УДК 621.391

А.Л. Недашковский

Государственный университет телекоммуникаций, Киев

ЦИФРОВЫЕ ИТЕРАЦИОННЫЕ СИНХРОННО-ФАЗОВЫЕ ДЕМОДУЛЯТОРЫ

Предлагаются новые структуры синхронно-фазовой демодуляции, построенные по итерационному принципу. Вводятся основные передаточные функции и дается оценка точности в установившихся режимах. Задача повышения точности синхронно-фазовой демодуляции решается путем применения итерационных систем. Показано, что решение задачи повышения точности цифровых синхронно-фазовых демодуляторов может быть получено в классе итерационных систем сравнительно простыми техническими средствами с помощью дополнительных контуров управления. При этом в общем случае таких контуров может быть несколько, а следовательно порядок астатизма может быть повышен на такое же число единиц, если порядок астатизма каждого дополнительного контура равен единице.

Ключевые слова: *синхронно-фазовые демодуляторы, итерационные системы автоматического управления.*

Вступление

Синхронно-фазовые демодуляторы (СФД) находят широкое использование в связи и управлении [1-3].

Следящие измерители параметров сигнала весьма близки к оптимальным устройствам обработки, работающим по принципу максимума апостериорной вероятности, так как схема любого следящего измерителя содержит все элементы, присущие оптимальному приемнику: перемножитель – дискриминатор, интегратор – замкнутая узкополосная система, копия сигнала – сигнал с выхода объекта регулирования с информативным параметром, самоподстраивающийся под точку максимума апостериорной вероятности. В качестве оценки измеряемого параметра может служить значение соответствующего параметра сигнала, снимаемого с объекта регулирования. Впервые на возможность построения автоматического управления указано в [4].

Постановка задачи и ее решение

Решим задачу повышения точности СФД путем применения итерационных систем. Кроме аналогового варианта этих систем, они могут быть выполнены как на элементах цифровой вычислительной техники, так и с применением управляющей микро-ЭВМ.

При построении цифровых и цифро-аналоговых СФД цифровым может быть как основной, так и дополнительный контуры управления (ОКУ и ДКУ).

На рис. 1 приведем структурные схемы двухконтурных итерационных систем. Здесь ЭС1, ЭС2 – элементы сравнения ОКУ и ДКУ соответственно, С– сумматор.

Выражение для сигнала ошибки итерационной системы ФАП в z-изображении имеет вид:

$$\Delta\varphi(z) = \alpha(z) - \beta(z) = W_{\Delta\varphi}(z)\alpha(z)$$

или

$$\Delta\varphi(z) = [C_o + C_1\frac{1-z^{-1}}{T} + C_2\frac{1}{2!}(\frac{1-z^{-1}}{T})^{-2} + ... + C_m\frac{1}{m!}(\frac{1-z^{-1}}{T})^m]\alpha(z), \qquad (1)$$

где:

$$W_{\Delta\varphi}(z) = \Delta\varphi(z)/\alpha(z) = W_{\Delta\varphi_1}(z)W_{\Delta\varphi 2}(z);$$

$$W_{\Delta\varphi_1}(z) = \Delta\varphi_1(z)/\alpha(z) = 1/[1 + D(z)W_1(z)];$$

$$\Delta\varphi_1(z) = \alpha(z) - \beta_1(z);$$

$$\beta_1(z); = \Delta\varphi_2(z)/\Delta\varphi_1(z) = 1/[1 + D_1(z)W_2(z)];$$

$$\Delta\varphi_2(z) = \Delta\varphi_2(z) - \beta_2(z) = W_{\Delta\varphi_2}(z)\Delta\varphi_1(z),$$

а $\alpha(z)$ - изображение задающего воздействия (разности фаз двух сравниваемых напряжений); $\beta_1(z), \beta_2(z)$ - изображения управляемых величин ОКУ и ДКУ соответственно; $\Delta\varphi_1(z), \Delta\varphi_2(z)$ - изображения сигналов ошибок ОКУ и ДКУ соответственно; $\beta(t) = \beta_1(t) + \beta_2(t)$; C_j - *й* – коэффициент ошибки. Поскольку при построении итерационных структур СФД порядок астатизма является суммой порядков астатизмов основного и вспомогательного контуров, и эти контуры имеют порядок астатизма $v_1 = v_2 \geq 1$, то в (1) коэффициенты C_0 и C_1 равны нулю.

