

ДИНАМИКА УСТАНОВЛЕНИЯ АВТОДИННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
РАДИОИМПУЛЬСНОГО ГЕНЕРАТОРА

В.Я. Носков, К.А. Игнатков

Екатеринбург, Уральский федеральный университет, noskov@oko-ek.ru

FORMATION DYNAMICS OF STADY-STATE AUTODYNE CHARACTERISTICS
OF RADIOIMPULSE OSCILLATOR

V.Ya. Noskov, K.A. Ignatkov

Интроимпульсные системы, у которых время τ запаздывания отражённого от цели излучения меньше длительности t_n зондирующего радиоимпульса ($\tau < t_n$), с автодинным построением приёмо-передающего модуля находят широкое применение в различных системах ближней радиолокации (СБРЛ), датчиках и измерителях для радиоволнового контроля параметров технологических процессов, а также для других целей [1]. Рассмотрим общий случай функционирования доплеровской СБРЛ с импульсной модуляцией при указанных выше условиях. Структурная схема одного из возможных вариантов такой системы изображена на рис. 1, а временные диаграммы, поясняющие её принцип действия, представлены на рис. 2.

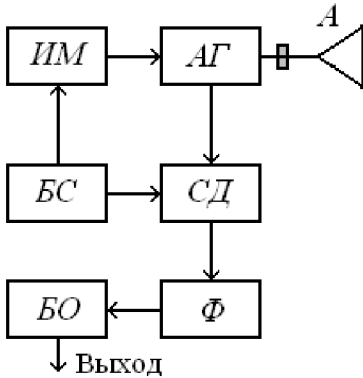


Рис. 1. Функциональная схема автодинной радиоимпульсной СБРЛ

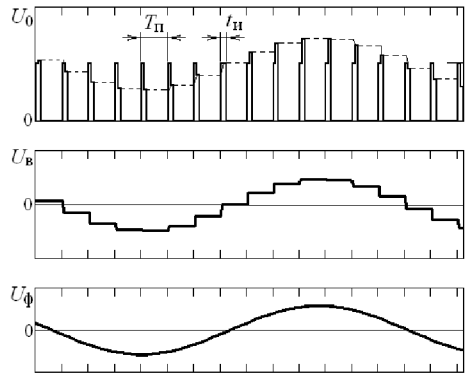


Рис. 2. Временные диаграммы, поясняющие принцип выделения автодинного сигнала радиоимпульсной СБРЛ

Сигнал радиоимпульсного автогенератора АГ, управляемого по амплитуде – импульсным модулятором ИМ, излучается посредством приёмо-передающей антенны А в направлении исследуемого отражающего объекта. Отражённое излучение этого импульса при условии $\tau < t_n$ вызывает в генераторе автодинный эффект. Изменения амплитуды

модулирующих импульсов U_0 в цепи питания генератора поступают на синхронный детектор СД и выделяются на его выходе в виде ступенчатого сигнала U_b . После прохождения этого сигнала через фильтр Ф этот сигнал U_ϕ становится сглаженным и поступает в блок обработки БО для получения на выходе требуемой информации. Временная привязка процессов в схеме СБРЛ осуществляется блоком синхронизации БС. В случае, когда $\tau > t_n$, излучаемый и отражённый радиоимпульсы не перекрываются и приём отсутствует. Путём изменения временного положения селекторного импульса, подаваемого блоком БС на синхронный детектор СД можно выделять различные участки зоны селекции в зависимости от кратности времени τ запаздывания отражённого излучения: первую, вторую и т.д.

Для дальнейшего анализа полученных в работе [2] уравнений (1) – (26), описывающих динамику установления автодинного отклика радиоимпульсного генератора, рассмотрим особенности формирования автодинного сигнала в различных зонах селекции для случая движущегося отражателя, когда величина τ является переменной. Для этого случая на рис. 3 представлены семейства графиков фазовой (ФХА) $\delta^{(n)}$, амплитудной (АХА) $a_{ин}^{(n)}$ и частотной (ЧХА) $\chi_n^{(n)}$ характеристик автодина, как функций нормированного на период колебаний времени $\tau_n = \omega_0 \tau / 2\pi$, для первых трёх шагов ($n = 1, 2, 3$), рассчитанные при $\gamma = 1$, $\rho = -0,2$, фиксации мгновенных значений этих характеристик в середине анализируемых интервалов

($\tau_n = 0,5$) и различных значениях параметра искажений p_a и постоянной времени автодинного отклика $\tau_{ан}$.

