

# КОМБИНИРОВАННЫЕ ИТЕРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ

Стеклов В.К., Коробко В.В., Охрущак Д.В.

Государственный университет информационно-коммуникационных  
технологий, г. Киев  
E-mail: [info@uniis.kiev.ua](mailto:info@uniis.kiev.ua)

*Abstract. Steklov V., Korobko V., Ohrushak D. Combined iterative systems of phase selftuning. Structures of iterative systems of phase autofine tuning are offered at presence disconnect channels of management on specifying influence. The technique of synthesis disconnect the channel of management from a condition of increase of the order astatism is offered.*

Одной из основных проблем теории систем фазовой автоподстройки является проблема повышения их точности в установившихся режимах. Наиболее перспективными в этом отношении являются классы итерационных и комбинированных систем ФАП, т.е. систем в которых одновременно реализованы принципы управления по отклонению и по задающему (возбуждающему) воздействию [1-3]. Большие возможности повышения точности воспроизведения в этих системах объясняются отсутствием противоречия между условиями инвариантности и устойчивости.

В настоящей работе **решается задача** повышения точности систем ФАП в классе итерационных систем, в соответствии с третьей формой условий инвариантности [3,4].

Особенность систем ФАП состоит в том, что основным фактором, вызывающим значительные отклонения управляемой величины от требуемого значения, является изменение задающего воздействия. Ошибка воспроизведения в системах ФАП зависит от характера изменения этого воздействия. Например, в астатической системе ФАП с астатизмом первого порядка ошибка по положению равна нулю. Однако, если задающее воздействие начинает изменяться с определенной скоростью, то появляется скоростная ошибка, зависящая от величины этой скорости. При появлении ускорения в задающем воздействии ошибка системы ФАП с течением времени растет до бесконечности. Если в системе достигнута ин-

вариантность ошибки относительно задающего воздействия, то составляющая ошибки, связанная с изменением задающего воздействия, как в установившемся, так и в переходном режимах равна нулю. Ошибка системы не зависит от изменения этого воздействия.

Условия инвариантности применительно к системам ФАП, описываемым уравнением движения для фазовой ошибки

$$F(p)\Delta(t) = M(p)\alpha(t), \quad (1)$$

где  $\alpha(t)$  — задающее воздействие (разность фаз двух сравниваемых по фазе напряжений одинаковой частоты);  $\Delta\varphi(t)$  — фазовая ошибка, следующие.

Первая форма условий инвариантности записывается так:

$$M(p) \neq 0; \alpha(t) = 0.$$

Отсюда видно, что для получения нулевой ошибки системы ФАП на нее не должно действовать задающее воздействие и поэтому она не имеет практического значения.

Вторая форма условий инвариантности

$$\frac{M(p)}{F(p)} = 0; \alpha(t) \neq 0. \quad (2)$$

Эта форма имеет две разновидности:

$$\frac{1}{F(p)} \rightarrow 0 \text{ — форма } 2a; \quad M(p) = 0 \text{ — форма } 2б.$$

Форма *2a* является условием не абсолютной инвариантности, а форма *2б* — абсолютной инвариантности. Последняя содержит условия инвариантности установившейся и переходной составляющих фазовой ошибки. В следящей системе ФАП, удовлетворяющей форме *2б* условий инвариантности, ошибка воспроизведения абсолютно инвариантна относительно недетерминированного задающего воздействия. Поэтому форма *2б* условий инвариантности является более общей по сравнению с формой *2a* и другими формами инвариантности.

Третья форма условий инвариантности записывается следующим образом:

$$M \neq 0; \alpha(t) \neq 0, \text{ но } \frac{M(p)}{F(p)}\alpha(t) = 0. \quad (3)$$

Эта форма дает способы устранения установившейся ошибки при детерминированном задающем воздействии.

Четвертая форма условий инвариантности. В соответствии с четвертой формой, кроме задающего воздействия, к системе необходимо приложить специальное воздействие  $\alpha_1(t)$

$$F(p)\Delta(t) = M(p)\alpha(t) - M_1(p)\alpha_1(t).$$

Условие инвариантности в этом случае имеет вид

$$M(p)\alpha(t) - M_1(p)\alpha_1(t) = 0. \quad (4)$$

Четвертая форма условий инвариантности показывает пути достижения инвариантности в нелинейных системах ФАП.

Структурная схема исходной двухконтурной итерационной системы ФАП изображена на рис.1. Здесь ЭС1, ЭС2 — элементы сравнения, С — сумматор,  $W_{p1}(p)$ ,  $W_{p2}(p)$  — общие операторы функционально необходимых элементов основного и дополнительного контуров управления, каждый из которых включает фильтр нижних частот, усилитель, интегратор и фазовращатель;  $\alpha(t)$ ,  $\beta_1(t)$ ,  $\beta_2(t)$ ,  $\Delta\varphi_1(t)$ ,  $\Delta\varphi_2(t)$  — задающее воздействие, управляемые величины основного и дополнительного контуров управления (разность фаз входных и выходных напряжений соответствующих фазовращателей), ошибка основного и дополнительного контуров управления соответственно.

