

Ю.А. КОВАЛЬ, д-р техн. наук, А.А. КОСТЫРЯ, канд. техн. наук, В.Ю. ПРИЙМАК,
О.А. СОЛЯНИК, канд. техн. наук, С.Ф. СЕМЕНОВ, Х.Х. АСААД, А.Ф. ХУСЕЙН

АНОМАЛЬНЫЕ ЗАДЕРЖКИ АНТЕННО-ФИДЕРНЫХ ТРАКТОВ СИСТЕМ С ВЫСОКОТОЧНЫМ ИЗМЕРЕНИЕМ ВРЕМЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ СИГНАЛОВ

Введение и постановка задачи

Принцип действия современных систем навигации, локации, частотно-временной синхронизации (ЧВС), пеленгации и др. основан на высокоточном измерении временного положения (ИВП) сигналов. При этом требуемые погрешности ИВП имеют порядок наносекунд и менее [1–4]. Основными источниками и причинами возникновения погрешностей в указанных системах являются [2–4]: конечное отношение сигнал/помеха; нестабильность и взаимность задержки сигналов в трактах аппаратуры и канале распространения радиоволн.

Следует отметить аппаратурные систематические погрешности (АСП), вызванные изменениями задержек сигналов в зависимости от ряда факторов (вариации питающего напряжения и температуры, старение и замена элементов и др.). Данный вид погрешностей относят к систематическим из-за сравнительно медленного характера изменения [3, 4].

В зависимости от принципа работы системы АСП определяются в виде:

$$- \text{ для систем локации и навигации } \Delta\tau_{\text{асп}} = \tau_{\text{прм}} + \tau_{\text{прд}}; \quad (1)$$

$$- \text{ для активных систем ЧВС } \Delta\tau_{\text{асп}} = \tau_{\text{прм}} - \tau_{\text{прд}}; \quad (2)$$

$$- \text{ для пассивных систем ЧВС и пеленгации } \Delta\tau_{\text{асп}} = \tau_{\text{прм}}; \quad (3)$$

где $\tau_{\text{прм}}$ – суммарная задержка в приемо-измерительных трактах, включая устройства ИВП сигналов, антенно-фидерные устройства (АФУ) и антенные коммутаторы (АК) при их работе на прием; $\tau_{\text{прд}}$ – результирующая задержка сигналов в передающих трактах, формирователях сигналов, АФУ и АК в режиме излучения.

Для снижения АСП предложены способы и устройства для контроля задержек сигналов в трактах (так называемое пилотирование задержек) [3, 4]. Однако известные способы пилотирования не позволяют измерять задержки в АФУ. В случае активных ЧВС на основании выражения (3) и принципа обратимости антенн эта составляющая АСП полагалась скомпенсированной.

Влияние рассогласования АФУ на задержку сигналов и необратимость АФУ при работе на прием и передачу впервые были обнаружены при экспериментальных исследованиях двух полукомплектов радиометеорной аппаратуры ЧВС типа «Метка-8» [3]. Изменение длин кабеля, замена антенн и элементов в АК приводили к изменениям АСП до 20...30 нс. Однако корректные теоретический анализ и экспериментальная проверка таких аномальных задержек в АФУ выполнены не были. Все это обосновывает актуальность выполненных в данной статье исследований.

Цель работы – моделирование и экспериментальное исследование аномальных задержек в АФУ.

В основу теоретического анализа задержек сигналов в АФУ была положена структурная схема, приведенная на рис. 1, а. Схема включает:

1 – источник сигнала известной формы $s_0(t)$ с внутренним сопротивлением Z_i ;

2 – длинная линия (кабель) с параметрами: l – длина; $Z_{\text{в}}$ – волновое сопротивление; $v_{\text{ф}}$ – фазовая скорость; α – коэффициент затухания; $\beta = 2\pi/\lambda = \omega/v_{\text{ф}}$ – коэффициент фазы; $Z_{\text{н}}$ – сопротивление нагрузки;

3 – устройство ИВП сигнала.

Выходной сигнал на сопротивлении нагрузки линии обозначен $s_n(t)$, измеренное на вы-

ходе устройства ИВП реальное время задержки – τ_p ; комплексный коэффициент распространения в линии – $\underline{\gamma} = \alpha + j\beta$.

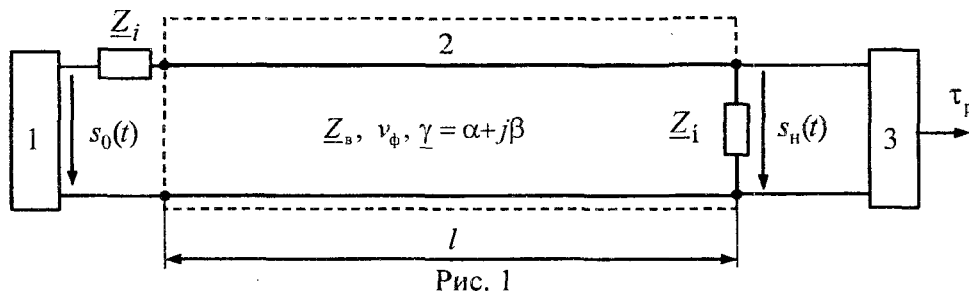


Рис. 1

В режиме излучения в роли сопротивления нагрузки \underline{Z}_n выступает антенна, а в роли источника – АК и выходной каскад передающего устройства. В режиме приема, наоборот, антенна является источником сигнала с внутренним сопротивлением \underline{Z}_i , а АК и входной каскад приемника выступают в качестве нагрузки \underline{Z}_n .

