

УДК 621.317.39

С.Н. Поливкин, ассистент

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, Севастополь, Украина, 99053

E-mail: madgrey@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ДИСКРЕТНОГО ФАЗОВРАЩАТЕЛЯ НА АМПЛИТУДУ ПРОХОДЯЩЕГО ЧЕРЕЗ НЕГО СИГНАЛА

Проанализированы статистические характеристики флуктуаций уровня выходного сигнала гомодинного преобразователя, возникающие при использовании в его составе неидеального дискретного фазовращателя.

Ключевые слова: преобразование частоты, измерение фазы, дискретный фазовращатель, гомодинные методы.

В гомодинных измерительных системах находят применение управляемые фазовращатели с периодическим законом изменения вносимого фазового сдвига $\varphi(t)$ во временной области. Характеристики фазовращателя, примененного в таком преобразователе, оказывают существенное влияние на его работу. В [1] было показано, что переход от непрерывных типов фазовращателей к дискретным может существенно улучшить температурную стабильность гомодинных преобразователей. В [2] проведен анализ влияния числа разрядов дискретного фазовращателя на параметры выходного сигнала. Кроме того, в [2] было определено минимальное количество разрядов дискретного фазовращателя N , необходимое для работы в составе гомодинного преобразователя. Однако, модель дискретного фазовращателя, используемого в указанных выше работах существенно упрощена. В частности, она не позволяет определить влияние отклонения значений фазовых сдвигов разрядов дискретного фазовращателя от номинальных значений на выходной сигнал.

Целью данной статьи является определение параметров распределения уровня выходного сигнала гомодинного преобразователя при использовании в его составе управляемого дискретного фазовращателя с известным законом флуктуации вносимого им фазового сдвига с использованием уточненной модели дискретного фазовращателя.

При переходе от управляемого непрерывного фазовращателя к управляемому дискретному изменяется закон изменения фазового сдвига $\varphi(t)$, вносимого этим фазовращателем в проходящий через него сигнал. На рисунке 1 показаны временные диаграммы, иллюстрирующие этот процесс.

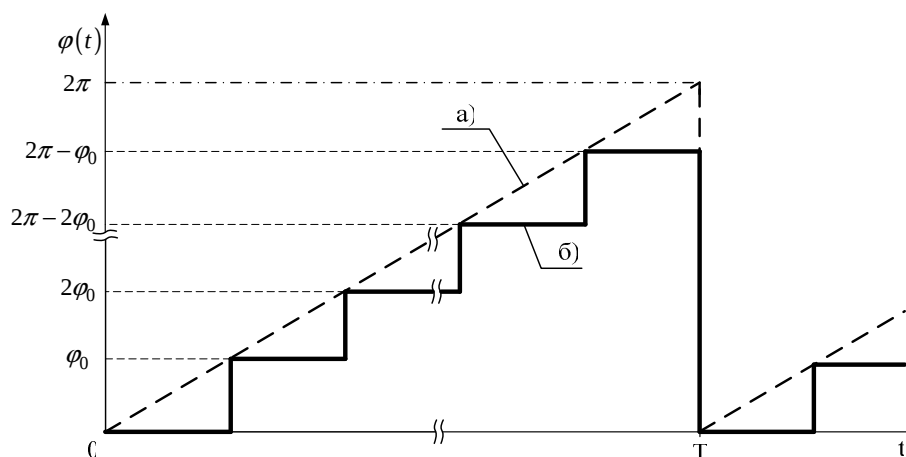


Рисунок 1 – Временные диаграммы фазового сдвига, вносимого непрерывным (а) и дискретным (б) фазовращателями

При использовании идеального дискретного фазовращателя с числом секций N , фазовые сдвиги которых соотносятся между собой как двоично-взвешенный код $(1-2 \dots 2^{N-1})$, число дискретных значений вносимого фазового сдвига составит

$$n = 2^N. \quad (1)$$

Величина приращения фазового сдвига, вносимого идеальным дискретным фазовращателем будет равна значению фазового сдвига, вносимого его младшей секцией, и составит

$$\varphi_0 = \frac{2\pi}{n} = \frac{\pi}{2^{N-1}}. \quad (2)$$

Рассмотрим прохождение гармонического сигнала с частотой ω_0 через идеальный N -секционный дискретный фазовращатель, временная диаграмма фазового сдвига которого соответствует сплошной линии (рисунок 1, б). При выполнении соотношения $\omega_0 \gg \frac{2\pi}{T}$ частота первой гармоники сигнала на выходе фазовращателя будет равна $\omega_0 + \frac{2\pi}{T}$ [3]. Однако, при отличии отношения фазовых сдвигов секций фазовращателя от двоично-взвешенного кода, величина приращения фазового сдвига при изменении состояния фазовращателя будет отличаться от рассчитанного в (2). Это приведет к расширению спектра и снижению уровня первой гармоники выходного сигнала гомодинного преобразователя.

