

Радиофотонный метод определения угла прихода с компенсацией интенсивности сигналов



Денисенко П.Е., Денисенко Е.П., Ватагина М.А.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Казань, Россия

Цель доклада – продемонстрировать новый радиофотонный измеритель для определения угла прихода (УП). Он основан на принципах построения последовательного радиофотонного звена для построения оптоволоконных линии связи и сенсорных систем с использованием преимуществ тандемных амплитудно-фазовых модуляторов (ТАФМ).

В связи с развитием технологий интегральных фотонных схем, реализация радиофотонных устройств определения УП для расширения функциональности радиолокационных систем (РЛС) является актуальной научно-технической задачей.

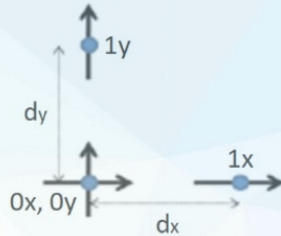
Представлен радиофотонный метод определения угла прихода (УП) на основе тандемной амплитудно-фазовой модуляции с использованием L-образной антенной решетки.

Задача анализа УП состоит в том, чтобы сначала определить ϕ_x и ϕ_y из фазы наложения спектров измерения при наличии ошибок измерения. В приближении плоской волны для этого используются суммы фазовых параметров диполей «1x,y; 0x,y».

Радиофотонный метод определения угла прихода с компенсацией интенсивности сигналов

Денисенко П.Е., Денисенко Е.П., Ватагина М.А.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Казань, Россия



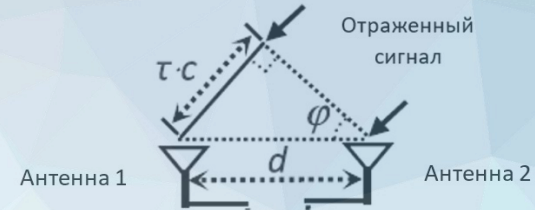
L-образная антенная 2D структура

Фазовые изменения из-за разнесения антенн:

$$\varphi_x = (d_x/\lambda)\cos\Delta\sin\alpha_y$$

$$\varphi_y = (d_y/\lambda)\cos\Delta\cos\alpha_y$$

Δ – угол места, измеренный над горизонтом,
 α_y – азимутальный угол от оси y .



Ситуационное положение элементов антенной решетки и фронта падающей волны микроволнового сигнала, отраженного от объекта

$$\varphi = \sin^{-1}(c\tau/d)$$

Входящий сигнал, отраженный от объекта, поступает на каждый антенный элемент с разным временем задержки τ в зависимости от угла φ между источником сигнала и антенной решеткой из-за пространственного разнесения d между антенными элементами.

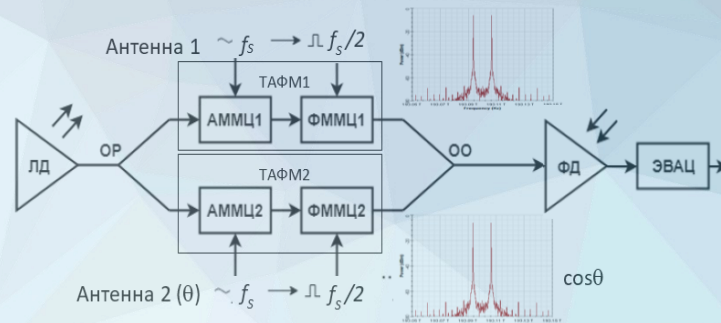
Радиофотонный метод определения угла прихода с компенсацией интенсивности сигналов

Денисенко П.Е., Денисенко Е.П., Ватагина М.А.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Казань, Россия

Особым решением является построение специального радиофотонного канала для построения измерителя УП, также полностью построенного на технологиях радиофотоники и тандемных амплитудно-фазовых модуляторах (ТАФМ).