Анализ задержек выполнялся как для реальной (рис. 1), так и для идеальной длинной линии ($\underline{Z}_b = R_b, \alpha = 0$). Моделирование проводилось для случая идеальной линии, активного внутреннего сопротивления источника R_i , видео- и радиосигналов колокольной формы и вида Sinc. При анализе использованы основные положения теории длинных линий [5].

Для оценки временного положения сигнала использовался его максимум [6].

Алгоритмы и результаты моделирования

Нормальная (идеальная) задержка сигнала в линии при ее согласовании ($\underline{Z}_n = \underline{Z}_b$) составляет $\tau_0 = l/v_\phi$. Для оценки влияния рассогласования на реальную задержку сигнала (τ_p) введено понятие аномальной задержки

$$\Delta\tau_{ан} = \tau_p - \tau_0. \quad (4)$$

Объяснить появление аномальных задержек с физической точки зрения можно искажением формы сигнала при его прохождении в рассогласованной длинной линии за счет сложения в нагрузке падающей и отраженной волн сигнала. Это иллюстрирует рис. 2, на котором приведены временные диаграммы: *a* - входного сигнала $s_0(t)$; *б* - сигнала в нагрузке $s_{н1}(t) = s_0(t - \tau_0) + \rho_{\Sigma 1} s_0(t - 3\tau_0)$ для вещественного отрицательного значения результирующего коэффициента отражения $\rho_{\Sigma 1} = \rho_i \rho_n < 0$ (ρ_i, ρ_n – коэффициенты отражения от сопротивлений источника и нагрузки соответственно); *в* - сигнала в нагрузке $s_{н2}(t) = s_0(t - \tau_0) + \rho_{\Sigma 2} s_0(t - 3\tau_0)$ для вещественного положительного значения $\rho_{\Sigma 2} = \rho_i \rho_n > 0$.

Анализ временных диаграмм рис. 2 показывает, что выходные сигналы $s_{н1}(t)$ и $s_{н2}(t)$ по форме отличаются от нормально задержанного входного $s_0(t - \tau_0)$ и при любом способе ИВП (по максимуму, по фронту, по центру тяжести и др.) их задержка τ_p отличается от нормальной τ_0 . В результате появляются аномальные задержки $\tau_{ан1} < 0$ и $\tau_{ан2} > 0$ (см. рис. 2, б, в).

В случае комплексных сопротивлений \underline{Z}_n и \underline{Z}_i , а также реальной линии ($\alpha \neq 0, \underline{Z}_b$) для нахождения выходного сигнала $s_{н2}(t)$ может быть использован частотный метод анализа. При этом комплексный коэффициент передачи (КПФ) цепи (см. рис. 1) можно представить в виде

$$\underline{H}(\omega) = \frac{\underline{S}_{нн}}{\underline{S}_{м0}} = \frac{\underline{Z}_n}{(\underline{Z}_i + \underline{Z}_n)} \cdot \frac{1}{\text{ch}[\underline{\gamma}(\omega)l] + \underline{K} \text{sh}[\underline{\gamma}(\omega)l]} = \underline{H}_1(\omega) \underline{H}_2(\omega), \quad (5)$$

где $\underline{\gamma}(\omega)l = \alpha l + j\omega l/v_\phi = \alpha l + j\omega\tau_0$; $\underline{K} = \frac{1}{\underline{Z}_n + \underline{Z}_i'} + \frac{\underline{Z}_n \underline{Z}_i'}{\underline{Z}_n + \underline{Z}_i'}$; $\underline{Z}_n = \underline{Z}_n / \underline{Z}_B$; $\underline{Z}_i' = \underline{Z}_i / \underline{Z}_B$ – приведенные сопротивления нагрузки и источника сигнала; $\underline{H}_1(\omega) = \frac{\underline{Z}_n}{\underline{Z}_i + \underline{Z}_n}$;

$$\underline{H}_2(\omega) = \frac{1}{\text{ch}[\underline{\gamma}(\omega)l] + \underline{K} \text{sh}[\underline{\gamma}(\omega)l]}.$$

