ТЕОРІЯ ТА МЕТОДИ ОБРОБЛЕННЯ СИГНАЛІВ

УДК 629.072.126 (045)

А. В. Скрипец, канд. тех. наук, проф.
В. Д. Тронько, д-р физ.-мат. наук, проф.
М. М. Асанов, ассист.

ПЕРЕДАЧА АЗИМУТА ОБЪЕКТА НА РАССТОЯНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАГНИТООПТИЧЕСКОГО МОДУЛЯТОРА

Институт аэронавигации: e-mail: marlen_as@mail.ru

Посвящена разработке и анализу оптоэлектронного метода передачи азимутальных положений объекта на расстоянии с применением магнитооптического модулятора.

Ключевые слова: азимутальные положения, оптический канал, магнитооптический модулятор.

Введение. Определение угловых координат в радионавигации основано на измерении угла прихода радиоволн, излученных или отраженных объектом, осуществляемое с помощью радиопеленгаторов [1 – 3]. Важнейшей характеристикой радиопеленгатора является его пеленгационная характеристика, под которой понимается зависимость нормированного выходного напряжения приемника от направления прихода радиоволн. В зависимости от того, какой параметр радиосигнала определяет форму пеленгационной характеристики, методы пеленгации (или углометрии) подразделяют на амплитудные, фазовые, частотные и комбинированные (амплитудно-фазовые).

Амплитудные методы пеленгации основаны на использовании направленных свойств антенн. Достоинства метода максимума при амплитудной пеленгации: простота технической реализации, получение наибольшего отношения сигнала к шуму в момент отсчета пеленга. Недостатки метода: низкая пеленгационная чувствительность и, как следствие, низкая точность пеленгации [3].

Крутизна пеленгационной характеристики при амплитудной пеленгации методом минимума выше, чем при методе максимума, поэтому выше и точность пеленгации. Однако амплитуда принимаемого сигнала вблизи направления на объект мала, что затрудняет дальнометрию и, следовательно, использование метода минимума в активной радиолокации.

Достоинством метода сравнения при амплитудной пеленгации является возможность быстрого определения направления на объект (в течение одного импульса) в пределах сравнительно широкого сектора при неподвижных антеннах. Однако точность измерения может иногда оказаться низкой в зависимости от вида и взаимного положения диаграммы направленности антенн и угла прихода радиоволн.

Фазовый метод пеленгации основан на измерении разности фаз электромагнитных колебаний, принятых на две разнесенные антенны. При фазовом методе определение пеленга не является однозначным. Другим недостатком этого метода является низкая точность при определении малых углов азимута.

Постановка задачи. В данной работе описан и проанализирован оптоэлектронный метод передачи азимута объекта на расстоянии.

Описание метода. Традиционный оптический канал имеет вид (рис. 1): поляризатор *1*, модулятор *2*, среда распространения оптического луча *3*, анализатор *4*, фотоприемник *5*. Модулятор *2* представляет собой магнитооптическую ячейку Фарадея на иттрий феррит-гранате, которая позволяет получить амплитуду колебаний плоскости поляризации 45º и больше при сравнительно небольших магнитных полях (порядка 80 А/м).

Фотоэлектрический поляриметр, использующий данную магнитоооптическую ячейку Фарадея, позволяет измерять азимут плоскости поляризации света с точностью 0,0005 угл. град [4; 5].

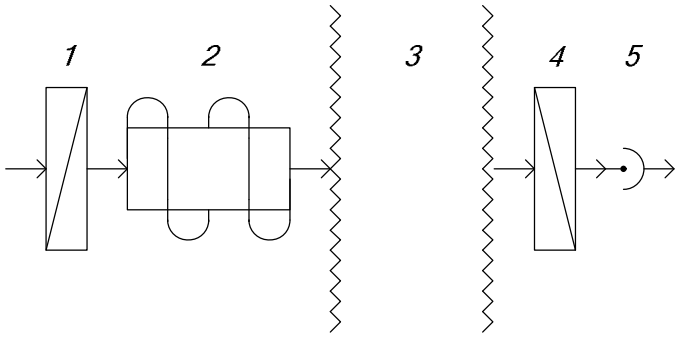


Рис. 1. Блок-схема оптического канала

Предварительно система настраивается до исчезновения сигнала на выходе. Поворотом поляризатора *1* задается необходимый для передачи азимут φ, что приводит к появлению сигнала на выходе, который компенсируем путем доворота анализатора *4* на определенный угол. Этот угол будет равен передаваемому азимуту φ. Причем обязательным условием является нахождение поляризатора в объекте, передающем азимут, а анализатора в объекте, принимающем азимут.