Рассмотрим модель дискретного фазовращателя с неидеальными секциями. Для описания фазовых сдвигов каждой из секций неидеального фазовращателя, представим фазовый сдвиг каждой из секций в виде случайного процесса с равномерным распределением. Примем предельное значение отклонения фазового сдвига, вносимого каждой из секций дискретного фазовращателя равным

$$|\Delta\varphi_{\max}| = \frac{\varphi_0}{2} = \frac{\pi}{2^N}. \quad (3)$$

Используя полученные в (3) значения максимальных отклонений, плотность вероятности фазового сдвига секции фазовращателя запишем как:

$$p(\varphi) = \begin{cases} \frac{2^{N-1}}{\pi}, & \varphi \in [\varphi_C - \Delta\varphi_{\max}, \varphi_C + \Delta\varphi_{\max}] \\ 0, & \varphi \notin [\varphi_C - \Delta\varphi_{\max}, \varphi_C + \Delta\varphi_{\max}] \end{cases} \quad (4)$$

где φ_C — фазовый сдвиг, вносимый секцией дискретного фазовращателя.

Дисперсию плотности вероятности фазового сдвига секции дискретного фазовращателя запишем как

$$D = \frac{\left(\frac{2\pi}{2^N}\right)^2}{12} = \frac{\pi^2}{3 \cdot 2^{2N}}. \quad (5)$$

Поскольку законы распределения фазовых сдвигов секций дискретного фазовращателя являются независимыми друг от друга, то общая дисперсия фазового сдвига дискретного фазовращателя, содержащего N секций будет равна сумме дисперсий секций этого фазовращателя. С учетом (2) и (5) запишем выражение для дисперсии плотности вероятности фазового сдвига, вносимого в проходящий сигнал дискретным фазовращателем

$$D_{\text{ФВ}} = \frac{N}{3} \left(\frac{\pi}{2^N} \right)^2, \quad (6)$$

где $D_{\text{ФВ}}$ — дисперсия плотности вероятности фазового сдвига дискретного фазовращателя.

Среднеквадратичное отклонение плотности вероятности фазового сдвига дискретного фазовращателя равняется

$$\sigma = \sqrt{D_{\text{ФВ}}} = \sqrt{\frac{N}{3}} \frac{\pi}{2^N}. \quad (7)$$

Используя (2), фазовый сдвиг, вносимый неидеальным дискретным фазовращателем, может быть записан в виде

$$\varphi_{\text{ФВ}}(t) = \frac{\pi k(t)}{2^{N-1}} + x_{k(t)}, \quad (8)$$

где $k(t) = \text{trunc}\left(2^N \left(\frac{t}{T} - \text{trunc}\left(\frac{t}{T}\right)\right)\right)$ — номер состояния дискретного фазовращателя; x — случайная величина с равномерным законом распределения, нулевым математическим ожиданием и дисперсией, равной $D_{\text{ФВ}}$; trunc — операция отбрасывания дробной части аргумента.

Для определения статистических параметров сигнала, прошедшего через неидеальный дискретный фазовращатель воспользуемся численными методами. Для этого зададим число значений фазовых сдвигов, вносимых каждой секцией дискретного фазовращателя. После этого выполним моделирование прохождения гармонического сигнала через неидеальный дискретный фазовращатель при всех возможных состояниях фазовращателя и определим параметры распределения первой гармоники выходного сигнала.

Пусть на вход управляемого фазовращателя с единичным коэффициентом передачи поступает гармонический сигнал вида:

$$s(t) = A_0 \cos(\omega_0 t), \quad (9)$$

где A — амплитуда сигнала; ω_0 — частота сигнала.