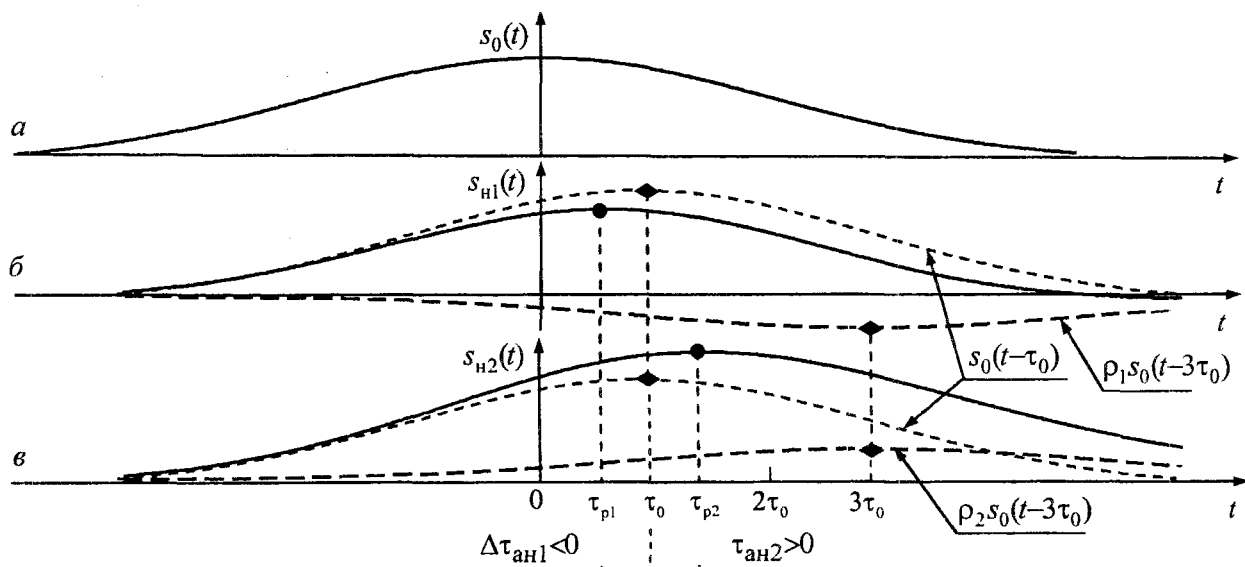


Рис. 2

Выражению для КПФ (5) соответствует приведенная на рис. 3 структурная схема, в которой делитель 4, образованный сопротивлениями \underline{Z}_i и \underline{Z}_n , имеет КПФ $\underline{H}_1(\omega)$, а симметричный четырехполюсник 5 с характеристическими параметрами $\underline{\gamma}l$ и \underline{Z}_B , нагруженный на сопротивление $\underline{Z}_B/\underline{K}$, соответствует $\underline{H}_2(\omega)$. Сигнал на выходе делителя 4 обозначен $s_1(t)$.

Для развязки делителя 4 и входных зажимов четырехполюсника 5 включен согласующий каскад 6, имеющий бесконечно большое входное и нулевое выходное сопротивления.

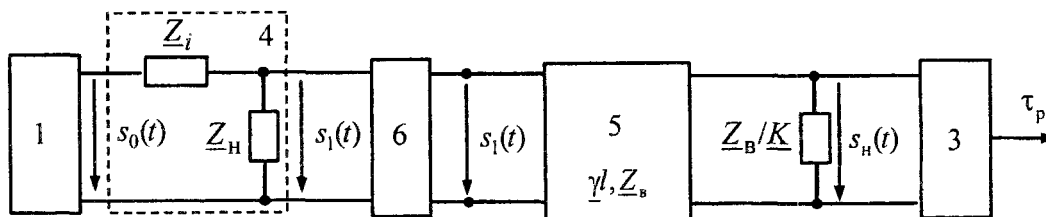


Рис. 3

Безразмерный параметр \underline{K} характеризует степень согласования четырехполюсника 5 с нагрузкой. Этот параметр связан с результирующим коэффициентом отражения линии 2 (см. рис. 2) соотношениями:

$$\underline{K} = \frac{1 + \rho_\Sigma}{1 - \rho_\Sigma}; \quad \rho_\Sigma = \rho_i \rho_n = \frac{\underline{K} - 1}{\underline{K} + 1}, \quad (6)$$

где $\rho_i = \frac{Z_i - Z_b}{Z_i + Z_b} = \frac{Z_i' - 1}{Z_i' + 1}$; $\rho_n = \frac{Z_n - Z_b}{Z_n + Z_b} = \frac{Z_n' - 1}{Z_n' + 1}$ – комплексные коэффициенты отражения от внутреннего сопротивления источника и нагрузки линии 2 соответственно.

Если $Z_n = Z_b$, либо $Z_i = Z_b$, то $K = 1$, а $\rho_{Z_n} = 0$. В этом случае искажения сигнала $s_1(t)$ по сравнению с $s_0(t)$ определяются только делителем 4 с КПФ $H_1(\omega)$, а согласованный четырехполюсник 5 вносит лишь затухание сигнала $s(t)$ на величину $e^{\alpha t}$ и задержку на τ_0 .

Выражение (5) и структурную схему, приведенную на рис. 3, можно использовать для спектрального анализа аномальных задержек сигналов по огибающим и по когерентным фазам несущих для общего случая произвольных сигналов и параметров рассогласований АФУ.

Соотношения (5) и (6) упрощаются (см. выражения (7)–(10) в таблице) в случае идеальной линии ($\alpha = 0$) и активных сопротивлений (R_i, R_n, R_b) в рассматриваемых схемах (рис.1, 2). При этом основные параметры ($K, \rho_i, \rho_n, \rho_\Sigma$) и КПФ $H_1(\omega)$ становятся вещественными, что упрощает анализ аномальных задержек как спектральным, так и временным методами.