ТАФМ реализует метод Ильина-Морозова – это преобразование одночастотного когерентного излучения в двухчастотное – с полным подавлением несущей и высокой спектральной чистотой, но с сохранением проблемы непостоянства индекса амплитудной модуляции.



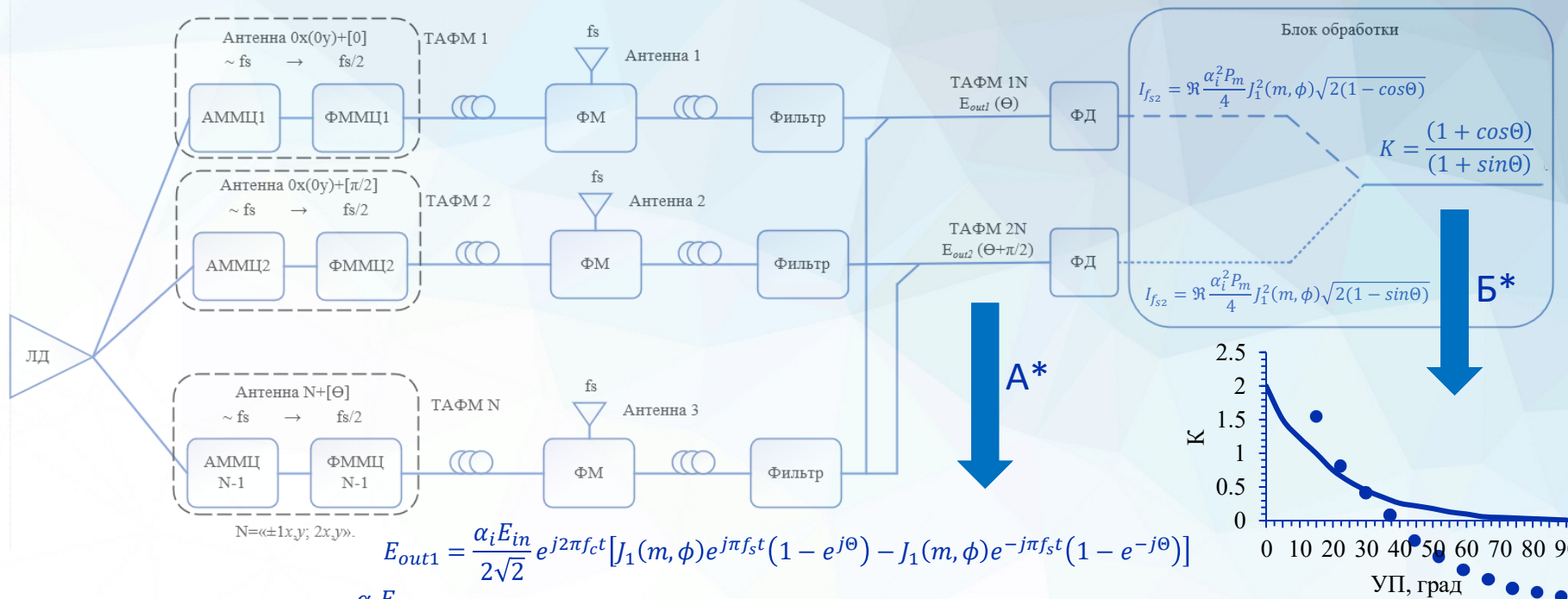
ЛД – лазерный диод;
 А(Ф)ММЦ – амплитудный (фазовый) модулятор Маха-Цендера;
 ОР – оптический разветвитель;
 ОО – оптический объединитель;
 ФД – фотодетектор;
 ЭВАЦ – электронный векторный анализатор цепей

Радиофотонный метод определения угла прихода с компенсацией интенсивности сигналов