Управляемый фазовращатель вносит в аргумент сигнала $s(t)$ фазовый сдвиг, равный $\varphi_{\text{ФВ}}(t)$, значения которого повторяются через интервал времени T . В результате, выходной сигнал неидеального дискретного фазовращателя запишем в виде

$$s_{\text{ФВ}}(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_{\text{ФВ}}(t)). \quad (10)$$

Для дальнейших расчетов примем A_0 равным 1В. Определим распределение амплитуд первой гармоники выходного сигнала дискретного фазовращателя с числом секций N равным 2, 3 и 4. В интервале $\pm \Delta\varphi_{\text{max}}$ для каждой секции фазовращателя выберем m равномерно расположенных значений отклонений фазовых сдвигов. Число возможных комбинаций отклонений фазовых сдвигов по правилу умножения в этом случае будет равно

$$Z = m^N, \quad (11)$$

где m — число фиксированных значений погрешности отклонения значений фазового сдвига, вносимого каждой секцией фазовращателя; N — число разрядов фазовращателя.

На рисунке 2 показаны гистограммы распределения уровня выходного сигнала дискретных фазовращателей с числом секций N равным 2, 3 и 4.

Выполнив расчет спектра первой гармоники спектра сигнала для каждой из Z комбинаций погрешностей секций фазовращателя с помощью пакета *MathCAD2001i*, и определив значения дисперсии и математического ожидания полученных результатов, приведем результаты расчетов в таблице 1.

Таблица 1 — Результаты расчета статистических характеристик амплитуды гармонического сигнала, прошедшего через неидеальный дискретный фазовращатель

Число разрядов фазовращателя N	Математическое ожидание первой гармоники выходного сигнала, В	Дисперсия первой гармоники выходного сигнала, В ²	СКО выходного сигнала, В
2	0,752	$3,66 \cdot 10^{-3}$	$6,05 \cdot 10^{-2}$
3	0,933	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$5,75 \cdot 10^{-2}$
4	0,983	$1,37 \cdot 10^{-3}$	$3,7 \cdot 10^{-2}$

Анализ гистограмм, показанных на рисунке 2, позволяет сделать вывод о том, что при малом числе секций фазовращателя распределение амплитуды выходного сигнала асимметрично относительно среднего значения. С увеличением числа секций фазовращателя до 4 распределение выходного сигнала становится более симметричным, близким к нормальному закону.

При анализе результатов расчета статистических параметров амплитуды выходного сигнала неидеального фазовращателя, приведенных в таблице 2 можно отметить, что с увеличением числа разрядов фазовращателя с двух до трех происходит существенное увеличение математического ожидания первой гармоники (24 % от исходного значения) выходного сигнала при незначительном снижении ее дисперсии (порядка 10 %). При увеличении числа разрядов с трех до четырех происходит незначительное увеличение математического ожидания первой гармоники (около 5 %) при существенном (около 60 %) снижении дисперсии выходного сигнала. Для всех рассмотренных случаев максимальная относительная погрешность фазовращателей оставалась постоянной, равной по модулю половине младшего разряда фазовращателя.

Расчет и последующий анализ показал, что погрешности фазовых сдвигов, вносимых секциями дискретного фазовращателя приводят к снижению уровня первой гармоники выходного сигнала, а, следовательно, и к расширению его спектра. Кроме того, для практического использования целесообразно применять дискретные фазовращатели с числом разрядов не менее трех, поскольку в этом случае существенно снижаются флуктуации уровня выходного сигнала.

Применение модели неидеального дискретного фазовращателя позволило определить статистические параметры амплитуды сигнала, прошедшего через этот фазовращатель.

В дальнейшем предполагается использовать данную модель для исследования влияния параметров дискретного фазовращателя на фазу проходящего через него сигнала с целью анализа параметров гомодинных преобразователей.