Характеристика	Соотношение	№
$H_1(\omega)$	$\frac{R_n}{R_i + R_n}$	(7)
$H_2(\omega)$	$\frac{1}{\cos(\omega\tau_0) + jK\sin(\omega\tau_0)} = H_2(\omega)e^{j\varphi_2(\omega)},$ <p>где $K = \frac{R_b}{R_n + R_i} + \frac{R_n R_i}{(R_n + R_i) R_b} = \frac{1}{R_n' + R_i'} + \frac{R_n' R_i'}{R_n' + R_i'} = \frac{1 + \rho_\Sigma}{1 - \rho_\Sigma}$;</p> $R_n' = \frac{R_n}{R_b}; R_i' = \frac{R_i}{R_b}; \rho_\Sigma = \rho_i \rho_n; \rho_i = \frac{R_i' - 1}{R_i' + 1}; \rho_n = \frac{R_n' - 1}{R_n' + 1}$	(8)
$H_2(\omega)$	$\frac{1}{\sqrt{\cos^2(\omega\tau_0) + K^2 \sin^2(\omega\tau_0)}}$	(9)
$\varphi_2(\omega)$	$\arctg[K \cdot \tg(\omega\tau_0)]$	(10)

Применяя к (8) разложение в биномиальный ряд [5], можно в случае идеальной линии представить КПФ и импульсную характеристику, а также выходной сигнал в виде:

$$H(\omega) = H_1(\omega)H_2(\omega) = \frac{R_n(1 - \rho_\Sigma)}{R_i + R_n} \sum_{n=0}^{\infty} \rho_\Sigma^n e^{-j(2n+1)\omega\tau_0}; \quad (11)$$

$$h(t) = \frac{R_n(1 - \rho_\Sigma)}{R_i + R_n} \sum_{n=0}^{\infty} \rho_\Sigma^n \delta[t - (2n+1)\tau_0]; \quad (12)$$

$$s_n(t) = \frac{R_n(1 - \rho_\Sigma)}{R_i + R_n} \sum_{n=0}^{\infty} (\rho_\Sigma)^n s_0[t - (2n+1)\tau_0]. \quad (13)$$

Поскольку реально $|\rho_\Sigma| \ll 1$, при выполнении расчетов в выражениях (11) и (12) можно ограничиться конечным числом слагаемых n , а для приближенных расчетов – $n = 1$. В последнем случае выражение (13) примет вид

$$s_n(t) \approx \frac{R_n(1 - \rho_\Sigma)}{R_i + R_n} [s_0(t - \tau_0) + \rho_\Sigma s_0(t - 3\tau_0)]. \quad (14)$$

Если представить (14) рядом Тэйлора в окрестности $t = \tau_0$, то это позволяет приближен-

но оценить зависимость аномальной задержки от нормальной задержки –

$$\Delta\tau_a(\tau_0) \approx -\frac{\rho_\Sigma s_0'(-2\tau_0)}{s_0''(0)}. \quad (15)$$

Некоторые результаты моделирования аномальных задержек для идеальной линии, проведенные с применением выражений (7)–(15) для Sinc- и колокольного импульсов, иллюстрируют рис. 4 – 17.

Для Sinc- и колокольного видеоимпульсов (рис. 4 – 11) приведены:

1) на рис. 4 и 8 – зависимости приведенной аномальной задержки $\Delta\tau_{ан} \omega_{эф}$ ($\omega_{эф}$ – эффективная ширина спектра соответствующего импульса) от относительной нормальной задержки линии τ_0/τ_n (τ_n – длительность импульса) для ряда значений результирующего коэффициента отражения ρ_Σ ($\pm 0,3; \pm 0,2; \pm 0,1; \pm 0,05$); пунктиром на рис. 4 построены графики, полученные по приближенному соотношению (16);

2) на рис. 5 и 9 – аксонометрические зависимости приведенной аномальной задержки $\Delta\tau_{ан} \omega_{эф}$ от относительной нормальной задержки линии τ_0/τ_n ;

3) на рис. 6 и 10 – зависимости относительных значений нормальной задержки (τ_{max}/τ_n , τ_{min}/τ_n), соответствующие максимальным ($\Delta\tau_{анmax} \omega_{эф}$) и минимальным ($\Delta\tau_{анmin} \omega_{эф}$) значениям приведенной аномальной задержки, от результирующего коэффициента отражения ρ_Σ ;

4) на рис. 7 и 11 – зависимости максимальных ($\Delta\tau_{анmax} \omega_{эф}$) и минимальных ($\Delta\tau_{анmin} \omega_{эф}$) значений приведенной аномальной задержки от ρ_Σ

