

**МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАЗЫ ВЫХОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ЦИФРОВЫХ ФОРМИРОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТ И СИГНАЛОВ С МНОГОУРОВНЕВЫМ КВАНТОВАНИЕМ**

Станков В.С., Брагина Я.А.

ФГУП «НПП «Полет»

Развитие методов цифровой обработки сигналов и широкое применение новых микроэлектронных технологий привели к появлению и интенсивному совершенствованию цифровых формирователей частот и сигналов с многоуровневым квантованием, которые в отечественной литературе получили название цифровых вычислительных синтезаторов (ЦВС) [1]. ЦВС свойственны высокая надежность, устойчивость к воздействию дестабилизирующих факторов, возможность полной микроминитюаризации, программируемость параметров. При этом уменьшение шага частот и повышение точности формирования обеспечиваются увеличением разрядности вычислительных узлов и могут составлять доли герца и процента соответственно. Время переключения в таких синтезаторах обычно составляет несколько периодов частоты, используемой для тактирования [1,2].

Обобщенная структура ЦВС приведена на рис. 1 и включает в себя:

ЦН – цифровой накопитель фазы емкостью R;

ФП – функциональный преобразователь, имеющий  $N_B$  уровней квантования по фазе;

ЦАП – цифроаналоговый преобразователь с числом  $N_A$  уровней квантования по амплитуде;

ФНЧ – фильтр нижних частот.

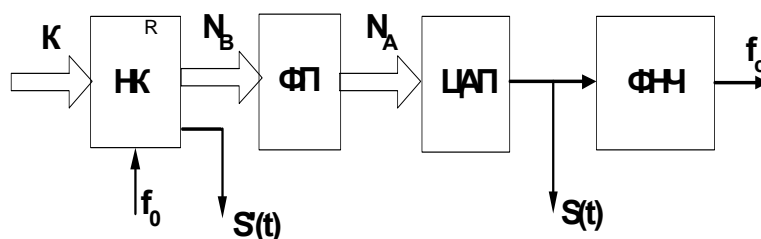


Рис. 1. обобщенная структура ЦВС.

Схема рис.1 способна синтезировать как двухуровневый сигнал  $S(t)$ , снимаемый с выхода переполнения ЦН и имеющий частоту  $f_c = Kf_0/2R$ , где  $K$  – код синтезируемой частоты  $f_c$ ,  $f_0$  – частота опорного сигнала, так и многоуровневый сигнал  $S(t)$ , снимаемый с выхода ЦАП.

В последнем случае ФП формирует последовательность цифровых отсчетов квазисинусоиды или квазитреугольника, которые посредством ЦАП преобразуются в аналоговый сигнал  $S(t)$ , сглаживаемый схемой ФНЧ и образующий выходной синусоидальный сигнал частоты  $f_c$ .

При использовании ЦВС в гетеродинах радиоприемных и в возбуждителях частоты радиопередающих устройств для оценки влияния формируемых ЦВС колебаниях на качество работы приемопередающей аппаратуры средств связи оперирует амплитудным спектром  $S(\omega)$ . Результаты исследований амплитудных спектров выходных колебаний ЦВС по уровню побочных спектральных составляющих (ППС) достаточно подробно изложены в литературе [2,3,4].

Однако, для оценки влияния помех, создаваемых ЦВС на качество работы ряда радиотехнических систем, таких как, например, системы навигации и опознавания (СНО), удобнее, как показано [5], пользоваться такими параметрами, как паразитное отклонение фазы (ПОФ) и амплитуда паразитного отклонения фазы (АПОФ) формируемого ЦВС колебания.

Расчету данных параметров ЦВС и тесно связанной с ними долговременной стабильности фазы выходных колебаний ЦВС и посвящен настоящий доклад.

