгновенная разность частот $\Omega_{ан}(\tau_n)$ (см. рис. 1 б) излучённого и отражённого колебаний, при этом приобретает осциллирующий характер с формированием «пиков» мгновенной частоты, как и в случае квазистатических изменений τ_n . Однако величины пиков осцилляций нормированной мгновенной разности частот $\Omega_{ан}(\tau_n)$ в случаях приближающегося (кр. 1) и удаляющегося (кр. 2) объекта также значительно отличаются. Отметим, что данные осцилляции мгновенной частоты $\Omega_{ан}(\tau_n)$ наблюдаются при сохранении её среднего значения, равного частоте сигнала гомодинной доплеровской СБРЛ (в данном случае $\Omega_a(\tau_n) = 1$), как и в случае квазистатических изменений τ_n [1, 5].

III. Заключение

Инерционность изменений амплитуды колебаний при «быстрых» скоростях движения отражателя оказывает существенное влияние на особенности формирования всех компонентов автодинного отклика в СВЧ генераторах. Это влияние происходит через внутренние свойства генератора, такие как неизохронность, неизодромность, частотное и амплитудное автодетектирование, а также через изменения набега фазы отражённой волны.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в соответствии с постановлением Правительства №218 от 09.04.2010г.

IV. Список литературы

- [1] Носков В. Я., Игнатков К. А., Смольский С. М. Амплитудно-частотные характеристики автодинных СВЧ генераторов // Электронная техника. Серия 1. СВЧ-техника. 2011. № 4 (511). С. 17—31.
- [2] Физика быстропротекающих процессов / Перевод под ред. Н. А. Златина. М.: Мир, 1971. 519 с.
- [3] Поршнев С. В. Радиолокационные методы измерений экспериментальной баллистики. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. 211 с.
- [4] Носков В. Я., Игнатков К. А. Динамические автодинные характеристики СВЧ генераторов // 22-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2012): материалы конф. (Севастополь, 10—1412 сент. 2012 г.). Севастополь: Вебер, 2012.
- [5] Воторопин С. Д., Носков В. Я., Смольский С. М. Современные гибридно-интегральные автодинные генераторы микроволнового и миллиметрового диапазонов и их применение. Ч. 3. Функциональные особенности автодинов // Успехи современной радиоэлектроники. 2007. № 11 С. 25—49.

SPECIFIC FEATURES OF AUTODYNE RESPONSE FORMATION IN CASE OF THE "FAST" REFLECTOR MOTION

Noskov V. Ya., Ignatkov K. A.
Ural Federal University (UrFU) named after the first
President of Russia B. N. Yeltsin
Yekaterinburg, Russia
e-mail: noskov@oko-ek.ru

Abstract — The analysis results of specific features of forming microwave oscillators' dynamic characteristics under the influence of emission reflected from the "fast" moving objects are presented. We derived expressions and plotted graphs of phase, frequency, amplitude characteristics and autodyne detection characteristics of the microwave oscillator for cases of approaching and moving away objects. The particulars of their behavior depending on the autodyne signal frequency and the direction of object motion are introduced on the basis of the results of numerical calculations of the characteristics.