В общем случае :

$$\Delta^{\cdot\cdot}(z^{-1}) = W_{\Delta^{\cdot\cdot}_{0}}(z^{-1})^{\nu_1} \cdot W_{\Delta^{\cdot\cdot}_{20}}(z^{-1})(1-z^{-1})^{\nu_2} \sim(z^{-1}) = W_{\Delta^{\cdot\cdot}_{10}}(z^{-1}) W_{\Delta^{\cdot\cdot}_{20}}(z^{-1})(1-z^{-1})^{\nu_1+\nu_2} \sim(z^{-1}), \quad (2)$$

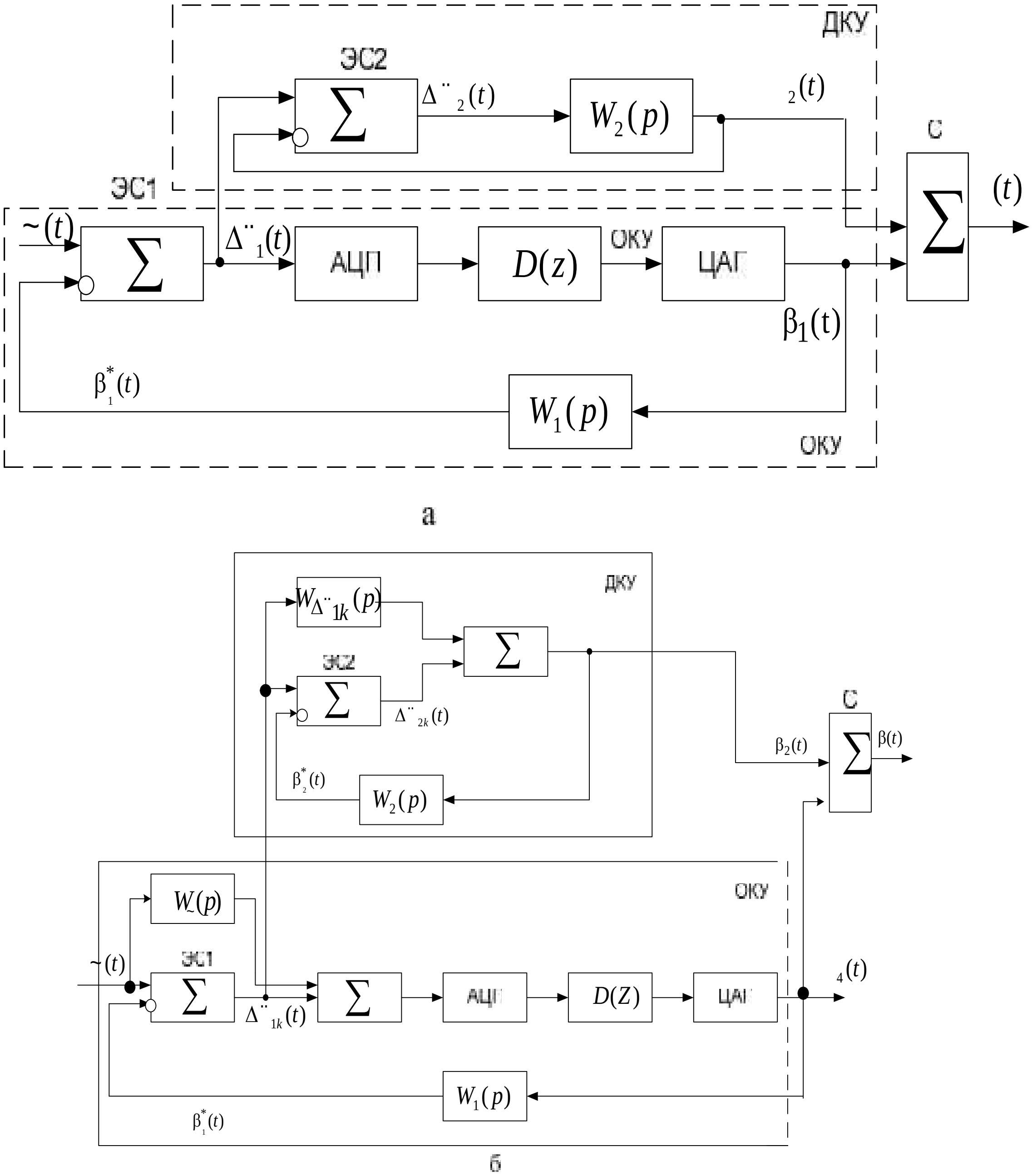

Рис. 1. Структурные схемы итерационных СФД: *а* – с управлением по отклонению; *б* – комбинированные