Для разработки математической модели и методов автоматизированного расчета АПОФ и долговременной стабильности фазы формируемых ЦВС колебаний авторы предложили воспользоваться методом векторных диаграмм [6]. В [5] показано, что количество ППС в выходном сигнале ЦВС не влияет на величину АПОФ, а поэтому для разработки методов расчета АПОФ, достаточно рассмотреть векторную диаграмму ЦВС, например, для 4-х ППС. Данная векторная диаграмма приведена на рис.2. Амплитуда основного (полезного) сигнала обозначена на рисунке вектором  $A_0$ , а амплитуда ППС  $A_{\pm i}(i=1,2)$ . При этом ППС, имеющее отстройку вниз по шкале частот от полезного сигнала  $\omega_c$  показаны на рисунке 2 в виде векторов с амплитудами  $A_1$  и  $A_2$ , вращающимися по часовой стрелки, а ППС с отстройкой вверх от  $\omega_c$  векторами  $A_1$  и  $A_2$ , вращающимися против часовой стрелки. Скорости вращения векторов  $A_1, A_1$  и  $A_2, A_2$  определяются их частотой и равны соответственно для векторов  $A_1, A_1 - \omega_n$ , а для векторов  $A_2, A_2 - 2\omega_n$ . Так как амплитудный и фазовый спектры не симметричны относительно полезной синтезируемой частоты  $\omega_c$  суммарный (результатирующий) вектор  $A_\Sigma$  будет совершать качание относительно вектора полезного колебания  $A_0$ . Качание результирующего вектора  $A_\Sigma$  и является причиной возникновения паразитной фазовой модуляции (ПФМ) в выходном сигнале ЦВС. Отметим, что при большем числе ППС характер

качания вектора результирующего колебания  $A_{\Sigma}$  будет более сложным, но величина ПФМ при этом как показано в [5] не будет возрастать.

Согласно определению, данного в [7], под ПОФ следует понимать среднее квадратичное значение суммы спектральных составляющих паразитного отклонения фазы  $\Delta\varphi(F_n, F_{\nu}) = \varphi_0(F_n, F_{\nu}) - \varphi_{\Sigma}(F_n, F_{\nu})$ , лежащих в полосе частот  $F_n, F_{\nu}$ , где  $F_n$  – нижняя, а  $F_{\nu}$  – верхняя частоты синтезируемые ЦВС;  $\varphi_0$  и  $\varphi_{\Sigma}$  – фазовые сдвиги колебаний  $A_0$  и  $A_{\Sigma}$ . Под АПОФ понимается  $\varphi_{\max}(F_n, F_{\nu})$ .

Для определения АПОФ воспользуемся рис.2 согласно которого  $\varphi_{\max}$  представляет собой максимальный сдвиг фазы  $\varphi_{\Sigma}$  результирующего колебания  $A_{\Sigma}$  относительно фазы  $\varphi_0$  полезного колебания:

$$\varphi_{\max} = \varphi_0 - \varphi_{\Sigma}. \quad (1)$$

Рассмотрим методику расчета  $\varphi_{\max}$ .

Пользуясь формулами, полученными в [3,4] можно получить массивы комплексных амплитуд как основной частоты так и побочных спектральных составляющих, а уровни побочных составляющих определить по формуле

$$|A_j| = \sqrt{(\operatorname{Re} A_j)^2 + (\operatorname{Im} A_j)^2}, \quad (2)$$

где  $\operatorname{Re} A_j$  – проекция вектора  $A_j$  на действительную ось  $X$ , а  $\operatorname{Im} A_j$  – проекция вектора  $A_j$  на мнимую ось  $Y$  диаграммы рис.2. Соответственно фазовый сдвиг определяется следующим образом

$$\varphi_j = \operatorname{arctg}(\operatorname{Im} A_j / \operatorname{Re} A_j). \quad (3)$$

Тогда согласно формуле (1) получаем

$$\varphi_{\max} = \operatorname{arctg}(\operatorname{Im} A_0 / \operatorname{Re} A_0) - \operatorname{arctg}(\operatorname{Im} A_{\Sigma} / \operatorname{Re} A_{\Sigma}), \quad (4)$$

где координаты вектора  $A_{\Sigma}$

$$\operatorname{Re} A_{\Sigma} = \sum_j \operatorname{Re} A_j; \operatorname{Im} A_{\Sigma} = \sum_j \operatorname{Im} A_j, \quad (5)$$

Отметим, что суммирование осуществляется по всем индексам побочных составляющих.