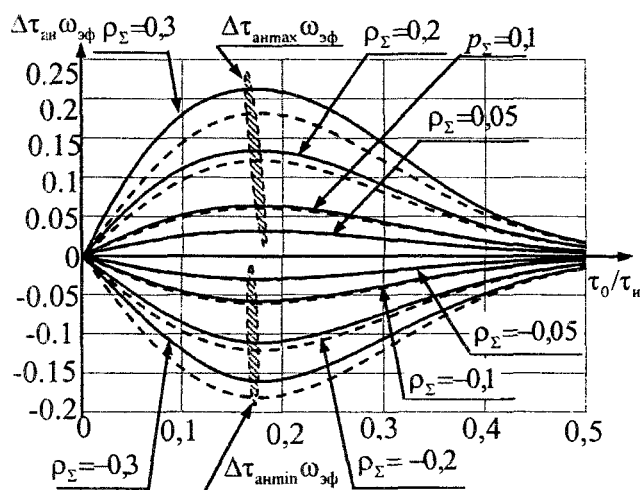


Рис. 4

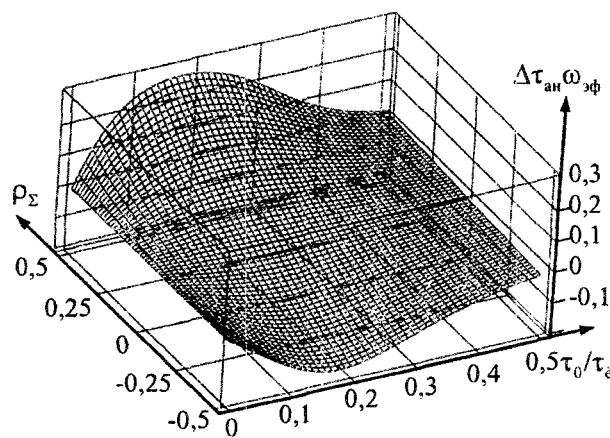


Рис. 5

Для Sinc- и колокольного радиоимпульсов на рис. 12 и 13 построены графики зависимости приведенной аномальной задержки $\Delta\tau_{ан} \omega_{эф}$ от относительной нормальной задержки линии τ_0/T_0 ($T_0 = 1/f_0$ – период несущей частоты f_0) для коэффициента отражения $\rho_\Sigma = 0,2$.