где $\nu_1 \cdot \nu_2$ - порядок астатизма основного и вспомогательного контуров соответственно.

$$\lim_{z^{-1}\to 1} W_{\Delta\varphi_{10}}(z^{-1}) \neq 0; \quad \lim_{z^{-1}\to 1} W_{\Delta\varphi_{20}}(z^{-1}) \neq 0;$$

$$W_{\Delta\varphi}(z^{-1}) = W_{\Delta\varphi_{10}}(z^{-1})(1-z^{-1}); \quad W_{\Delta\varphi_{20}}(z^{-1})(1-z^{-1}).$$

Как следует из выражения (2) порядок астатизма ν тем больше, чем больше ν_1 и ν_2. Повышение порядка астатизма ν_1 и ν_2 может быть достигнуто введением, как и в случае непрерывных СФД, корректирующих устройств, изодромных звеньев, дополнительных разомкнутых каналов управления (рис.1,б). Операторы разомкнутых компенсационных каналов $W_\alpha(p)$ и $W_{\Delta\varphi_\alpha}(p)$ синтезируются из условия повышения порядка астатизма основного и дополнительного контуров итерационного СФД. В этом случае дискретные передаточные функции основного и дополнительного контуров управления относительно ошибки имеют вид

$$
\left.\begin{aligned}
W_{\Delta\varphi_1}(z) &= \Delta\varphi_1(z)/\alpha(z) = [1 - W_\alpha(z)D(z)W_H(z)]/[1 + D(z)W_H(z)];\\
W_{\Delta\varphi_2}(z) &= \Delta\varphi_2(z)/\Delta\varphi_{1k}(z) = [1 - W_{\Delta\varphi_{1k}}(z)D(z)W_H(z)]/[1 + D(z)W_{H1}(z)];
\end{aligned}\right\}
$$