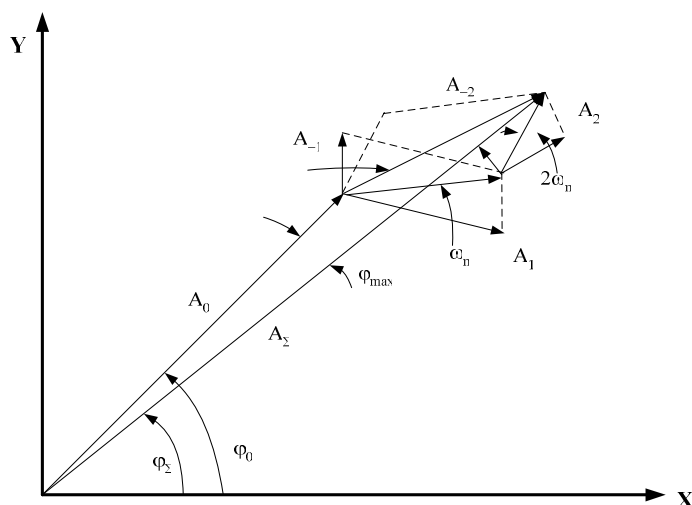


Рис. 2. Векторная диаграмма выходного колебания ЦВС

Полученные соотношения (1-5) были использованы для расчета АПОФ в полосе частот на персональной ЭВМ. В целях удобства пользования результатами расчета фазовый сдвиг округлялся до ближайшего большего числа, являющегося степенью числа 2

Основные результаты расчетов сводятся к следующему:

- между амплитудными и фазовыми спектрами выходных колебаний ЦВС существует тесная связь;
- наихудшее значение АПОФ имеет двухуровневое колебание (ЦВС двухуровневых сигналов), а наилучшее – с многоуровневым квантованием (ЦВС многоуровневых сигналов).
- ЦВС многоуровневого сигнала при числе квантования по фазе ( $N_{\varphi}$ ) и амплитуде равным  $N_{\varphi} = N_A \geq 1024$  удовлетворяют, согласно [8] требованиям АПОФ для радиотехнических систем навигации и опознавания.

#### Литература

1. Кочемасов К.Н., Фадеев А.Н., Раков И.А. Цифровые вычислительные синтезаторы частот и сигналов. МЭИ сб. научных трудов №200, Москва 1989г. с. 122...137.

2. Богатырев Ю.К., Станков В.С. Вариационные методы построения высокоэффективных систем вычислительного синтеза частот. ISSN 0021-3470, Радиоэлектроника 2002, №4, стр. 18-24.
3. Ямпурин Н.П., Станков В.С. Расчет спектральных характеристик и проектирование быстродействующих цифровых вычислительных синтезаторов частот. // Серия «Высокие технологии в радиоэлектронике, информатике и связи». // Вестник ВВО АТН РФ, Н. Новгород. – 1999.-Вып.1 (6). – с. 88-93.
4. Шишов С.Я., Ямпурин Н.П. Исследование спектральных характеристик многоуровневых цифровых вычислительных синтезаторов. // Радиотехника. – 1984. - №3. – с. 74-76.
5. Доленчук В.М. К вопросу о допустимой нестабильности фазы выходного колебания синтезатора частоты радиоприемника и возбуждителя передатчика. – Техника средств связи. Серия ТРС, вып. 10 (27), 1979, с. 47-51.
6. N.P.Yampurin, V.S.Stankov, E.M.Ashutkin. Investigation of long-term stability of oscillation phase of digital calculating synthesizers. Proceedings 1996. International Symposium, 17-19 September 1996. Moscow, Russia, Acoustoelectronics, Frequency Control Signal Generation, p. 239...243.
7. Шапиро Д.Н., Паин А.А. Основы теории синтеза частот. – М.: Радио и связь, 1981.
8. Лукин В.Н., Мищенко И.Н., Молочко С.В. Основные направления создания интегрированной авиационной бортовой радиоэлектронной аппаратуры систем связи, навигация и опознавания в США.