Расчет такого канала будем производить методом матриц Мюллера и вектора Стокса [4]. Для прошедшего через канал светового луча вектор Стокса равен:

$$(Ve)_{\text{пр}} = [P_{\text{а}}][P_{\text{с}}][P_{\text{м}}][P_{\text{п}}](Vi),$$

где (Vi) – вектор Стокса падающего луча; $[P_{\text{п}}]$, $[P_{\text{м}}]$, $[P_{\text{с}}]$, $[P_{\text{а}}]$ – соответственно матрицы, описывающие свойства поляризатора, модулятора, среды распространения оптического луча и анализатора [6].

По аналогии с работами [4; 5] запишем отношение сигнала к шуму по мощности для данного канала:

$$\frac{S}{N} = \frac{U_{\text{с}}^2}{U_{\text{т}}^2 + U_{\text{др}}^2 + U_{\text{ток}}^2},$$

где $U_{\text{с}}$, $U_{\text{т}}$, $U_{\text{др}}$, $U_{\text{ток}}$ – напряжения, создаваемые сигналом, тепловыми, дробовыми и токовыми шумами соответственно.

Использование высокочастотного модулятора на ферримагнитных кристаллах *2* позволяет пренебрегать токовыми шумами, амплитудный спектральный компонент которых на рабочих частотах порядка 10 кГц почти равен нулю.

Отношение сигнала к шуму по мощности примет вид [4]:

$$\begin{aligned}\frac{S}{N} &= \frac{U_{\text{с}}^2}{U_{\text{т}}^2 + U_{\text{др}}^2} = \frac{A}{\Delta f}\Delta^2 \frac{4(1-2Gd)^4\, p^2 \sin^2 2\theta}{\frac{U_{\text{т}}^2}{A_1} + (1-Gd)^2\left[1-(1-2Gd)^2\, p^2 \cos 2\theta\right]} = \\ &= \frac{A}{\Delta f}\Delta^2 \frac{4P^2 \sin^2 2\theta}{\frac{U_{\text{т}}^2}{A_1} + (1-Gd)^2\left[1-P\cos 2\theta\right]},\end{aligned} \tag{1}$$

где A, A_1 – постоянные, зависящие от параметров модулятора и фотоприемника; Δf – полоса пропускания системы; Δ – угол разбалансирования оптической системы относительно угла 90°; Gd – поляризационный дефект призм; p – степень поляризации света в среде

распространения; $P=(1-2Gd)^2\,p$ – степень поляризации света в канале; θ – угловая амплитуда колебаний плоскости поляризации. Полагаем, что она изменяется по периодическому закону: $\theta=\theta_0\Phi(t)$, где $\Phi(t)$ – произвольная периодическая функция, изменяющаяся во времени с частотой ω.

Будем полагать, что модуляция ячейки Фарадея осуществляется прямоугольными колебаниями (меандром). В таком случае формула для отношения сигнала к шуму по мощности (1) преобразуется к виду

$$\frac{S}{N}=\frac{A}{\Delta f}\Delta^2\frac{4P^2\sin^2 2\theta_0}{\frac{U_т^2}{A_1}+(1-Gd)^2\left[1-P\cos 2\theta_0\right]}. \qquad (2)$$

Выражение для минимального угла разбалансирования, который характеризует чувствительность прибора, согласно формуле (2) будет иметь вид

$$\Delta=\sqrt{\frac{\Delta f}{A}\frac{\frac{U_т^2}{A_1}+(1-Gd)^2\left[1-P\cos 2\theta_0\right]}{4P^2\sin^2 2\theta_0}}.$$

Графики зависимости угла разбалансирования от угла раскачки при различных значениях степени поляризации света в канале показаны на рис. 2. При расчетах было принято: U_T= 1,287·10^{-7} В; A_1 = 1,375·10^{-8}.

