УДК 621.396.662

А.Л. Недашковский[1], А.И. Чумак[2], С.И. Мешков[1]

[1]Государственный университет телекоммуникаций, Киев
[2]Военно-дипломатическая академия, Киев

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСТРАПОЛИРУЮЩИХ КОРРЕКТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЕ ПОРЯДКА АСТАТИЗМА СИСТЕМЫ ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ

В статье предложен способ повышения точности системы фазовой автоподстройки (ФАП) с экстраполирующим корректирующим устройством (ЭКУ) за счет дополнительной связи по производной от сигнала ошибки. Показано, что если ошибка системы ФАП имеет только две составляющие: скоростную и составляющую от ускорения, то она корректируется полностью при помощи эквивалентной непрерывной структурной схемы. При этом корректирующий сигнал формируется с учетом этих двух составляющих ошибки. Таким образом порядок астатизма системы ФАП с ЭКУ повышается на два порядка по отношению к порядку астатизма системы ФАП без ЭКУ.

Ключевые слова: *система фазового автоматического подстраивания, экстраполирующее корректирующее устройство.*

Вступление

Применение систем фазовой автоподстройки (ФАП) в различных радиотехнических устройствах [1 - 5] связано с необходимостью повышения точности и быстродействия таких систем в установившихся и переходных режимах.

Одним из возможных способов повышения точности в синхронных режимах является использование экстраполирующих корректирующих устройств (ЭКУ).

В настоящей работе решается задача повышения точности систем ФАП за счет увеличения порядка астатизма.

На практике корректируемая система ФАП обычно содержит фильтр, усилитель, интегратор и фазовращатель. Такие системы ФАП, замкнутые по углу, являются системами с астатизмом первого порядка.

В общем случае, задающее воздействие $\alpha(t)$ (разность фаз между сравниваемыми по фазе напряжениями одинаковой частоты) имеет произвольный характер и имеет ограниченное число производных.

Постановка задачи

Как упоминалось выше, ЭКУ повышает порядок астатизма корректируемой системы на один порядок, т.е. компенсирует скоростную составляющую фазовой ошибки в установившемся динамическом режиме.

В настоящее время требования к точности рассматриваемых систем ФАП значительно повышаются и требуют повышения порядка астатизма до конечного, во многих случаях до третьего порядка.

Применяя синтезированную непрерывную эквивалентную структурную схему системы ФАП на основании теории инвариантности необходимо ввести в систему ФАП дополнительную производную от задающего воздействия.

Основная часть

На рис. 1, б приведена эквивалентная структурная схема системы ФАП с дополнительной связью по производной от корректирующего сигнала.

Уравнение выхода системы имеет вид:

$$\beta(s) = W_p(s)u(s), \tag{1}$$

где $\beta(t)$ – изображение по Лапласу управляемой величины (разность фаз напряжений на входе и выходе фазовращателя)

$$\left.\begin{aligned} u(s) &= \Delta\varphi(s) + E(s) = \alpha(s) - \beta(s) + W_k(s)\alpha(s); \\ W_k(s) &= \frac{1 + W_{ку}(s)}{1 + W_{pm}(s)}; \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

$W_p(s)$ – передаточная функция системы ФАП в разомкнутом состоянии.

Подставим значения (2) в уравнение (1) и сделав преобразование, получим уравнение выхода системы:

$$\beta(s)=\frac{2+W_{ку}(s)+W_{pm}(s)}{\left[1+W_{ку}(s)\right]\left[1+W_{pm}(s)\right]}W_p(s)\alpha(s).$$

Учитывая, что $W_{pm}(s)=W_p(s)$, где $W_{pm}(s)$ передаточная функция модели системы ФАП в разомкнутом состоянии, передаточная функция эквивалентной замкнутой системы ФАП с дополнительной связью по производной равна:

$$W_{эз}(s)=\frac{\beta(s)}{\alpha(s)}=\frac{W_p(s)\left[2+W_{ку}(s)+W_p(s)\right]}{\left[1+W_p(s)\right]^2}$$

Передаточная функция системы ФАП относительно ошибки равна:

$$W_{\Delta\varphi_э}(s)=1-W_{эз}(s)=1-\frac{W_p(s)\left[2+W_{ку}(s)+W_p(s)\right]}{\left[1+W_p(s)\right]^2}=\frac{1-W_{ку}(s)W_p(s)}{\left[1+W_p(s)\right]^2}$$