**METHODS OF RESEARCH OF A PHASE OF OUTPUT OSCILLATIONS OF DIGITAL SHAPERS OF FREQUENCIES AND SIGNALS WITH A MULTILEVEL QUANTIZATION**

Stankov V., Bragina J.

NPP "Polyot"

Development of methods of digital processing of signals and wide application of new microelectronic technologies have resulted in occurrence and intensive perfection of digital shapers of frequencies and signals with multilevel quantization, which in the domestic literature have received the name digital calculating synthesizers (DCS) [1]. DCS are peculiar high reliability, stability to effect of the destabilizing factors, programmability of parameters. Thus reduction of step of a grid of frequencies and increase of accuracy of formation are provided with increase of a digit capacity of calculating units and can make shares of hertz and percent accordingly. The time of switching in such synthesizers usually makes some periods of frequency used for clocking [1,2].

In the literature on digital calculating synthesizers (DCS) of frequencies and signals the results of investigations in the amplitude spectra of DCS oscillations for the level of spurious spectral components are given [3]. Such an information [4,5,6] is very important for the estimation of influence of spurious spectral components on authenticity of transmitted or received data. Using DCS frequencies and signals in integrated communication, steering and recognition systems requires knowing such characteristics as the spurious deviation of phase (SDP) [7]. The paper is devoted to research of long-term stability of a phase of target fluctuations DCS.

With the aid of the principle of vector diagrams a mathematical model was developed for the estimation of the phase modulation of DCS oscillations. The amplitude of the spurious deviation of a phase (ASDP) was selected for using as the main characteristics. The spectral software for determining ASDP in the range of synthesizer frequencies was developed, and computer calculations were made. The software for a finding ASDP in a range of synthesized frequencies is developed. As a result of accounts on IBM was established, that between amplitude and phase spectra of output oscillations DCS there is a close connection, thus the worst value ASDP has two-level oscillation, and best - with a multi-level quantization. The influence of effects of quantization on a phase and amplitude on the phase characteristics of DCS is investigated. The areas of use of the received results are outlined at designing devices the navigation systems.

**The literature**

1. Kochemasov K.N., Fadeev A.N., Rakov I.A. Digital calculating synthesizers of frequencies and signals. MEI p. Scientific works №200, Moscow 1989г. P 122 ... 137.
2. Bogatirev J.K., Stankov V.S. Variational methods of construction of highly effective systems of computing synthesis of frequencies. ISSN 0021-3470, Radioelectronics 2002, №4, page 18-24.
3. Yampurin N.P., Stankov V.S. Account of the spectral characteristics and designing high-speed digital calculating synthesizers of frequencies. // A series "High technology in radioelectronics, computer science and communication(connection)". // The bulletin BVO ATH Russian Federation, H. Novgorod. – 1999 №1- with. 88-93.
4. Shishov S.J., Yampurin N.P. Research of the spectral characteristics multilevel digital computing synthesizers. // a radio Engineering. - 1984. - №3. - with. 74-76.
5. Dolenchuk V.M. To a question on allowable instability of a phase of target fluctuation синтезатора of frequency of the radio receiver and activator of the transmitter. - Engineering of a communication facility. A series ТРС, вып. 10 (27), 1979, with. 47-51.
6. N.P.Yampurin, V.S.Stankov, E.M.Ashutkin. Investigation of long-term stability of oscillation phase of digital calculating synthesizers. Proceedings 1996. International Symposium, 17-19 September 1996. Moscow, Russia, Acoustoelectronics, Frequency Control Signal Generation, p. 239... 243.
7. Shapiro D.N., Pain A.A.. Bases of the theory of synthesis of frequencies. - М.: radio and communication(connection), 1981.

