

Способ формирования азимутальной метки фазового радиопеленгатора

Е. С. БЕСПАЛОВ*, А. С. ГОЛОВНЕНКОВА**, М. А. ПОЛЕТКОВ***

* Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики, Москва, Россия, e-mail: bespalov@mirea.ru

** Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

***ОАО «Российские космические системы», Москва, Россия

Предложен способ обработки сигналов автоматических фазовых радиопеленгаторов, позволяющий сформировать азимутальную метку при помощи расстройки по частоте переключения диполей антенной системы. Приведены результаты моделирования.

Ключевые слова: фазовый радиопеленгатор, азимут, азимутальная метка.

The method of automatic phase radio direction finders' signals processing allowing to form the azimuth mark by means of distuning by switching frequency the antenna system dipoles is proposed. The modelling results are presented.

Key words: phase radio direction finder, azimuth, azimuth mark.

Известны фазовые радиопеленгаторы, в которых используется антенна с широкой диаграммой направленности, перемещающаяся с постоянной угловой скоростью (частотой) Ω по кругу радиуса R . На практике вместо вращения применяются коммутации антенных элементов (диполей), расположенных по окружности [1]. Такая конструкция входит, например, в состав фазовых радиопеленгаторов АРП-75 и АРП-АС [2, 3]. При приеме непрерывного немодулированного колебания, излучаемого пеленгуемым объектом на частоте ω_0 , в такой антенной системе, благодаря эффекту Доплера, образуется сигнал $S(t)$, аппроксимируемый следующим образом [1]:

$$S(t) = A \sin \left[\omega_0 t - \frac{\omega_0 r}{c} + \frac{\omega_0 R}{c} \cos(\Omega t - \theta) \right], \quad (1)$$

где A — амплитуда принимаемого сигнала; c — скорость распространения; r — расстояние от центра окружности до пеленгуемого источника радиосигнала (ПИР), предполагается, что $r \gg R$; θ — начальная фаза модулирующего колебания, совпадающая с измеряемым азимутом, так как источник сигнала перемещения антенны (ИСПА) связан с датчиком эталонного направления на север.

В радиопеленгаторах типов АРП-75, АРП-АС азимут ПИР измеряется в следующей последовательности: из $S(t)$ выделяется модулирующее колебание и измеряется разность фаз между ним и колебанием, поступающим от ИСПА. При этом не используется возможность автоматизации процес-

са поиска ПИР путем введения расстройки на частоте модуляции, как это делается при решении проблем синхронизации [4, 5].

Ниже рассмотрен способ формирования метки азимутального направления в автоматических фазовых радиопеленгаторах. Этот способ можно реализовать в тех случаях, когда антенная система радиопеленгатора содержит центральный вибратор — антенну, установленную в центре окружности вращения (коммутации). Такой вибратор входит, например, в состав антенных систем уже упоминавшихся автоматических радиопеленгаторов [2, 3].

Пусть в ИСПА кроме колебания с частотой Ω вырабатывается (синтезируется) колебание частотой, отличающейся от Ω на величину $\Delta\Omega$, и это колебание поступает на управляющий вход модулятора фазы включенного в состав антенной системы пеленгатора. Если на сигнальный вход модулятора подать сигнал, принимаемый центральным вибратором, то на выходе модулятора будет сформирован сигнал

$$S(t) = A_0 \sin \left[\omega_0 t - \frac{\omega_0 r}{c} + M \cos(\Omega - \Delta\Omega)t \right], \quad (2)$$

где A_0 — амплитуда сигнала центрального вибратора; M — индекс фазовой модуляции.

Если выбрать $M = \omega_0 R/c$, перемножить (1) и (2) и пренебречь составляющей частотой $2\omega_0$ (эту составляющую можно подавить фильтром нижних частот (ФНЧ)), то получим колебание

$$u(t) = U \cos [m(t) \sin \alpha(t)] = U \left\{ J_0(m(t)) + 2 \sum_{p=1}^{\infty} J_{2p}(m(t)) \cos 2p\alpha(t) \right\}, \quad (3)$$

где $U = kAA_0/2$ — амплитуда колебания; k — множитель, имеющий размерность B^{-1} ;

