

УДК 681.2:621.3.072:621.317.725

В.В. Мошаренков

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОЕННЫХ ЭТАЛОНОВ ФАЗОВЫХ СДВИГОВ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ УКРАИНЫ

*Предложена более совершенная базовая схема военных эталонов (исходного и рабочих) фазовых сдвигов на основе цифрового двухфазного генератора с цифроаналоговым синтезом сигналов по методу кусочно-ступенчатой аппроксимации.*

**Ключевые слова:** военные эталоны (исходный и рабочие) фазовых сдвигов (ВЭФС), кусочно-ступенчатый сигнал, цифроаналоговый преобразователь, двухфазный генератор.

### Введение

**Постановка задачи.** В настоящее время Украина не имеет государственного (первичного) эталона единицы фазовых сдвигов. Поэтому достаточно важным является обеспечение единства измерений фазовых сдвигов в Вооруженных Силах Украины (ВСУ) с помощью военных эталонов (исходного и рабочих) фазовых сдвигов (ВЭФС). В качестве исходного ВЭФС ВСУ разработан и эксплуатируется эталон ИЭ ВСУ 09-00-02-09, а в качестве рабочих ВЭФС предлагается использовать калибратор фазы Ф1-4 и электродинамический фазометр Д 5000. Исходный эталон выполнен по классической морально устаревшей схеме аналогового двухфазного генератора. То же самое можно сказать и о калибраторе фазы Ф1-4, а фазометр Д 5000 является стрелочным прибором со всеми их недостатками. Выше сказанное делает актуальной задачу совершенствования ВЭФС ВСУ с учетом современных достижений цифровой измерительной техники в области генерации сигналов и микросхемотехники, обеспечивающей повышенные точность и надежность изготовления.

**Анализ литературы.** Современные двухфазные генераторы, выпускаемые отечественной промышленностью, являются аналоговыми и предназначены для формирования только синусоидальных сигналов. Это является существенным ограничением для их практического применения в измерительной технике. Кроме того, поскольку они выполняются на аналоговых однофазных генераторах синусоидальных сигналов, то, естественно, обладают теми же недостатками: невысокой точностью и стабильностью параметров синусоидальных сигналов, ограниченным нижним пределом по частоте, низким быстродействием (из-за длительных переходных процессов при перестройке), ручным управлением, отсутствием стандартного приборного интерфейса для использования в измерительных системах, сложной аппаратурной реализацией, низкой технологичностью изготовления и т.д. [1 – 4].

Устранение или уменьшение указанных недостатков возможно на использовании принципиально нового направления в области генерации сигналов, уже давно применяемого в отечественном приборостроении – в однофазных генераторах синусоидальных сигналов вида ГЗ..., а в зарубежном приборостроении – и в многофазных генераторах сигналов [5]. Это направление состоит в применении цифроаналогового синтеза сигналов на основе кусочно-ступенчатой аппроксимации формируемых сигналов произвольной формы [5, 6].

**Цель статьи.** В настоящей статье предлагается принцип построения ВЭФС ВСУ на основе цифрового двухфазного генератора периодических сигналов произвольной формы с их цифроаналоговым синтезом.

### Основной материал

Базовая структурная схема ВЭФС ВСУ приведена на рис. 1. На ней изображены: генератор импульсов (ГИ), делитель частоты (ДЧ) с переменным коэффициентом деления, реверсивные счетчики (РС1 и РС2), задатчик фазы (ЗФ), постоянные запоминающие устройства (ПЗУ1 и ПЗУ2), цифроаналоговые преобразователи (ЦАП1 и ЦАП2), выходные устройства (ВУ1 и ВУ2), блок управления (БУ).

ГИ представляет собой высокочастотный кварцевый генератор, ДЧ служит для задания частоты выходных сигналов и имеет переменный коэффициент деления, устанавливаемый декадными переключателями в БУ. РС1 и РС2 имеют автоматический реверс режима работы (суммирование или вычитание), который осуществляется при двух состояниях счетчиков – нулевом и  $n/2$ , где  $n$  – число участков аппроксимации (ступенек) на период формируемого сигнала.