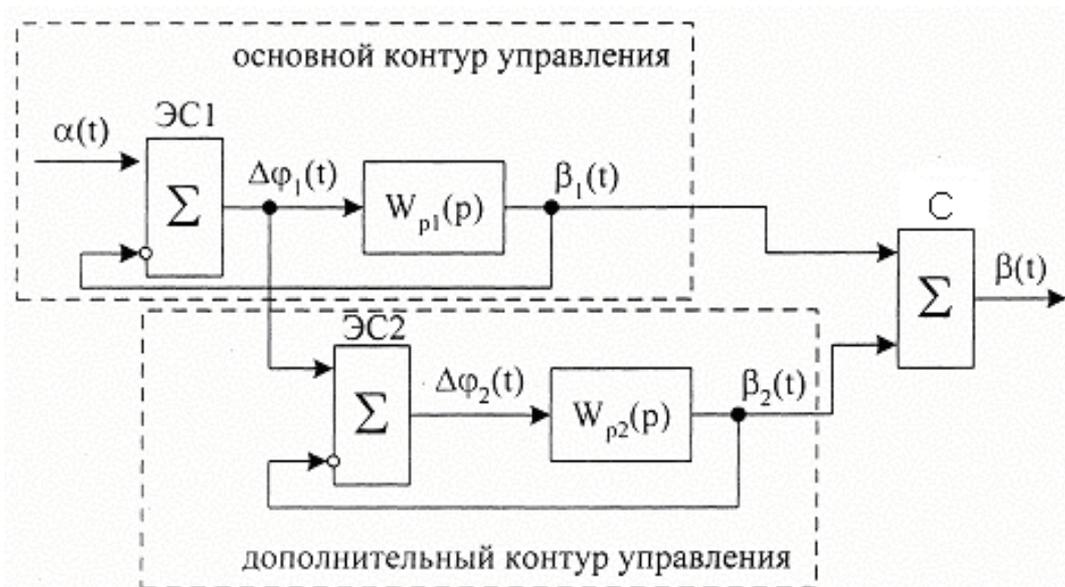


Рисунок 1 — Структурная схема двухконтурной итерационной системы ФАП с принципом управления по отклонению

Каждый из контуров управления (основной и дополнительный) итерационной системы ФАП (рис.1) представляет собой систему с управлением по от-

клонению. Повышение точности каждого из контуров возможно при условии соблюдения компромиссной настройки [3]. Поэтому возможно решить улучшение показателей качества с помощью разомкнутых компенсационных каналов в классе комбинированных итерационных систем ФАП.

Структурная схема комбинированной двухконтурной итерационной системы ФАП изображена на рис.2. Операторы разомкнутых компенсационных каналов управления определяются как  $W_{ky1}(p)$  и  $W_{ky2}(p)$ .

