

# УЗКОПОЛОСНАЯ КОРРЕКЦИЯ МУЛЬТИПЛИКАТИВНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ЦИФРОВОГО АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ

Зебек С.Е.

Научный руководитель: д-р техн. наук, проф. Гимпилевич Ю.Б.  
*Севастопольский национальный технический университет*  
 E-mail: stanislavzebek@mail.ru

*Аннотация* — Предложен усовершенствованный алгоритм для определения модуля и аргумента комплексного коэффициента отражения на основе дискретного преобразования Фурье.

## 1. Введение

Известен цифровой алгоритм определения модуля и аргумента комплексного коэффициента отражения (ККО) микроволновых узлов [1]. Недостатком этого алгоритма является то, что мультипликативная погрешность корректируется с использованием постоянной составляющей спектра. Это приводит к влиянию дрейфа нуля усилителя постоянного тока. Устранить этот недостаток можно путем формирования узкополосного корректирующего сигнала.

## 2. Основная часть

Для обеспечения возможности узкополосной коррекции предлагается выделять из спектра дискретного сигнала четвертую гармонику. Для этого увеличим число отчетов до  $N=16$ . В ЭВМ сформируем следующую последовательность отсчетов

$$S_k = \begin{cases} U_0 = KE_n^2(1+\Gamma^2 + 2\Gamma\cos\varphi) & \text{при } k = 0, 1; \\ 0 & \text{при } k = 2, 3; \\ U_1 = KE_n^2(1+\Gamma^2 - 2\Gamma\sin\varphi) & \text{при } k = 4, 5; \\ 0 & \text{при } k = 6, 7; \\ U_2 = KE_n^2(1+\Gamma^2 - 2\Gamma\cos\varphi) & \text{при } k = 8, 9; \\ 0 & \text{при } k = 10, 11; \\ U_3 = KE_n^2(1+\Gamma^2 + 2\Gamma\sin\varphi) & \text{при } k = 12, 13; \\ 0 & \text{при } k = 14, 15, \end{cases} \quad (1)$$

где  $K$  — коэффициент преобразования;  $E_n$  — амплитуда падающей волны;  $\Gamma, \varphi$  — модуль и аргумент комплексного коэффициента отражения;  $U_0 \dots U_3$  — напряжения на выходе детекторной секции при использовании четырехзондовой измерительной линии,  $k = 0, 1, 2 \dots N-1$  [2].

Проведем дискретное преобразование Фурье (ДПФ) [3] последовательности отсчетов (1) и определим комплексные амплитуды четвертой  $C_4$  и первой  $C_1$  гармоник этой последовательности

$$C_4 = \frac{1}{16} \sum_0^{15} S_k e^{-j\frac{\pi}{2}k} = \sqrt{2} KE_n^2 (1+\Gamma^2) e^{-j\frac{\pi}{4}}; \quad (2)$$

$$C_1 = \frac{1}{16} \sum_0^{15} S_k e^{-j\frac{\pi}{8}k} = \sqrt{2 + \sqrt{2 + \sqrt{2}}} KE_n^2 \Gamma e^{j(\varphi-\theta)}. \quad (3)$$

Решая систему, составленную из уравнений (2) и (3), относительно  $\Gamma$  и  $\varphi$ , получаем

$$\Gamma = \frac{m|C_4|}{2|C_1|} - \sqrt{\left(\frac{m|C_4|}{2|C_1|}\right)^2 - 1}; \quad (4)$$

$$\varphi = \arg(C_1) + \theta, \quad (5)$$

$$\text{где } m = \sqrt{1 + \frac{\sqrt{2 + \sqrt{2}}}{2}} \approx 1,39; \quad \theta = \arctg\left(\frac{\sqrt{2 - \sqrt{2}}}{2 + \sqrt{2 + \sqrt{2}}}\right) \approx 0,2.$$

Из формулы (3) следует, что изменение амплитуды падающей волны ( $E_n$ ) и коэффициента преобразования  $K$  не приводит к изменению результата измерения модуля ККО, то есть осуществляется коррекция мультипликативной погрешности. Аргумент ККО в соответствии с формулой (5) с точностью до константы  $\theta$  совпадает с величиной аргумента коэффициента  $C_1$ . Константа  $\theta$  определяется при калибровке прибора (например, по короткозамыкателю). Разработанный алгоритм позволяет применить при обработке два узкополосных цифровых фильтра, что существенно уменьшит влияние, то есть повысит точность измерения.

## 3. Заключение

Таким образом, путем увеличения частоты дискретизации и соответствующим формированием дискретного сигнала в спектре получена четвертая гармоника, которая использована для коррекции мультипликативной составляющей погрешности измерения. Показана возможность применения дополнительных цифровых фильтров для уменьшения влияния шумов на результат измерения.

## 4. Список литературы

- [1] Зебек С.Е. Применение дискретного преобразования Фурье в задаче измерения комплексного коэффициента отражения / С.Е. Зебек // Мат. 8-ой Междунар. молодежной научно-технической конф. «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций» (РТ-2012). — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2012. — С. 296.
- [2] Гимпилевич Ю.Б. Измерение и контроль параметров микроволновых трактов / Ю.Б. Гимпилевич. — Севастополь: изд-во СевНТУ, 2009. — 293 с.
- [3] Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / С.И. Баскаков — М.: Высшая школа, 1988. — 448 с.

## NARROWBAND CORRECTION OF THE MULTIPLICATIVE ERROR OF A DIGITAL ALGORITHM FOR DETERMINING THE COMPLEX REFLECTION COEFFICIENT

Zebek S. E.

Scientific adviser: Gimpilevich Y.B.  
*Sevastopol National Technical University, Ukraine*

Abstract — The improved algorithm for determining the modulus and argument of the complex reflection coefficient based on the discrete Fourier transform is proposed.