

ОСОБЕННОСТИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ МАЛЫХ ВЫСОТ

Военная академия Республики Беларусь
г. Минск, Республика Беларусь

Гатальский А.М.

Лапука О.Г. – д-р техн. наук, профессор

Предложен подход, позволяющий снизить вычислительные затраты при имитационном моделировании радиолокационного измерителя малых высот с частотной модуляцией непрерывного зондирующего сигнала.

Имитационное математическое моделирование работы радиолокационного измерителя малых высот с частотной модуляцией непрерывного зондирующего сигнала в виде дискретной конечномерной системы требует длительного времени моделирования и больших вычислительных затрат. Это обусловлено тем, что моделирование работы такой системы связано с переходом от непрерывного представления сигнала вида $u(t)$ к конечной последовательности дискретных отсчетов большой длины.

Математическим описанием сигнала в виде последовательности дискретных отсчетов является его представление в виде вектора, значения элементов которого соответствуют значению $u(t)$ в дискретные моменты времени, следующие с фиксированным периодом. Количество элементов N зависит от длительности t исходного сигнала и периода дискретизации $dt: N=t/dt$. Большое количество элементов последовательности обусловлено применением в измерителях малых высот непрерывных частотно-модулированных сигналов с шириной спектра от нескольких десятков до нескольких сотен мегагерц.

Например, для дискретного представления высокочастотного зондирующего сигнала с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) шириной спектра $\Delta f = 300$ МГц и периодом модуляции $T_m = 2$ мс минимально необходимая частота дискретизации (при преобразовании сигнала в область нулевой частоты, переносе спектра в диапазон 0...300 МГц) в соответствии с теоремой Котельникова составляет $f_s = 600$ МГц, а количество дискретных отсчетов сигнала за один период модуляции – $N = T_m \cdot f_s = 1,2 \cdot 10^6$.

Снижение вычислительных затрат может быть достигнуто путем перехода от дискретного представления высокочастотного зондирующего сигнала описываемого аналитическим выражением

$$u(t) = E_0 \cos(2\pi f_0 t + \pi \frac{\Delta f}{T_m} t^2 + \varphi_0),$$

с частотой дискретизаций f_s , к дискретному представлению полной фазы этого сигнала $\varphi(t)$

$$\varphi(t) = 2\pi f_0 t + \pi \frac{\Delta f}{T_m} t^2 + \varphi_0$$

с частотой субдискретизации $f_{sub} < f_s$. Такая возможность обусловлена тем, что при частотном методе измерения дальности с использованием ЛЧМ сигнала текущей высоте однозначно соответствует разностная частота между зондирующим и отраженным сигналом, которая может быть определена в результате вычисления мгновенных разностей фаз зондирующего и отраженного сигнала и их численного дифференцирования с шагом dt в соответствии с выражением

$$f(t) - f(t-\tau) = \frac{d\varphi(t)}{dt} - \frac{d\varphi(t-\tau)}{dt} = \frac{d(\varphi(t) - \varphi(t-\tau))}{dt} = \frac{d(\Delta\varphi(t))}{dt},$$

где $f(t), \varphi(t)$ – частота и фаза зондирующего сигнала, $f(t-\tau), \varphi(t-\tau)$ – частота и фаза отраженного сигнала, τ – время распространения сигнала. Шаг дискретизации $dt = 1/f_{sub}$ выбирается из условия $f_{sub} > 2f_p$. Разностная частота сигнала может быть рассчитана аналитически в соответствии с выражением

$$f_p = \frac{2H\Delta f}{cT_m} + \frac{2Vf_0}{c},$$

где первое слагаемое описывает приращение частоты на высоте H , а второе – доплеровское смещение частоты. Например, на высоте $H = 50$ м при снижении со скоростью $V = 200$ м/с, частоте зондирующего сигнала $f_0 = 3$ ГГц и принятых ранее параметрах модуляции $(\Delta f, T_m)$ разностная частота равна $f_p = 29$ кГц. Если выбрать $f_{sub} = 60$ кГц, то количество отсчетов сигнала за один период модуляции составит $N_{sub} = T_m f_{sub} = 120$. Из от-

ношения полученных значений N и N_{sub} следует, что для заданного диапазона высот (0...50 м) уменьшение вычислительных затрат может достигать 10 000 раз.

В результате имитационного моделирования работы радиолокационного измерителя малых высот с использованием вышеописанного подхода в среде Matlab представлены на рисунке 1.