Для примера проанализируем точностные характеристики эквивалентной системы ФАП с дополнительной связью по производной от корректирующего сигнала, когда передаточная функция разомкнутой корректируемой системы ФАП имеет вид:

$$W_p(s)=\frac{\beta(s)}{\Delta\varphi(s)}=\frac{k}{(Ts+1)s}. \qquad (3)$$

Передаточная функция эквивалентной системы относительно ошибки с учетом (3) будет равна:

$$W_{\Delta\varphi_э}(s)=\frac{1-W_{ку}(s)W_p(s)}{\left[1+W_p(s)\right]^2}=\frac{(Ts+1)(Ts+1-k_1k)}{\left[(Ts+1)s+k\right]^2}$$

С учетом $k_1=1/k$ передаточная функция окончательно будет иметь вид:

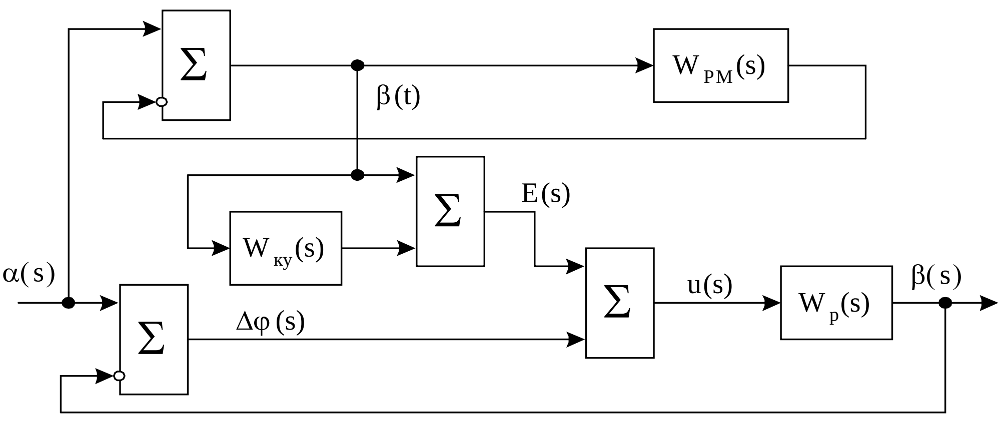
$$W_{\Delta\varphi_э}(s)=\frac{(Ts+1)Ts^3}{\left[(Ts+1)s+k\right]^2}.$$

Исследуем полученное выражение методом коэффициентов ошибок:

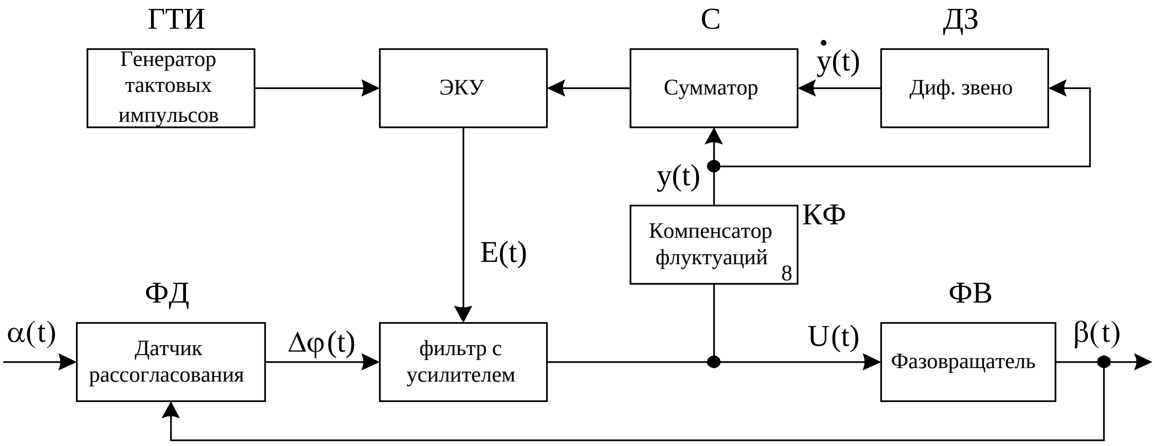
$$\begin{aligned}W_{\Delta\varphi_э}(s)&=\frac{Ts^3+T^2s^4}{k^2+ks+(1+Tk)s^2+Ts^3+T^2s^4}=\\&=\frac{T}{k^2}s^3+\frac{1}{k^2}\left(T^2-\frac{T}{k}\right)s^4-\frac{1}{k^2}\left[\frac{(1+Tk)T}{k^2}+\frac{1}{k}\left(1-\frac{1}{k}\right)\right]s^5+\ldots\end{aligned} \qquad (4)$$