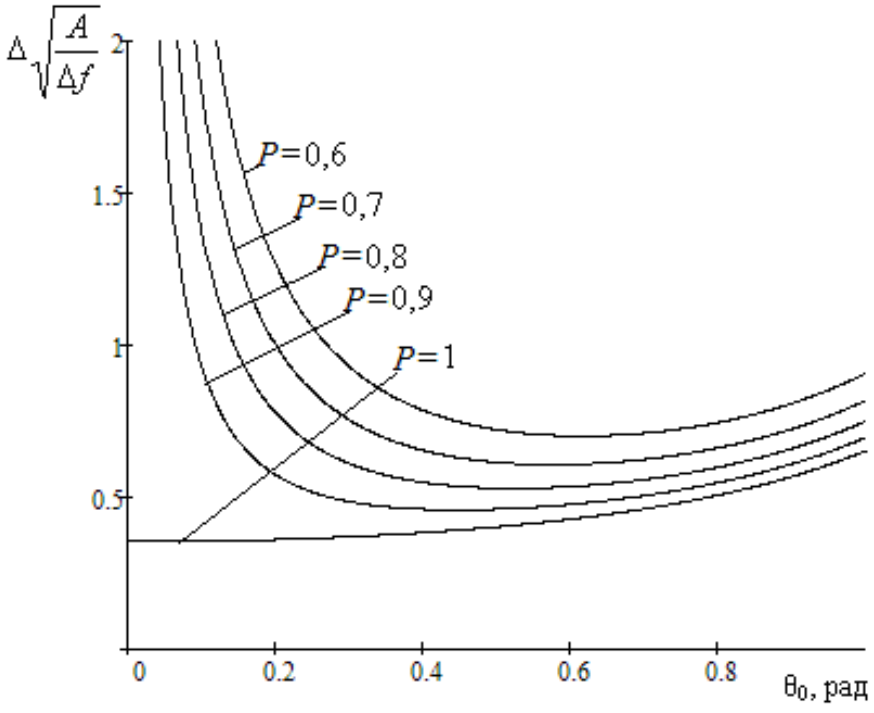


Рис. 2. Зависимости $\Delta\sqrt{\frac{A}{\Delta f}}$ от θ_0 при различных P

Из графиков видно, что при малых углах раскачки наблюдается резкая зависимость чувствительности от параметра P. При уменьшении степени поляризации света в канале чувствительность ухудшается и ее максимальное значение смещается в сторону больших углов раскачки.

Выводы

1. Применение ферримагнитных кристаллов в аэронавигационных системах для передачи азимута позволяет значительно уменьшить габариты и энергопотребление этих систем. Также устраняется погрешность, вносимая токовыми шумами $U_{ток}$ путем перехода на более высокие рабочие частоты.

2. Использование разработанной методики, основанной на применении параметра P – степени поляризации оптического канала в расчетах позволит производить полный анализ работы системы и полученных результатов, так как данный параметр зависит как от свойств оптических элементов, так и рассеивающего объекта, т. е. от свойств оптического канала в целом. Применение параметра P позволит учитывать влияние среды распространения (погодных условий) на пути прохождения светового потока, повышая точность регистрации и передачи азимута.

3. Предварительное вычисление параметра P также повысит чувствительность регистрации и передачи азимута, позволяя работать исключительно в диапазоне оптимальных значений угла раскачки $\theta_{опт}$, т. е. при максимальном отношении сигнала к шуму.

Список литературы

1. *Белавин О. В.* Основы радионавигации / учеб. пособие для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. / О. В. Белавин – М.: Сов. радио, 1977. – 320 с.
2. *Котоусов А. С.* Теоретические основы радиосистем. Радиосвязь, радиолокация, радионавигация / А. С. Котоусов – М.: Радио и связь, 2002. – 224 с.
3. *Сосулин Ю. Г.* Теоретические основы радиолокации и радионавигации / учеб. пособие для вузов / Ю. Г. Сосулин – М.: Радио и связь, 1992. – 304 с.
4. *Фотоэлектрический* поляриметр инфракрасного диапазона / И. А. Дерюгин, Ю. А. Кузнецов, В. Д. Тронько // Оптика и спектроскопия. – 1970. – Т. 28. – № 2. – С. 415 – 418.
5. *Регистрация* угла плоскости колебаний линейно поляризованного инфракрасного излучения / А. И. Ванюрихин, Ю. А. Кузнецов, В. Ф. Майстренко, В. Д. Тронько // Оптико-механическая промышленность. – 1970. – № 8. – С. 30 – 33.
6. *Шерклиф У.* Поляризованный свет / У. Шерклиф / пер. с англ. – М.: Мир, 1965. – 264 с.

А. В. Скрипець, В. Д. Тронько, М. М. Асанов

Передавання азимута об’єкта на відстань із застосуванням магнітооптичного модулятора

Присвячено розробленню і аналізу оптоелектронного методу передавання азимутальних положень об’єкта на відстані із застосуванням магнітооптичного модулятора.

A. V. Skrypets, V. D. Tronko, M. M. Asanov

Transmission of an object azimuth on distance with the help of magnetooptical modulator

This work is devoted to development and analysis of optoelectric method of an object azimuthal location transmission on distance with the help of magnetooptical modulator.