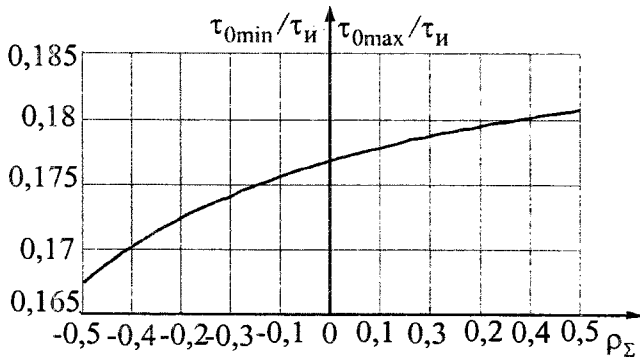


Рис. 6

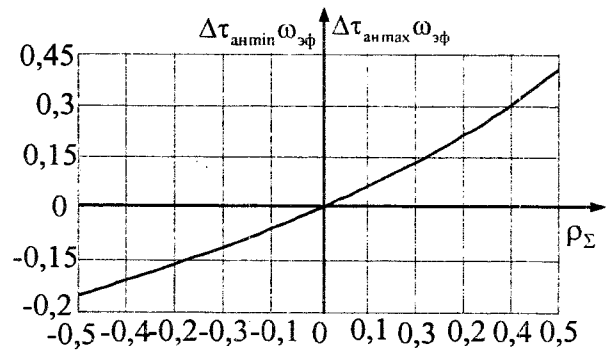


Рис. 7

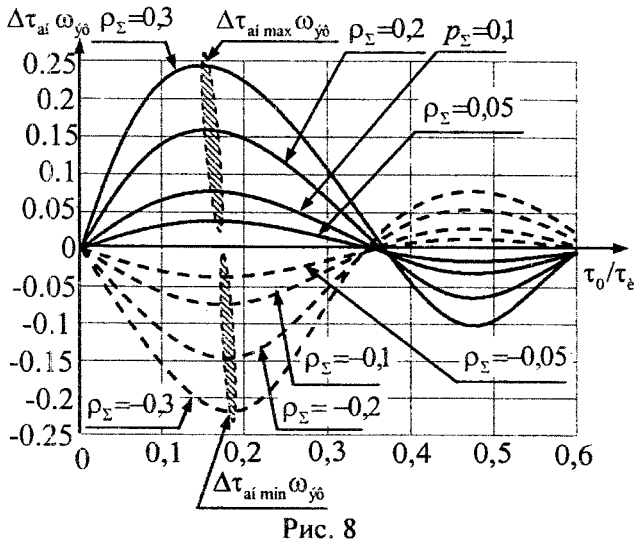


Рис. 8

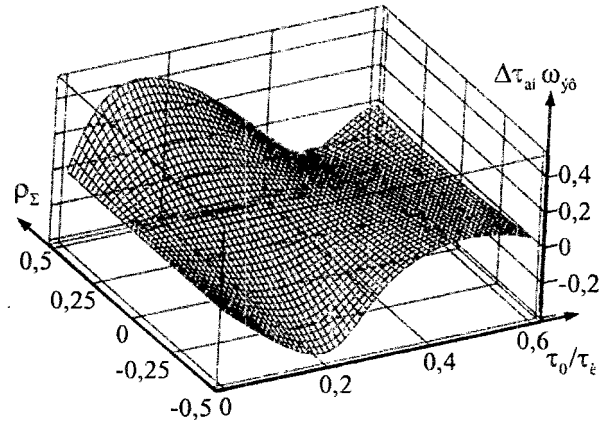


Рис. 9

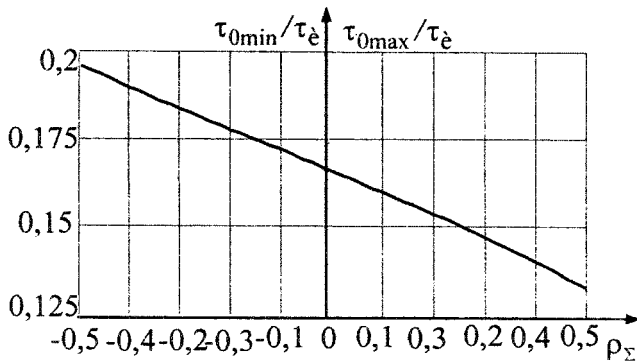


Рис. 10

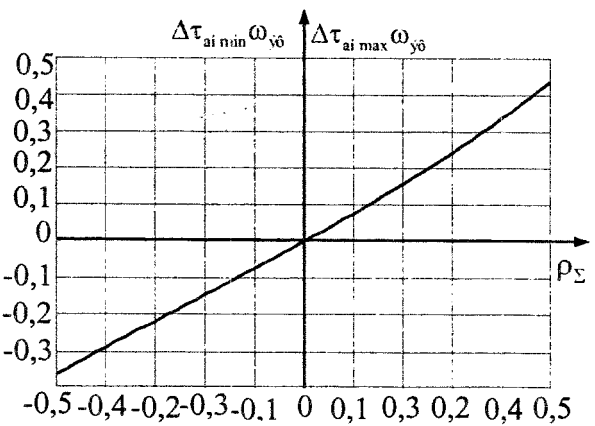


Рис. 11

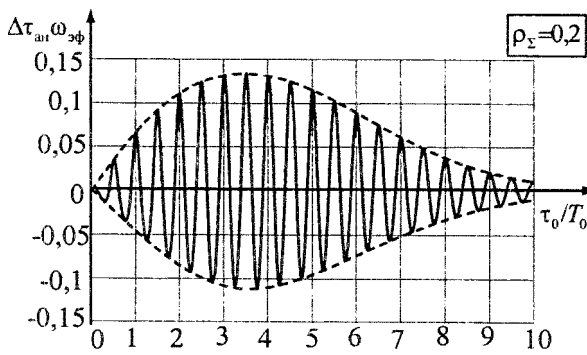


Рис. 12

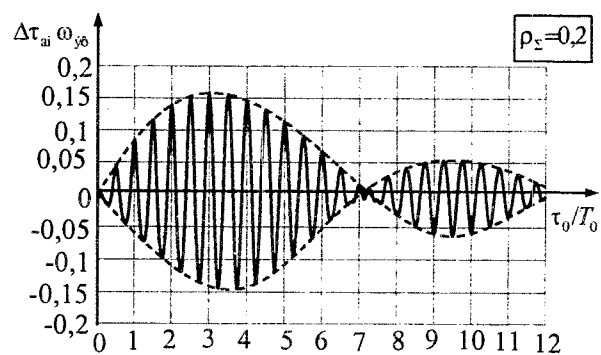


Рис. 13

Результаты моделирования аномальных задержек для фазовых измерений приведены на рис. 14 – 17.

На рис. 14 и 15 показаны зависимости аномальной фазовой задержки $\Delta\psi_{ai} = \tau_{ai} \omega_0$ ($\omega_0 = 2\pi f_0$ – угловая частота несущей) от относительной нормальной задержки линии τ_0/T_0 ($T_0 = 1/f_0$ – период несущей частоты f_0) для двух значений ρ_Σ (0,1 и 0,5).

На рис. 16 построены зависимости относительных значений нормальной задержки (τ_{0max}/T_0 , τ_{0min}/T_0), соответствующие максимальным $\Delta\psi_{антmax}$ и минимальным $\Delta\psi_{ai min}$ значениям аномальной фазовой задержки, от результирующего коэффициента отражения ρ_Σ , а на рис.17 – зависимости максимальных $\Delta\psi_{антmax}$ и минимальных $\Delta\psi_{ai min}$ значений аномальной фазовой задержки от ρ_Σ .

Графики, построенные на рис. 16 и 17, не зависят от формы сигнала.