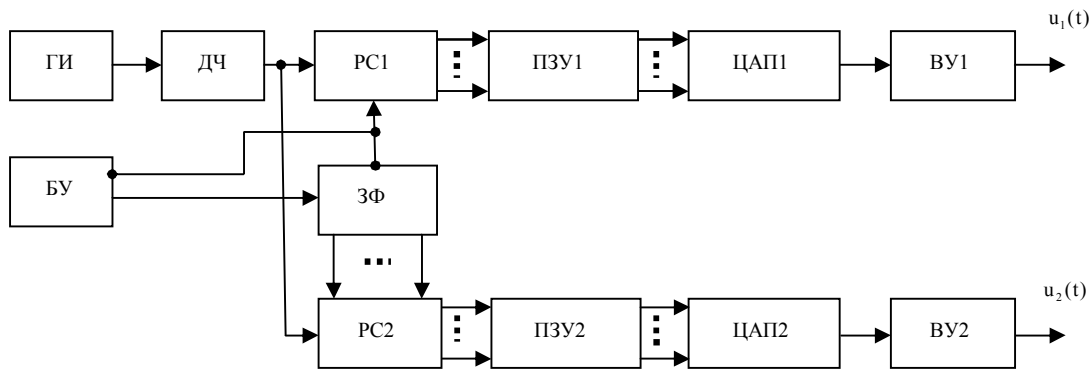


Рис. 1. Базовая структурная схема ВЭФС

ЗФ представляет группу переключателей для задания фазового сдвига в десятичной системе счисления и преобразователь десятичного кода в двоичный для ввода в РС2. ПЗУ1 и ПЗУ2 служат для хранения кодов мгновенного периодического сигнала

$$f(t_i) \text{ и } f(t_i + t_{\text{ц}}),$$

где  $t_i$  – момент аппроксимации,  $t_{\text{ц}}$  – временной сдвиг формируемых сигналов, определяющих фазовый сдвиг.

Коды мгновенных значений

$$f(t_i) \frac{n!}{r!(n-r)!}$$

рассчитываются заранее (при проектировании) и записываются в оба ПЗУ по одноименным адресам, их число равно  $n/2$ , причем  $n/4$  кодов соответствуют четверти периода от  $-p/4$  до  $0$ , а зеркально отраженные  $n/4$  кодов – четверти периода от  $0$  до  $+p/4$ . ЦАП являются биполярными, линейными, с встроенными источниками опорного напряжения и могут быть выполнены на серийных отечественных или зарубежных микросхемах.

Выходные устройства ВУ1 и ВУ2 являются классическими для генераторов сигналов и представляют собой усилители мощности с аттенюаторами.

Двухфазный генератор работает следующим образом. Частота его выходных сигналов устанавливается непосредственно делителем частоты ДЧ, а фазовый сдвиг  $\psi$  – с помощью задатчика фазы ЗФ, в который он вводится сигналом с блока управления БУ.

Этот сигнал подается на установочные входы реверсивного счетчика РС1, устанавливая его в нулевое исходное состояние, и задатчика фазы ЗФ, с которого код требуемого значения фазового сдвига  $\psi$  (точнее код  $t_{\text{ц}}$ ) вводится в реверсивный счетчик РС2, устанавливая его в исходное состояние, соот-

ветствующее коду фазового сдвига

$$N_{\text{ц}} = \psi / \Delta\psi,$$

где  $\Delta\psi = 2\pi/n$  – цена одной ступеньки аппроксимации в единицах фазового сдвига.

С поступлением на счетные входы реверсивных счетчиков РС1 и РС2 тактовых импульсов с делителя частоты ДЧ их выходными кодами последовательно изменяются адреса кодов формируемого сигнала  $f(t_i)$  на выходах ПЗУ1 и ПЗУ2, причем коды сигнала на входе ПЗУ2 имеют фазовый сдвиг  $\psi = N_{\text{ц}} \Delta\psi$  по отношению к кодам сигнала на выходе ПЗУ1. Выходные коды ПЗУ1 и ПЗУ2 – соответственно  $f(t_i)$  и  $f(t_i + t_{\text{ц}})$  с помощью ЦАП1 и ЦАП2 преобразуются в пропорциональные напряжения, т.е. формируется один полупериод выходных сигналов  $u_1(t)$  и  $u_2(t)$ . Так продолжается до состояния каждого из счетчиков РС1 и РС2, соответствующего  $n/2$ , при котором производится их автоматический реверс в режим вычитания. Состояние счетчиков начинают последовательно уменьшаться и с выходом ПЗУ на ЦАП выдаются коды сигналов в обратной последовательности, тем самым формируется второй полупериод выходных сигналов. При нулевом состоянии реверсивных счетчиков они автоматически переводятся в режим суммирования и в дальнейшем описанные выше процессы повторяются.