Денисенко П.Е., Денисенко Е.П., Ватагина М.А.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Казань, Россия



$$E_{out1} = \frac{\alpha_i E_{in}}{2\sqrt{2}} e^{j2\pi fct} [J_1(m, \phi) e^{j\pi fst} (1 - e^{j\theta}) - J_1(m, \phi) e^{-j\pi fst} (1 - e^{-j\theta})]$$

$$E_{out2} = \frac{\alpha_i E_{in}}{2\sqrt{2}} e^{j2\pi fct} [J_1(m, \phi) e^{j\pi fst} (1 - e^{j[\theta+\pi/2]}) - J_1(m, \phi) e^{-j\pi fst} (1 - e^{-j[\theta+\pi/2]})]$$

Пояснение к А* и Б* представлены на следующем слайде

Радиофотонный метод определения угла прихода с компенсацией интенсивности сигналов



Денисенко П.Е., Денисенко Е.П., Ватагина М.А.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Казань, Россия

Лазерный источник обеспечивает узкополосное излучение оптического диапазона. Блоки ТАФМ 1 и ТАФМ N формируют измерительный канал ТАФМ 1N, ТАФМ 2 и ТАФМ N – компенсирующий канал ТАФМ 2N. Суммарное электрическое поле каждого канала представлено в формулах А*. Фазовые модуляторы после каждого ТАФМ используются для компенсации фазовых изменений из-за пространственного разнесения диполей антенной решетки. В фотодетекторах происходит преобразование сигналов из оптической области в радиочастотную с выделением сигналов биений на разностной частоте. В блоке обработки производится отношение их уровней сигналов с фотодетекторов и определение коэффициента, который является

отношением фазовых составляющих каждого из сигналов, т.к. остальные параметры сигналов совпадают. По величине К определяется угол прихода.

Пояснение к А*:

E_{in} – амплитуда электрического поля лазерного излучения, попадающего в ТАФМ, α_i – потери, вносимые ТАФМ, $J_1(m, \phi)$ – функция Бесселя первого порядка первого рода, m и ϕ – параметры амплитудного и фазового преобразования в ТАФМ, зависящие от амплитуды отраженного сигнала A_S .

Пояснение к Б*:

\mathfrak{R} – чувствительность фотодетектора;
 P_{in} – мощность входного лазерного излучения для ТАФМ1,2,N.

Радиофотонный метод определения угла прихода с компенсацией интенсивности сигналов



Денисенко П.Е., Денисенко Е.П., Ватагина М.А.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», г. Казань, Россия

Представленная многоканальная приемная система, работающая в пассивном режиме, решает задачу определения положения лицензированных или нелицензированных источников радиопередачи. Вычисленные фазовые параметры многоэлементной приемной антенны, обусловленные разнесением антенн по осям x и y , используются для определения УП.

Предложена структура радиофотонного измерителя УП на ТАФМ, которая позволяет измерять УП отраженного радиосигнала путем определения фазовых параметров плоской падающей волны с отдельных дипольных антенн. При этом получено отношение выходного сигнала каждого канала, включающего в себя компенсирующий ТАФМ, не зависящее от амплитуды входящего радиосигнала.

Использованные методы формирования измерительного сигнала и методы компенсации паразитных составляющих позволяют говорить о решении задачи определения УП, связанные с уменьшением электромагнитных помех, размеров системы, ее веса и потребляемой мощности.

Контакты

Денисенко Павел Евгеньевич
e-mail: pavdeni@gmail.com



О.Г. Морозов, Г.А. Морозов, Г.И. Ильин, И.И. Нуреев, А.Ж. Сахабутдинов, И. Н. Ростокин, А.А. Иванов, А.А. Лустина, Е.П. Денисенко, П.Е. Денисенко, В.Д. Андреев Радиофотонный метод определения угла прихода отраженного радиолокационного сигнала на основе тандемной амплитудно-фазовой модуляции // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и информационные системы. 2021. № 1 (49). С. 50-62. DOI: <https://doi.org/10.25686/2306-2819.2021.1.50>