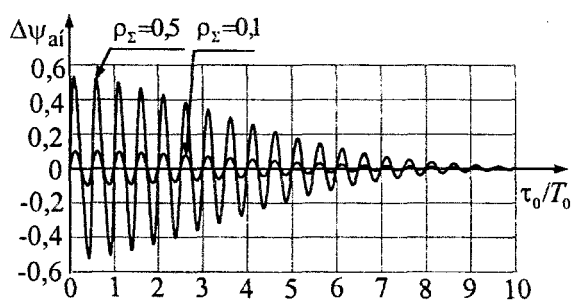


Рис. 14

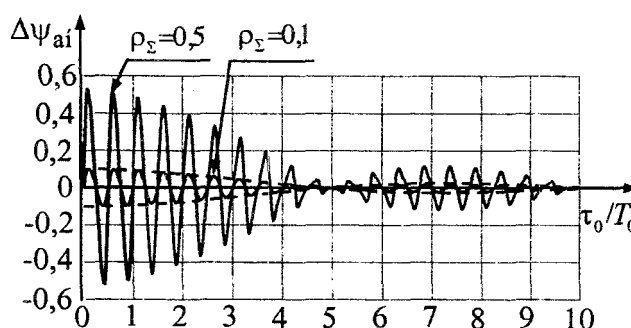


Рис. 15

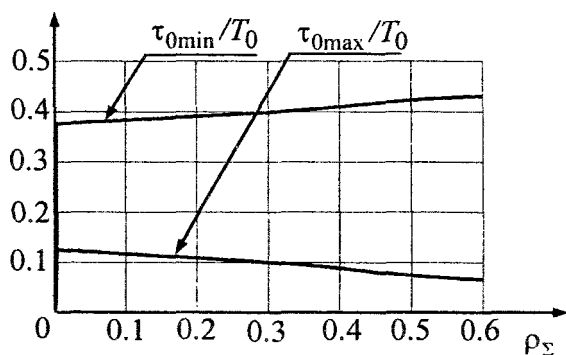


Рис. 16

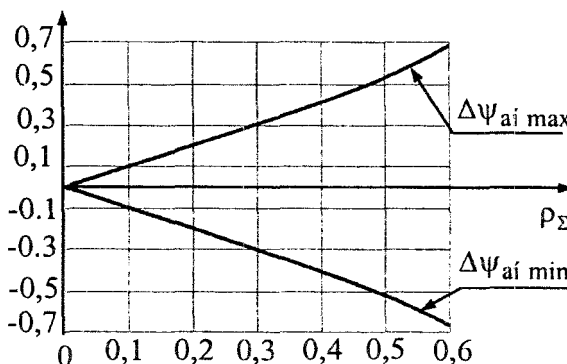


Рис. 17

Экспериментальные исследования аномальных задержек в АФУ

Для проведения экспериментов была использована радиометеорная аппаратура ЧВС «Метка-8» [3]. С помощью двух полукомплектов аппаратуры собирались стенды, соответствующие работе АФУ в режимах приема и передачи.

Измерения проводились для трех типов антенн: антенная решетка из четырех синфазных волновых каналов; одиночный четырехэлементный волновой канал; укороченный вибратор с параллельно включенным низкодобротным контуром. ИВП осуществлялось по огибающей сигнала.

В первом эксперименте, соответствующем режиму передачи, аномальные задержки измерялись при последовательном включении устройств - передатчик→кабель с изменяющейся длиной→передающая антенна одного из трех типов→измерительная антенна (ИА)→измеритель интервалов времени (ИИВ) с дискретностью 1 нс.

С помощью специально изготовленных калиброванных отрезков кабелей одного и того же типа длина кабеля изменялась дискретно с шагом, эквивалентным задержке в 1 нс.

Зависимости измеренных значений аномальных задержек от нормальной задержки в кабеле $\Delta\tau_{ан}(\tau_0)$ приведены на рис. 18 – 20. Период графиков $\Delta\tau_{ан}(\tau_0)$ составлял ≈ 8 нс, что практически равно половине периода несущей частоты $f_0 = 57,3$ МГц.

Максимальные значения аномальных задержек составили: антенная решетка (рис.18) – $\tau_{анmax} = 25$ нс; укороченный вибратор (рис. 19) – $\tau_{анmax} = 3$ нс; четырехэлементный волновой канал (рис. 20) – $\tau_{анmax} = 4,2$ нс. При этом минимальные аномальные задержки $\tau_{анmin}$ соответственно оказались равными 22 нс (рис.18), 2,7 нс (рис. 19) и 4 нс (рис. 20).

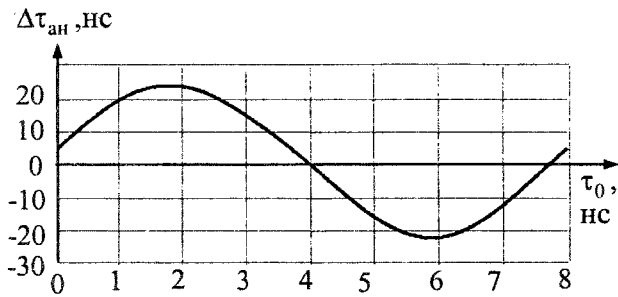


Рис. 18

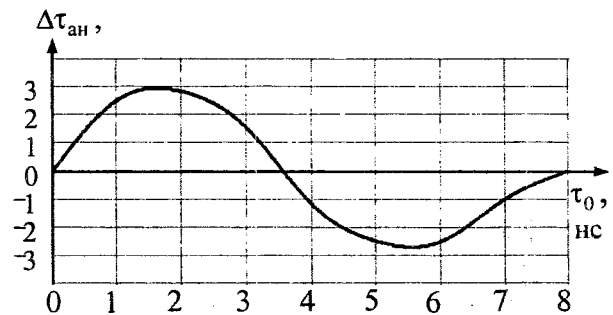


Рис. 19

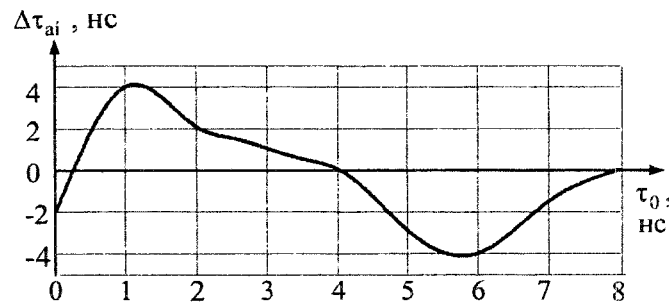


Рис. 20

С учетом эффективной ширины спектра $\omega_{эф} \approx 3 \cdot 10^6$ рад/с для сигнала аппаратуры «Метка-8» можно оценить изменения результирующего коэффициента отражения для исследованных АФУ в режиме излучения в пределах $\rho_z = 0,024 \dots 0,14$, а значения параметра $K = 1,05 \dots 1,3$.

Детальное сопоставление результатов эксперимента и расчетов оказалось затруднительным ввиду сложностей определения внутреннего сопротивления задающего генератора. Тем не менее, расчетные значения параметра K сопоставимы с КСВ в диапазоне частот сигнала для данных антенн, которые обычно составляют 1,1...1,3.