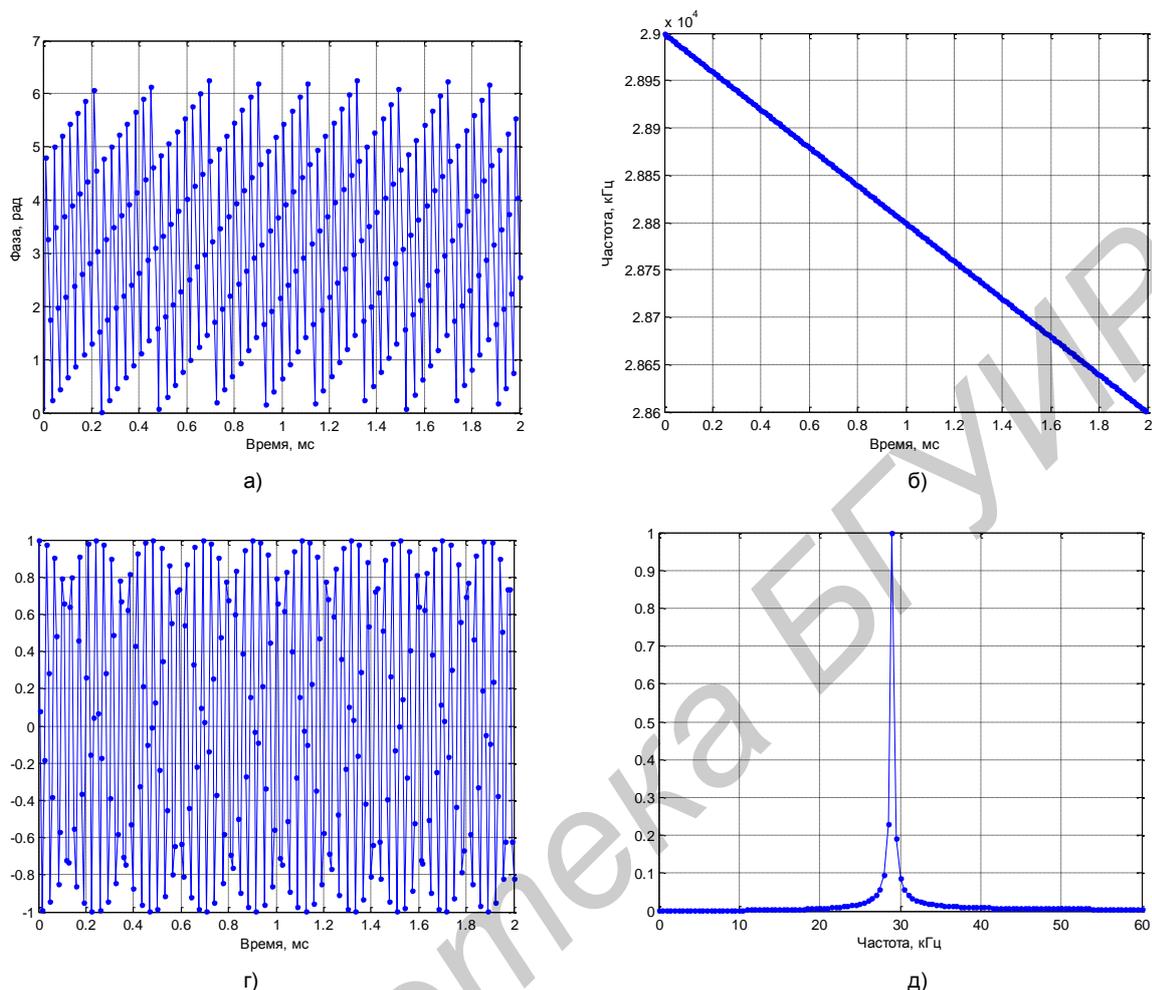


Рис. 1 – Результаты имитационного моделирования работы высотомера за один период модуляции зондирующего сигнала: а) полная фаза сигнала разностной частоты, б) изменение разностной частоты за период модуляции, в) осциллограмма сигнала разностной частоты, г) спектр сигнала разностной частоты.

Список использованных источников:

1. Лапука, О.Г. Анализ и синтез в классе дискретных конечномерных систем: моногр. / О.Г. Лапука, К.К. Пашенко. – Минск: ВАРБ, 2010. – 372 с.