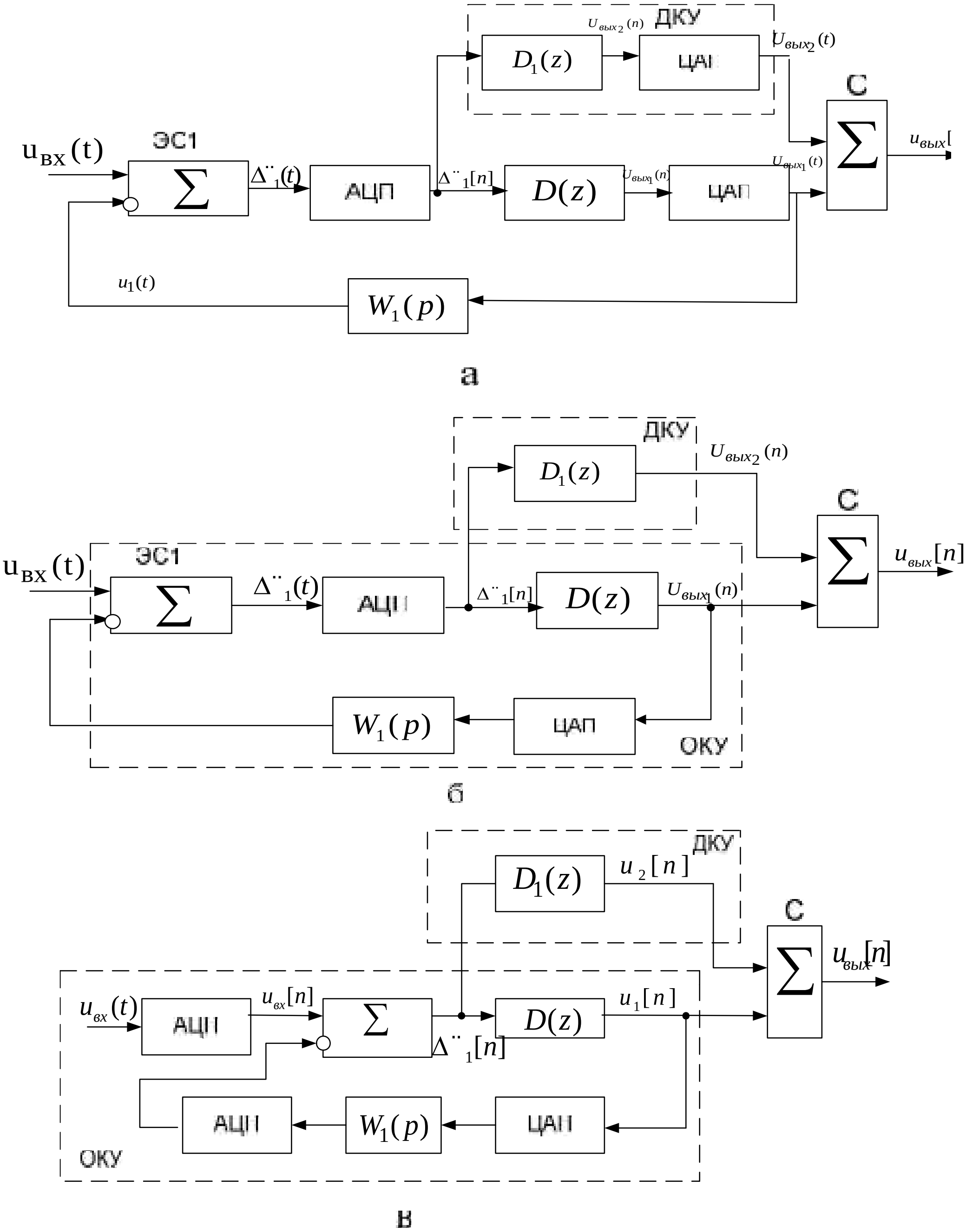

Рис. 2. Структурные схемы цифровых итерационных СФД

где $W_{\alpha}(z), W_{\Delta\varphi_{1k}}(z)$ - дискретные передаточные функции разомкнутых каналов управления основного и дополнительного контуров.

В итерационном СФД (рис. 2, *а*) основной контур выполнен в аналоговом варианте, а ЦВУ с передаточной функцией D(z) выполняется роль последовательного корректирующего устройства, реализованного программно и программно реализуется дискретная передаточная функция ДКУ $W_{\Delta\varphi_2}(z)$, т.е.:

$$D_1(z) = W_{\Delta\varphi_2}(z)$$

В преобразователе ЦАП осуществляется преобразование цифровых величин $U_{вых\,1}[n]$ и $U_{вых\,2}[n]$. Выходной сигнал $U_{вых}(t)$ после сумматора *с* также является аналоговым.

На рис. 2, *б* изображена схема итерационного СФД, у которого сигналы основного и дополнительного контуров поступают на преобразователь в дискретном виде. Разновидностью итерационного СФД с преобразованием дискретных входных сигналов является система (рис. 2, *в*). Особенностью этой системы является то, что входной и выходной сигналы с помощью аналого-цифровых преобразователей преобразуется в цифровой код.

На рис. 3 изображена итерационная СФД с двумя дополнительными контурами управления.