По аналогичной методике проводились измерения аномальных задержек в режиме приема (задающий генератор \rightarrow ИА \rightarrow одна из исследуемых антенн \rightarrow кабель с изменяющейся длиной \rightarrow приемник \rightarrow ИВП сигнала). При этом за счет более тщательного согласования входных цепей приемника, уровень аномальных задержек лежал в пределах 1...2 нс.

Проведенные исследования позволяют сделать такие выводы:

1) аномальные задержки $\Delta\tau_{ан}$ в АФУ, оцениваемые как разность реальных τ_p и идеальных τ_0 задержек, вызваны искажениями сигналов за счет их отражения от сопротивлений нагрузки и источника; аномальные задержки пропорциональны результирующему коэффициенту отражения ρ_z ($\Delta\tau_{ан} = 0$ при $\rho_z = 0$; $\Delta\tau_{ан} > 0$ при $\rho_z > 0$; $\Delta\tau_{ан} < 0$ при $\rho_z < 0$);

2) величину аномальной задержки в АФУ можно оценить расчетным путем при извест-

ных параметрах сигнала, линии, сопротивлений нагрузки и генератора; аномальная задержка может быть измерена также экспериментально;

3) аномальная задержка видеоимпульсов при $|\rho_z| \ll 1$ пропорциональна производной сигнала и достигает экстремальных значений $\Delta\tau_{\text{анмакс}}$, $\Delta\tau_{\text{анмин}}$ для относительных длин кабеля $\tau_0/\tau_z = 0,1 \dots 0,2$; при $\tau_0 \ll 0,1\tau_z$ и $\tau_0 \gg 0,2\tau_z$ аномальные задержки пренебрежимо малы;

4) зависимости аномальных задержек радиоимпульсов от нормальной задержки (длины кабеля) $\Delta\tau_{\text{ан}}(\tau_0)$ имеют колебательный характер с периодом, равным задержке в кабеле на половину периода несущей частоты сигнала ($\tau_0 = T_0/2$);

5) при ИВП по огибающей радиоимпульса зависимость амплитуд $\Delta\tau_{\text{ан}}(\tau_0)$ совпадает с функцией $\Delta\tau_{\text{ан}}(\tau_0)$ для модулирующего видеоимпульса;

6) при ИВП по фазе когерентной несущей радиоимпульса зависимости амплитуд $\Delta\tau_{\text{ан}}(\tau_0)$ совпадают с огибающей модулирующего видеоимпульса, а экстремальные значения аномальных задержек $\Delta\tau_{\text{анмакс}}$, $\Delta\tau_{\text{анмин}}$ не зависят от формы сигнала;

7) длины кабеля, соответствующие нулевым значениям аномальных задержек радиоимпульсов при измерениях по огибающим и фазам, при $|\rho_z| \ll 1$ отличаются на величину нормальной задержки $\tau_0 \approx T_0/8$; на такую же длину отличаются кабели, при которых имеют место максимальные и минимальные отклонения аномальных задержек при измерениях по огибающим и фазам;

8) для комплексных значений сопротивлений нагрузки и генератора Z_n , Z_i зависимости $\Delta\tau_{\text{ан}}(\tau_0)$ имеют постоянную составляющую, определяемую делителем 4 (см. рис. 3) и, помимо квазигармонического характера, дополнительную «модуляцию по амплитуде».

9) в наибольшей степени аномальные задержки проявляются при работе АФУ на излучение, поскольку для достижения приемлемого КПД выходное сопротивление передатчика $R_i \gg R_n$, а сопротивление антенны в полосе частот сигнала отличается от волнового не менее чем в 1,1...1,2 раза;

10) для снижения аномальных задержек в системах с высокоточным ИВП сигналов кроме совершенствования согласования кабеля с нагрузкой и генератором необходимо выбирать оптимальную длину кабеля и предусматривать пилотирование задержек в АФУ с применением дополнительной ИА [3, 4].

Список литературы: 1. *Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория* : Справочник. Изд. 2-е перераб. и доп. / под ред. Я.Д. Ширмана. – М. : Радиотехника, 2007. – 512 с. 2. *Шебшаевич В.С.* Сетевые спутниковые радионавигационные системы. – М. : Радио и связь, 1993. – 286 с. 3. *Кациев Б. Л.* Метеоры сегодня / Кациев Б. Л. Коваль Ю. О., Горбач В. И., Бондарь Б. Г. – К. : Техніка, 1996. – 196 с. 4. *Антипов И. Е.* Развитие теории и совершенствование радиометеорных систем связи и синхронизации / Антипов И. Е., Коваль Ю. А., Обельченко В. В. – Харьков : Коллегиум, 2006. – 308с. 5. *Основы теорії кіл : підручник.* – Ч. 2 / Коваль Ю. О., Гринченко Л. В., Милютченко І. О., Рибін О. І.; за заг. ред. В.М. Шокала та В.І Пrawdи. – Х. : Компанія СМІТ, 2008. – 560 с. 6. *Коваль Ю.А.* Анализ точности фиксации временного положения импульса в устройстве с линией задержки. / Коваль Ю.А., Моисеев В.П., Бавыкина В.В., Нестеров П.К. // Радиотехника. – Харьков : Изд-во ХГУ, 1980. – Вып. 52. – С. 12-15.

*Харьковский национальный
университет радиотехники*

Поступила в редколлегию 12.04.2011