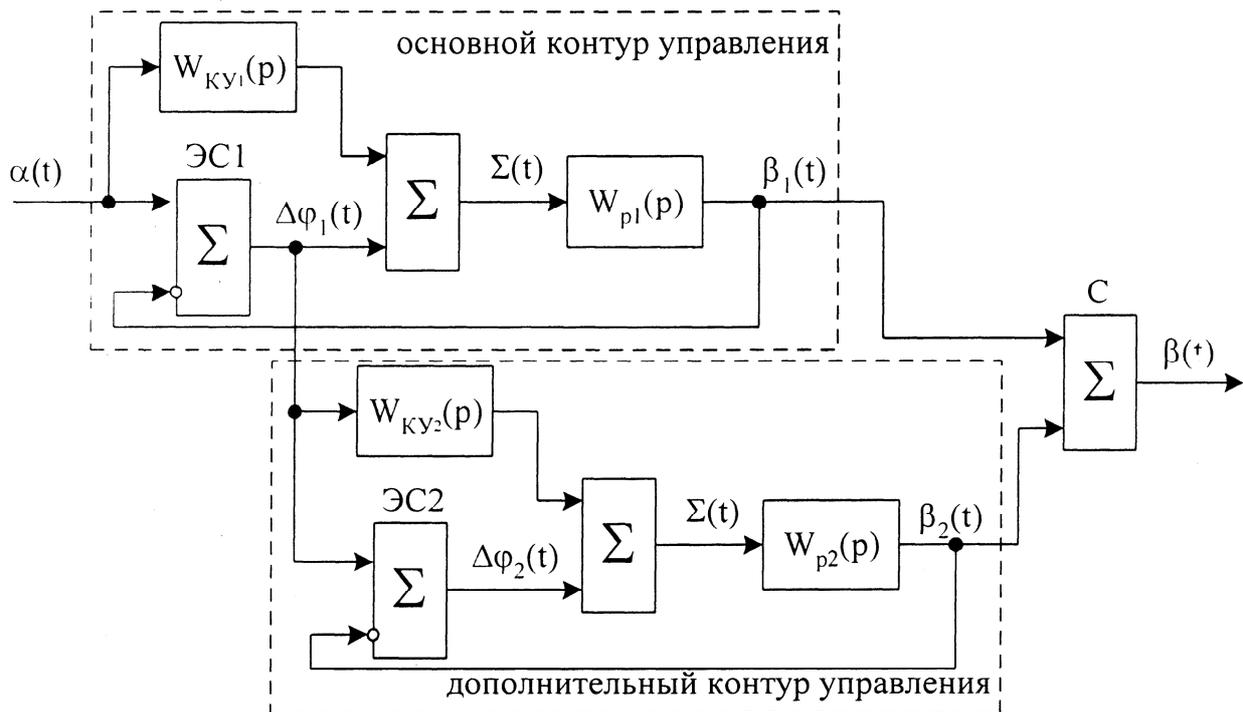


Рисунок 2 — Структурная схема двухконтурной комбинированной итерационной системы ФАП

Запишем уравнения элементов основного контура итерационной системы ФАП (рис.2)

$$\left. \begin{aligned} \Delta\varphi_1(t) &= \alpha(t) - \beta_1(t); \\ \beta_1(t) &= W_{p1}(p)\Sigma_1(t); \\ \Sigma_1(t) &= \Delta\varphi_1(t) + W_{ky1}(p)\alpha(t). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Из уравнений (5) определяем уравнение динамики основного контура итерационной системы ФАП относительно ошибки

$$[I + W_{p1}(p)] \Delta\varphi_1(t) = [I - W_{ky1}(p)W_{p1}(p)] \alpha(t). \quad (6)$$

Из уравнения (6) определяем оператор основного контура относительно ошибки

$$W_{\phi 1k}(p) = \frac{1 - W_{ky1}(p)W_{p1}(p)}{1 + W_{p1}(p)},$$

где  $W_{ky1}(p)$  — оператор разомкнутой компенсационной связи по задающему воздействию.

Оператор  $W_{ky1}(p)$  разомкнутой связи по задающему воздействию может быть синтезирован из условия повышения порядка астатизма основного контура известными методами: уменьшения интегральной квадратичной ошибки, минимизации среднеквадратичной ошибки. Учитывая, что повышение точности в классе итерационных систем решается для установившихся режимов, приведем алгоритм синтеза  $W_{ky1}(p)$  из условия повышения порядка астатизма основного контура.

Схема алгоритма расчета на ЭВМ основного контура в классе комбинированных итерационных систем ФАП из условия повышения порядка астатизма изображена на рис.3.

Порядок расчета следующий.

1. Определяют порядок астатизма  $\nu_1$  основного контура итерационной системы ФАП без связи по задающему воздействию [т. е. при  $W_{ky1}(p)=0$ ].

2. В зависимости от характера изменения задающего воздействия  $\alpha(t)$  и предъявляемой к основному контуру ФАП точности в установившемся режиме определяют требуемый порядок астатизма  $\nu_T$  и на сколько порядков необходимо повысить порядок астатизма  $\nu_1$ , т. е.  $\Delta\nu = \nu_T - \nu_1$

3. Находят корни характеристического уравнения основного контура итерационной системы ФАП и в зависимости от этого формируют корни уравнения  $F_{ky1}(p)=0$ , так как эти корни должны быть по абсолютной величине (или их вещественные части) больше, чем наибольший корень характеристического уравнения основного контура.

4. Определяют параметры числителя  $D_{ky1}(p)$  оператора  $W_{ky1}(p) = D_{ky1}(p)/F_{ky1}(p)$ .

Методика синтеза оператора  $W_{ky1}(p)$  из условия повышения порядка астатизма основного контура итерационной системы ФАП аналогична методике синтеза комбинированных САУ [3,4].