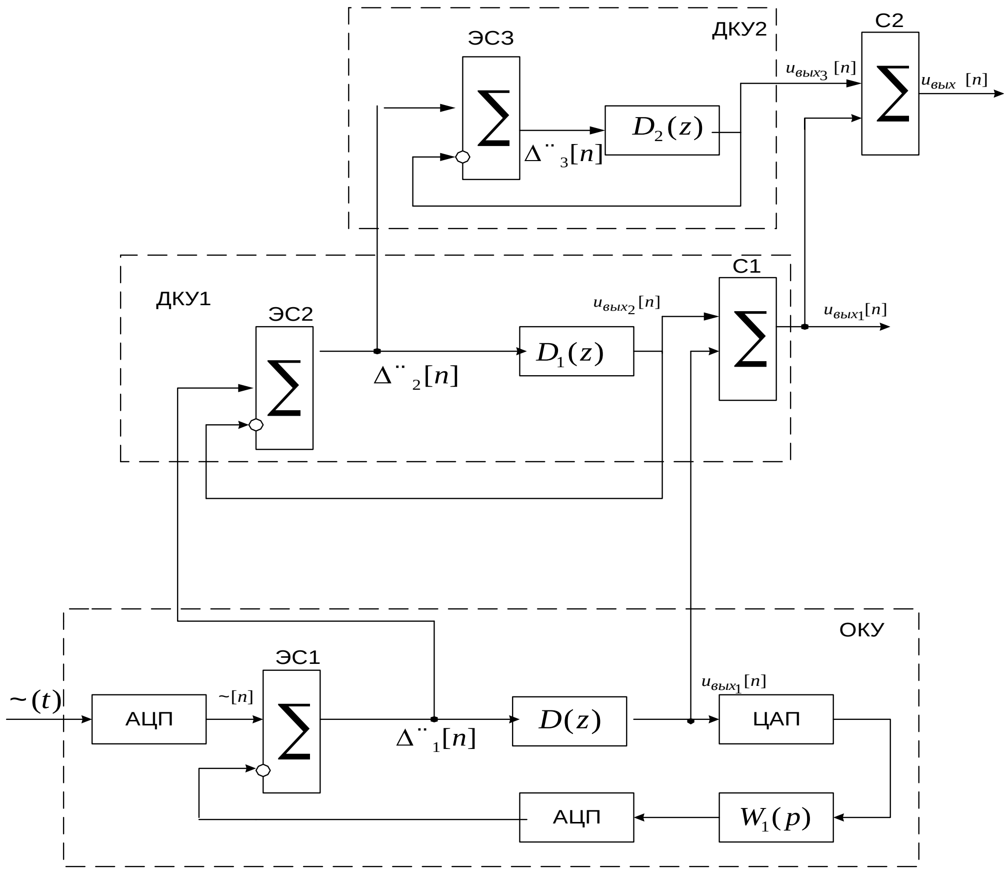

Рис. 3. Структурная схема СФД $\alpha[n]$ с двумя дополнительными каналами

Выводы

В общем случае таких контуров может быть *к*, а следовательно порядок астатизма может быть повышен на *к* единиц, если порядок астатизма каждого дополнительного контура равен единице.

Таким образом, решение задачи повышения точности цифровых синхронно – фазовых демодуляторов может быть получено в классе итерационных систем сравнительно простыми техническими средствами с помощью дополнительных контуров управлении.

Список литературы

1. *Фомин А.Ф. Аналоговые и цифровые синхронно-фазовые измерители и демодуляторы / А.Ф. Фомин, А.И. Хорошавин, О.И. Шелухин; Под. ред. А.Ф. Фомина – М.: Радио и связь, 1987. – 248 с.*
2. *Стеклов В.К. Системы фазовой автоподстройки с дифференциальными связями / В.К. Стеклов, С.Н. Скляренко, Б.Я. Костик – К.: Техника, 2003. – 328 с.*
3. *Зайцев Г.Ф. Теорія автоматичного управління – Г.Ф. Зайцев, В.К. Стеклов.,О.І. Бріцький – К.: Техніка, 2002. – 628 с.*
4. *Осмоловский П.Ф. Итерационные многоканальные системы автоматического управления – П.Ф. Осмоловский. – К.: Сов. радио, 1969. – 256 с.*
5. *Стеклов В.К. Системи фазового автопідстроювання та системи синхронно-фазової демодуляції / В.К. Стеклов, І.С. Щербина – К.: Техніка, 2006. – 288 с.*
6. *Стеклов В.К. Итерационные системы фазовой автоподстройки / В.К. Стеклов, В.В. Коробко – К.: Техніка, 2004. – 328 с.*

Надійшла до редколегії 12.0910.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.Я. Костик, директор филиала «Дирекция первичной сети» ЧАО «Укртелеком», Киев.

ЦИФРОВІ ІТЕРАЦІЙНІ СИНХРОННО-ФАЗОВІ ДЕМОДУЛЯТОРИ

О.Л. Недашківський

Пропонуються нові структури синхронно-фазової демодуляції, побудовані за ітераційним принципом. Уводяться основні передаточні функції і надається оцінка точності в усталих режимах. Завдання підвищення точності синхронно-фазової демодуляції вирішується шляхом застосування ітераційних систем. Показано, що рішення задачі підвищення точності цифрових синхронно-фазових демодуляторів може бути отримано в класі ітераційних систем порівняно простими технічними засобами за допомогою додаткових контурів управлінні. При цьому в загальному випадку таких контурів може бути декілька, а отже порядок астатизму може бути підвищений на таке ж число одиниць, якщо порядок астатизму кожного додаткового контура дорівнює одиниці.

Ключові слова: *синхронно-фазові демодулятори, ітераційні системи автоматичного управління.*

DIGITAL ITERATION SYNCHRONOUSLY-PHASE DEMODULATORS

O.L. Nedashkivskyi

The new structures of synchronously-phase demodulation, built on iteration principle, are offered. Basic transmission functions are entered and the estimation of accuracy is given in the set modes. The task of increase of exactness of synchronously-phase demodulation decides by application of the iteration systems. It is shown that the decision of task of increase of exactness of digital synchronously-phase demodulators can be got in the class of the iteration systems comparatively by simple technical equipments by means of additional contours management. Thus in general case of such contours can be a few, and consequently the order of astatism can be enhanceable on the same number of units, if the order of astatism of every additional contour is equal to unit.

Keywords: *synchronously-phase demodulators, iteration systems of automatic control.*