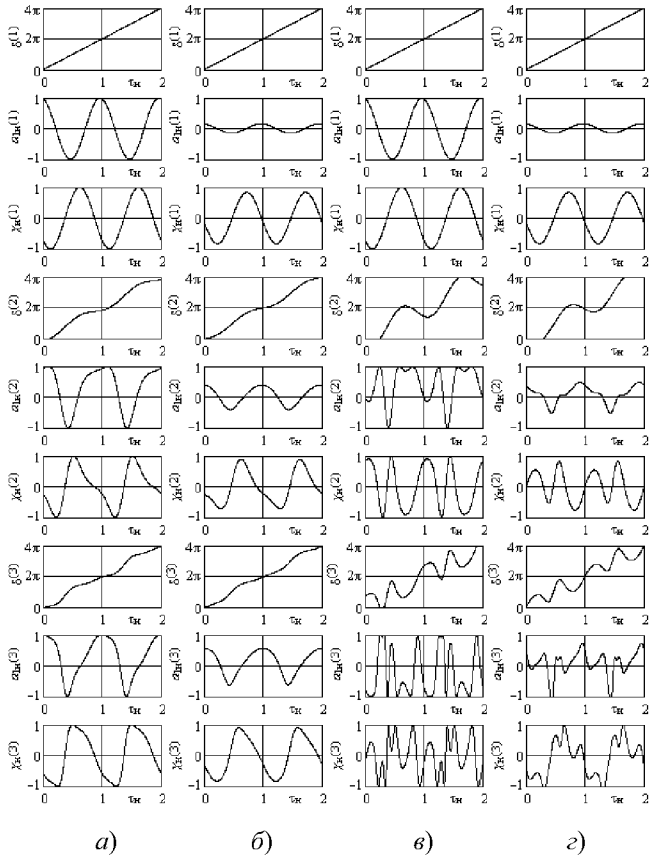


Рис. 1. Графики ФХА $\delta(n)$, АХА $a_{1n}(n)$ и ЧХА $\chi_n(n)$ для первых трёх шагов n ($n = 1, 2, 3$), рассчитанные при $\gamma = 1$, $\rho = -0,2$ и различных значениях p_a и $\tau_{ан}$: $p_a = 0,8$, $\tau_{ан} = 0,1$ (а); $p_a = 0,8$, $\tau_{ан} = 3$ (б); $p_a = 2,5$, $\tau_{ан} = 0,1$ (в); $p_a = 2,5$, $\tau_{ан} = 3$ (г)

на форме АХА $a_{1n}^{(3)}$ и ЧХА $\chi_n^{(3)}$ этой зоны воздействия. Воздействия последующих отражений «продолжили» данный процесс деформации автодинного отклика, который завершается видом АХА и ЧХА для установившегося режима.

Из анализа графиков рис. 3 а видно, что в случае выполнения неравенства $\tau_{ан} \ll 1$, то есть $\tau_a \ll \tau$, «динамические» автодинные характеристики, полученные в настоящей работе, практически полностью совпадают с квазистатическими [1]. В случае, когда это неравенство не выполняется (см. графики рис. 3 б), динамика экспоненциального изменения во времени амплитуды АХА $a_{1n}^{(n)}$ определяется постоянной времени τ_a . При этом ЧХА $\chi_n^{(n)}$ в начале процесса имеет несколько меньшую амплитуду автодинных изменений частоты (за счёт уменьшения составляющей, обусловленной неизохронностью генератора), чем в предыдущем случае. Поэтому наблюдаемые на рис. 3 б характеристики автодинного отклика $a_{1n}^{(n)}$ и $\chi_n^{(n)}$ в переходный период имеют меньшие искажения, чем в случае выполнения неравенства $\tau_{ан} \ll 1$. Однако в установившемся режиме, когда $t_n \rightarrow \infty$, данное свойство утрачивается.

В случае, когда параметр искажений $p_a > 1$, физический смысл которого – индекс фазовой модуляции, автодинные характеристики $\delta^{(1)}$, $a_{1n}^{(1)}$ и $\chi_n^{(1)}$ в зоне первого отражения ($n = 1$) ничем не отличаются от случая, когда $p_a < 1$, то есть ФХА – линейна, а АХА и ЧХА – синусоидальные (см. рис. 3 в, г). Это означает, что в этой зоне действия автодинной системы происходит