Выходные кусочно-ступенчатые сигналы ЦАП, аппроксимирующие требуемую функцию сигналов, через выходные устройства подаются на выходы двухфазового генератора. Для улучшения формы кривой сигналов между ЦАП и выходными устройствами могут быть установлены низкочастотные фильтры.

## Вывод

Из приведенных принципов построения и работы предлагаемого двухфазного генератора в качестве основы ВЭФС ВСУ следует его положительный

эффект по сравнению с известными аналоговыми генераторами.

Во-первых, это – повышение точности и стабильности задания амплитуды и фазы, что подтверждается следующим. В предлагаемом генераторе отсутствуют множительные блоки суммирования аналоговых сигналов и соответственно погрешности, вносимые этими блоками. Доминирующий вклад вносит блок суммирования, поскольку повышение точности суммирования аналоговых сигналов инфранизкочастотного диапазона частот связано с существенными трудностями. Оценки погрешностей могут быть получены по формулам, приведены в [7]. Расчеты показывают, что при суммарной погрешности этих операций порядка 1% фазовая погрешность составляет примерно 10', а амплитудная погрешность – до 1%, причем эти погрешности являются функцией фазового сдвига.

Во-вторых, нестабильность задания частоты и выходных сигналов определяется нестабильностью кварцевого генератора импульсов, а точность (дискретность) задания частоты – значением его образцовой частоты и разрядностью делителя частоты.

В третьих, значительно уменьшается время переходных процессов при перестройке параметров выходных сигналов, т.е. соответственно увеличивается быстродействие перестройки.

В четвертых – упрощается аппаратная реализация, которая достигается за счет исключения упомянутых выше двух множительных блоков, блока суммирования аналоговых сигналов и шифратора. Кроме того, принципиальными является использование линейных ЦАП, выпускаемых серийно в микросхемном исполнении и весьма точных, вместо функциональных, более сложных в производстве и ограничивающих варьирование числа участков аппроксимации при разработке прибора.

В то же время вновь введенные реверсивный счетчик и два ПЗУ могут быть выполнены на серийных микросхемах, которые не приводят к дополнительным погрешностям.

По приведенной базовой схеме могут быть выполнены как исходный, так и рабочие ВЭФС ВСУ. От этого будут зависеть требования к элементам принципиальной схемы эталона, а следовательно, его метрологическая надежность и стоимость.

## Список литературы

1. Колтик Е.Д. Измерительные двухфазные генераторы переменного тока / Е.Д. Колтик. – М.: Изд-во комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, 1968. – 198 с.
2. Ноткин П.Р. Функциональные генераторы и их применение / П.Р. Ноткин. – М.: Радио и связь, 1983. – 184 с.
3. Кравченко С.А. Калибраторы фазы / С.А. Кравченко. – Л.: Энергоиздат, Ленингр. отд-ние, 1981. – 176 с.
4. Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин / Э.Г. Атамалян. – М.: Дрофа, 2005. – 415 с.
5. Дьяков В.П. Генерация и генераторы сигналов / В.П. Дьяков. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 384 с.
6. Горлач А.А. Цифровая обработка сигналов в измерительной технике / А.А. Горлач, М.Я. Минц, В.Н. Чинков. – К.: Техника, 1985. – 151 с.
7. Галахова О.П. Основы фазометрии / О.П. Галахова, Е.Д. Колтик, С.А. Кравченко; – Л.: Энергия, 1976. – 428 с.

Поступила в редколлегию 30.09.2013

**Рецензент:** канд. техн. наук, ст. научн. сотр. С.В. Герасимов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## ВДОСКОНАЛЕННЯ ВІЙСЬКОВИХ ЕТАЛОНІВ ФАЗОВИХ ЗРУШЕНЬ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

В.В. Мошаренков

*Запропонована досконаліша базова схема військових еталонів (початкового і робітників) фазових зрушень на основі цифрового двофазного генератора з цифроаналоговим синтезом сигналів по методу кусочно-ступінчастого апроксимації.*

**Ключові слова:** військові еталони (початковий і робітники) фазових зрушень (ВЕФС), кусочно-ступінчастий сигнал, цифроаналоговий перетворювач, двофазний генератор.

## PERFECTION OF SOLDIERY STANDARDS OF PHASE CHANGES OF MILITARY POWERS OF UKRAINE

V. V. Mosharenkov

*More perfect base chart of soldiery standards (initial and workers) of phase changes is offered on the basis of digital dysphasic generator with the D/A synthesis of signals on the method of piece-step approximation.*

**Keywords:** soldiery standards (initial and workers) of phase changes (VEFS), piece-step signal, D/A transformer, diphasic generator.