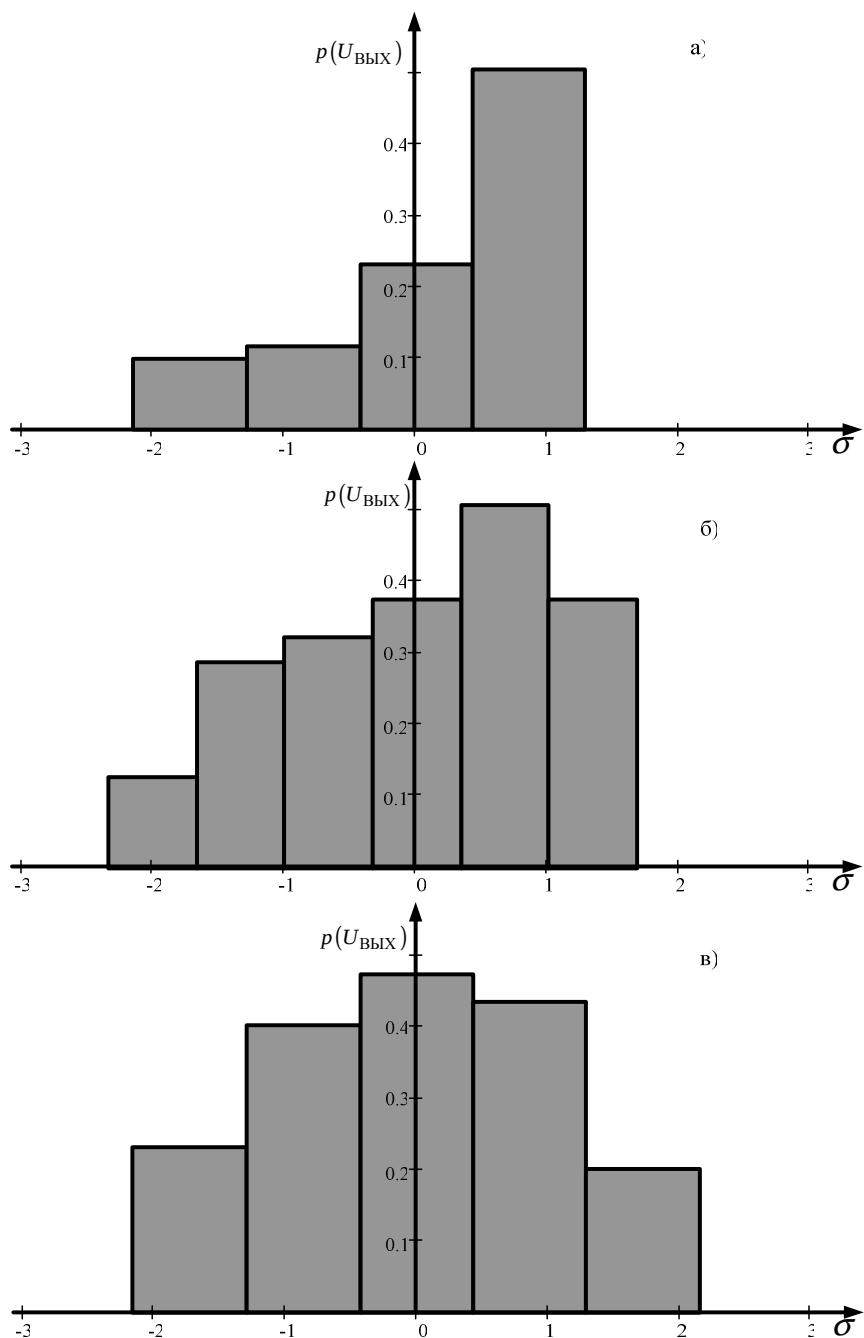


Рисунок 2 – Гистограммы распределения выходного сигнала дискретных фазовращателей:
а) при $N=2$, б) при $N=3$, в) при $N=4$

Бibliографический список

1. Широков И.Б. Принципы реализации и область применения гомодинных методов измерений / И.Б. Широков, Д.В. Синицын, О.В. Шабалина // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (КрыМиКо'2004): матер. 14-ой междунар. Крымской конф., Севастополь, 13-17 сент. 2004 г. — Севастополь: Вебер, 2004. — С. 635–637.
2. Широков И.Б. Выбор разрядности дискретного фазовращателя в задачах исследования характеристик канала связи гомодинными методами / И.Б. Широков, С.Н. Поливкин // Радиотехника: Всеукр. міжвед. науч.-техн. сб. — Харьков, 2004. — Вып. 137. — С. 36–43.
3. Гимпилевич Ю.Б. Влияние нелинейности измерения фазового сдвига зондирующего сигнала на погрешность гомодинного преобразователя частоты / Гимпилевич Ю.Б., Широков И.Б. // Изв. ВУЗов. Сер. Радиоелектроніка. — 2006. — Т. 49. — № 12. — С. 20–28.

Поступила в редакцию 07.10.2009 г.