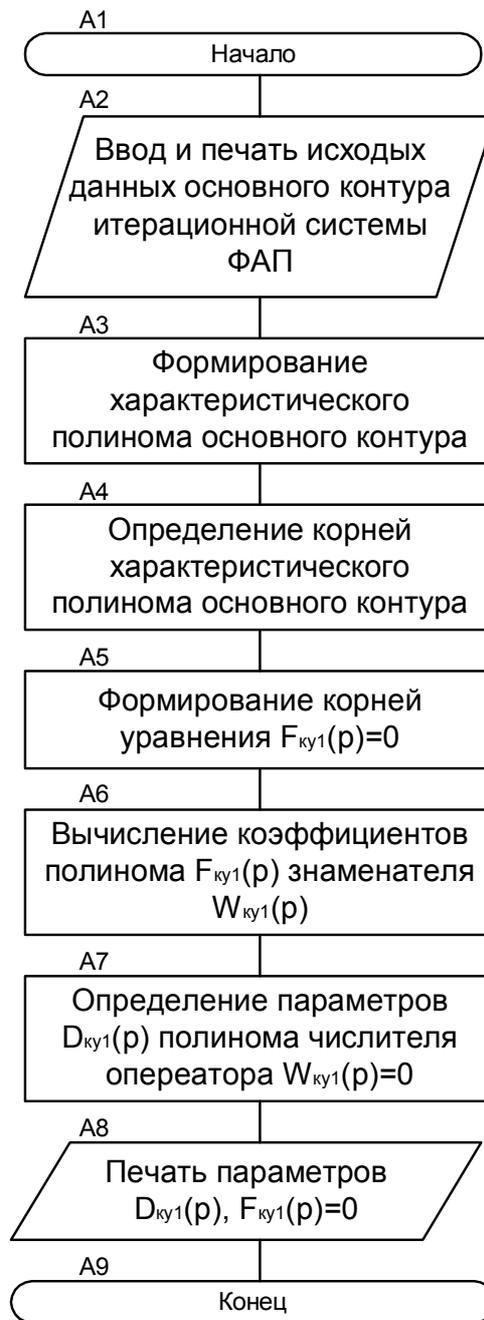


Рисунок 3 — Схема алгоритма параметров разомкнутого канала основного контура двухконтурной итерационной системы ФАП

Можно показать, что методики синтеза оператора  $W_{ky2}(p)$  дополнительного контура итерационной системы ФАП будет такой же. Тогда

$$W_{\Delta\Phi_2k}(p) = \frac{1 - W_{ky2}(p)W_{p2}(P)}{1 + W_{p2}(p)}$$

Учитывая, что

$$W_{\Delta\varphi_{1k}}(p) = W_{\Delta\varphi_{1k0}}(p)p^{v_{1T}};$$

$$W_{\Delta\varphi_{2k}}(p) = W_{\Delta\varphi_{2k0}}(p)p^{v_{2T}};$$

где  $\lim_{p \rightarrow 0} W_{\Delta\varphi_{1k0}}(p) \neq 0$ ;  $\lim_{p \rightarrow 0} W_{\Delta\varphi_{2k0}}(p) \neq 0$ .

Определим оператор итерационной системы ФАП относительно ошибки

$$\begin{aligned} W_{\Delta\varphi_k}(p) &= W_{\Delta\varphi_{1k}}(p) W_{\Delta\varphi_{2k}}(p) = \\ &= W_{\Delta\varphi_{1k0}}(p) W_{\Delta\varphi_{2k0}}(p) p^{v_{1T}} p^{v_{2T}} = \\ &= W_{\Delta\varphi_{1k0}}(p) W_{\Delta\varphi_{2k0}}(p) p^{v_T}, \end{aligned}$$

где  $v_T = v_{1T} + v_{2T}$ ,  $v_{1T}$ ,  $v_{2T}$  — требуемые порядки астатизма основного и дополнительного контуров управления итерационной системы ФАП.

### **Выводы.**

Показано, что включение разомкнутых компенсационных каналов в основной и дополнительный контуры итерационной ФАП позволяют повысить порядок астатизма ОКУ и ДКУ до требуемого порядка и существенным образом повысить ее точность в установившихся режимах.

Установлено, что в общем случае система ФАП может содержать  $n$  контуров управления. При этом каждый из контуров может иметь разомкнутую связь по своему задающему воздействию, не влияющую на устойчивость других контуров управления.

### *Литература*

1. Коробко В.В., Стеклов В.К. Оптимальные по быстродействию двухконтурная итерационная система ФАП. — Труды УНИИРТ, №4 (20), 1999. — С.56–60.
2. Беркман Л.Н., Коробко В.В. Цифровые итерационные системы. — Вісник національного політехнічного університету — „ХПИ”, №21, 2000. — С. 47–49.
3. Зайцев Г.Ф., Стеклов В.К., Брицкий О.И. Теория автоматического управления. — К.: Техніка, 2000 — 688 с.
4. Зайцев Г.Ф. Синтез следящих систем высокой точности. — К.: Техника, 1971. — 204 с.

Сдано в редакцию: .

Рекомендовано к печати: д.т.н., проф. Ткаченко В.Н.