Из рассмотрения характеристик графиков рис. 3 видно, что при первом воздействии отражённого излучения, когда оно соответствует режиму стационарных колебаний генератора, ФХА является линейной: $\delta^{(1)} = 2\pi\tau_n$ (см. графики первой строки). По этой причине АХА $a_{1n}^{(1)}$ и ЧХА $\chi_n^{(1)}$ имеют вид гармонических функций от нормированного времени τ_n (см. строки 2 и 3). При этом увеличения мгновенной частоты колебаний генератора вызывает ускоренное изменение набега фазы на втором шаге $\delta^{(2)}$, а её уменьшение – замедление этого процесса. Поэтому вызванные первым воздействием отражённого излучения изменения частоты генерации на втором шаге вызывают «деформацию» ФХА $\delta^{(2)}$ и, соответственно, значительные искажения АХА $a_{1n}^{(2)}$ и ЧХА $\chi_n^{(2)}$. При этом один скат ЧХА выглядит более крутым (с положительной производной), а второй – более пологим. Данные изменения в ЧХА $\chi_n^{(2)}$ отразились на ФХА $\delta^{(3)}$ последующего шага, вызвав дальнейшее увеличение её крутизны на первом участке и появление прогиба – на втором, что также отразилось

линейное формирование сигналов с частотой Доплера, как у радиолокаторов гомодинного типа. Правда, в случае «инерционного» автодина есть некоторый проигрыш в амплитуде сигнала $a_n^{(1)}$ (см. рис. 3 з). Однако последующие парциальные отражения, когда $n > 1$, вызывают вследствие сильной фазовой модуляции излучения значительные усложнения автодинных характеристик с потерей информационной составляющей выходных сигналов – частоты Доплера. Процесс их формирования, зависящий также от инерционных свойств автодинного генератора, переходит в хаотический, который вызывает «рассыпание» спектра выходного сигнала.

Рассмотренные выше условия при решении ряда задач ближней радиолокации имеют вполне определённый практический смысл, так как при обработке сигналов в СБРЛ необходимо учитывать особенности формирования автодинного отклика. В случае, когда расстояние между радиоимпульсной СБРЛ и отражающим объектом достаточно велико, так что время запаздывания τ отражённого излучения значительно превышает характеристическое время τ_a установления автодинного отклика ($\tau \gg \tau_a$), влиянием инерционности изменений амплитуды колебаний при анализе особенностей формирования автодинного отклика можно пренебречь. Процесс формирования отклика при этом с достаточной для практики точностью описывается аналогично [1] методом шагов с применением выражений, полученных в квазистатическом приближении. В случае малых расстояний между СБРЛ и отражающим объектом и выполнения обратного соотношения упомянутых времён ($\tau \ll \tau_a$) процесс установления отклика автодина полностью определяется характеристической постоянной времени τ_a , а его анализ может выполняться на основе системы обыкновенных дифференциальных уравнений, полагая $\delta(t, \tau) = \omega\tau$. Задача для «промежуточного» случая соизмеримых величин τ и τ_a решается в общем случае согласно с разработанной выше методикой.

Необходимо отметить также, что для расширения динамического диапазона радиоимпульсной СБРЛ, исключения «рассыпание» спектра выходного сигнала и сокращения времени установления автодинного отклика во всех случаях использования радиоимпульсных автодинов желательно применять меры по уменьшению величины параметра искажений. Однако в ряде реализаций отмеченные условия могут находиться в противоречиях, которые необходимо также учитывать.

Таким образом, выполненные исследования динамики установления автодинного отклика с учётом инерционности изменений амплитуды колебаний значительно расширили известные теоретические представления о процессах, происходящих в СВЧ генераторах при воздействии на них собственного отражённого излучения [1]. Кроме того, эти результаты позволили показать процесс зарождения и природу появления хаотизации режима автодинного генератора, исследованного ранее в ряде работ К.А. Лукина, П.С. Ланда и других для непрерывного режима работы автодина, а также определить более точную границу, так называемого, «квазистационарного» [3] режима автодина, когда на его выходе формируется сигнал доплеровской частоты.

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

Литература

1. Носков В.Я., Смольский С.М. Современные гибридно-интегральные автодинные генераторы микроволнового и миллиметрового диапазонов и их применение. Ч. 6. Исследования радиоимпульсных автодинов // Успехи современной радиоэлектроники. 2009. № 6. С. 3–51.
2. Носков В.Я., Игнатков К.А. Алгоритм расчёта переходных процессов в автодинных генераторах // (См. настоящий сборник).
3. Стрюков Б.А., Зверев Ю.М. Об информативных свойствах автодинного измерителя скорости // Радиотехника. 1977. №. 1. С. 65 – 69.