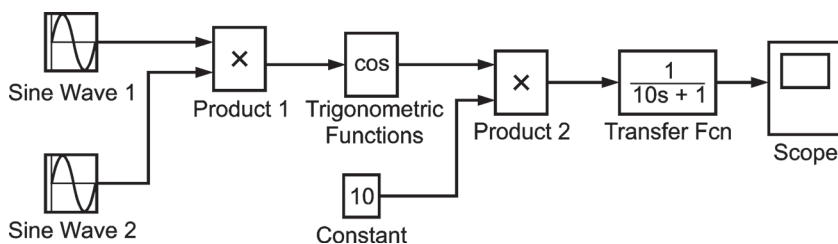


Рис. 1. Simulink-модель устройства формирования метки

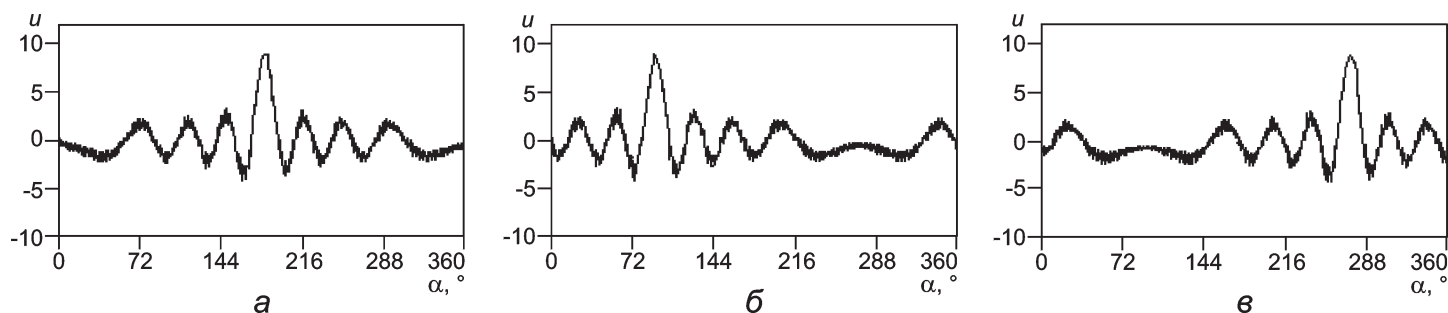


Рис. 2. Азимутальная метка (максимальный пик), наблюдаемая на экране блока Scope:

$a - q = 0$; $b - q = 1$; $v - q = -1$

$$m(t) = \frac{2\omega_0 R}{c} \sin\left(\frac{\Delta\Omega}{2}t - \frac{\theta}{2}\right); \alpha(t) = \left(\Omega - \frac{\Delta\Omega}{2}\right)t - \frac{\theta}{2};$$

$J_0(m(t))$, $J_{2p}(m(t))$ — функции Бесселя первого рода соответственно порядков нулевого и $2p$ аргумента $m(t)$.

Операцию перемножения сигналов можно реализовать при помощи фазовых детекторов, выполненных по схеме «перемножение-фильтрация». Если ФНЧ в схеме детектора подавляет гармоники частоты модуляции Ω , то его выходное напряжение имеет вид

$$u_{\text{ФД}}(t) \approx UJ_0(m(t)). \quad (4)$$

Функция $J_0(m(t))$ достигает наибольшего значения при $m(t) = 0$, т. е. при условии $\Delta\Omega t = \theta$, поэтому в моменты времени, когда набег фазы колебания частоты $\Delta\Omega$ равен измеряемому азимуту, будет сформирована азимутальная метка.

Имитационный эксперимент подтвердил возможность формирования азимутальной метки рассматриваемым способом. Эксперимент выполнен в среде приложения Simulink системы программирования MatLab [6].

На рис. 1 изображена Simulink-модель стенда для исследования устройства, воспроизводящего $u(t)$ в соответствии с (3). Модель стенда содержит следующие блоки библиотеки Simulink: два блока Sine Wave — модели источников синусоидальных колебаний; два блока Product — модели перемножителей; блоки Trigonometric Function — модель формирователя косинусоидальной функции, Constant — модель формирования константы, Transfer Fcn — модель формирователя передаточной функции ФНЧ, Scope — модель осциллографа.

Параметры блоков Sine Wave, устанавливаемые через диалоговые окна, указаны в таблице.

Наименование блока	Амплитуда, В	Частота, рад/с	Фаза, рад
Sine Wave 1	24	0,00628/2	$(-pi/2) + q(pi/4)$
Sine Wave 2	1	0,5	$(-pi/2) + q(pi/4)$

В таблице и далее при обозначении числа π использован символ pi языка Simulink; q — константа, значение которой позволяет изменять определяемый азимут.

Блок Sine Wave 1 воспроизводит $m(t)$, амплитуда его колебаний соответствует диапазону частот 400 МГц радиопе-

ленгатора АРП-АС и радиусу $R = 1,6$ м антенной системы этого пеленгатора [2]. При моделировании процессов в АРП-75 радиус оставался тем же, а амплитуду выбирали для диапазона 100 МГц [2], т. е. в четыре раза меньше.

Блок Sine Wave 2 — модель $\alpha(t)$. При указанной в таблице частоте коэффициент масштабирования был равен 600.

Величину $U = 10$ в (3) устанавливали при помощи блока Constant.

Время имитации выбрано равным 1000 ($Start\ time = 0$, $Stop\ time = 1000$), поэтому набег фазы колебания разностной частоты за это время был равен 360° .

Параметры блока Scope устанавливали следующими: $time\ range = 1000$; $Y_{\max} = 12$; $Y_{\min} = -10$.

На рис. 2 приведены примеры осциллограмм, наблюдаемых на экране блока Scope: a — при $q = 0$ ($\theta = 180^\circ$); b — $q = 1$ ($\theta = 90^\circ$); v — $q = -1$ ($\theta = 270^\circ$). Сформированная рассмотренным способом азимутальная метка превышает ложные выбросы не менее чем в два раза.

Важно отметить, что представленный здесь способ не требует значительных конструктивных изменений существующих пеленгаторов и может способствовать повышению надежности определения азимута в автоматизированных системах управления воздушным движением.

Литература

1. Ярлыков М. С. Статистическая теория радионавигации. М.: Радио и связь, 1985.
2. Савицкий В. И. и др. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Справ. пособие / Под ред. В.И. Савицкого. М.: Транспорт, 1986.
3. Саидов А. С. и др. Проектирование фазовых автоматических радиопеленгаторов. М.: Радио и связь, 1997.
4. Диксон Р. К. Широкополосные системы / Пер с англ., под ред. В. И. Журавлева. М.: Связь, 1979.
5. А. с. 813704 СССР. Устройство для фильтрации непрерывного радиосигнала с широкополосной гармонической частотной модуляцией / Е. С. Беспалов, В. Н. Кулешов // Бюл. изобрет. 1981. № 10.
6. Кондрашов В. Е., Королев С. Б. MATLAB как система программирования научно-технических расчетов. М.: Мир, 2002.

Дата принятия 11.01.2012 г.