С учетом (4) составим тождество:

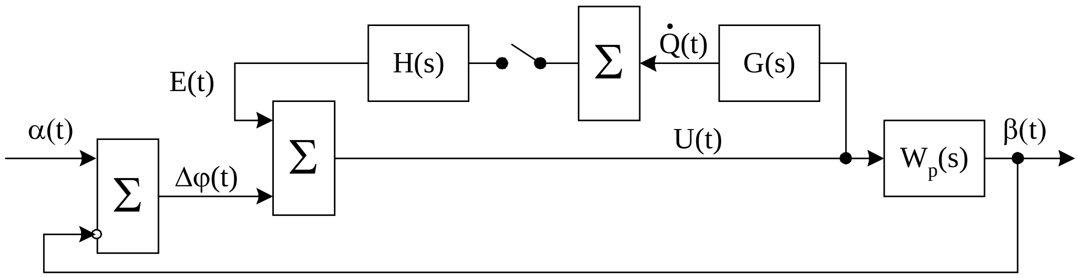
$$\begin{aligned}&C_0+C_1s+\frac{1}{2!}C_2s^2+\frac{1}{3!}C_3s^3+\ldots=\\&=\frac{T}{k^2}s^3+\frac{1}{k^2}\left(T^2-\frac{T}{k}\right)s^4-\frac{1}{k^2}\left[\frac{(1+Tk)T}{k^2}+\frac{1}{k}\left(1-\frac{1}{k}\right)\right]s^5+\ldots\end{aligned} \qquad (5)$$



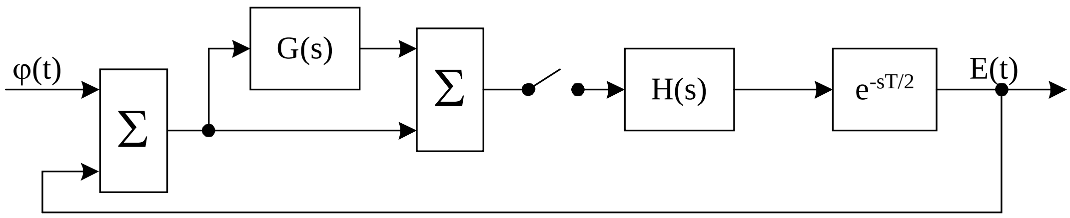
а



б



в



г

Рис. 1. Структурные и функциональная схемы системы ФАП и структурная схема ЭКУ:
а, в – структурные схемы системы ФАП; б – функциональная; г – структурная схема ЭКУ

Приравняв коэффициенты правой и левой части выражения (5) при одинаковых степенях s, находим коэффициенты ошибки:

$$C_0 = 0;\ C_1 = 0;\ C_2 = 0;\ C_3 = \frac{T}{k^2};\ C_4 = \frac{1}{k^2}\left(T^2 - \frac{T}{k}\right).$$

Из проведенного анализа видно, что порядок астатизма системы ФАП в эквивалентной системе за счет связи по производной от корректирующего воздействия повышается.

Переходя от эквивалентной непрерывной структурной схемы к системе ФАП с ЭКУ, получим блок-схему приведенную на рис. 1, б.

Коррекция установившейся динамической ошибки системы ФАП осуществляется следующим образом. Сигнал с выхода усилителя У через компенсатор флуктуации КФ поступает на один вход сумматора С непосредственно, а на другой вход через дифференцирующее (фазоопережающее) звено ДЗ.

Таким образом, на вход экстраполирующего устройства ЭКУ поступает суммарный сигнал, пропорциональный амплитуде фазовой ошибки и ее производной.

В момент тактового импульса, поступающего с генератора тактовых импульсов (ГТИ), экстраполирующее устройство фиксирует упомянутый суммарный сигнал и в течении текущего периода экстраполирует корректирующий сигнал, который поступает на второй вход фильтра Ф последовательно соединенного с усилителем У замкнутого контура системы ФАП, где суммируется с текущим значением фазовой ошибки.

На рис. 2 приведены временные диаграммы, поясняющие физический смысл формирования корректирующего сигнала с учетом двух составляющих ошибки системы (скоростной и ошибки от ускорения).

Структурная схема, соответствующая функциональной схеме рис. 1,б, приведена на рис. 1, в.

Переходя к структурной схеме экстраполирующего устройства по отношению к корректирующему выходу $E(t)$, будем иметь схему, приведенную на рис. 1, г, где

$$E(z) = \frac{T}{z-1}\left[\Delta\varphi(z) + \Delta\dot{\varphi}(z)\right]. \qquad (6)$$

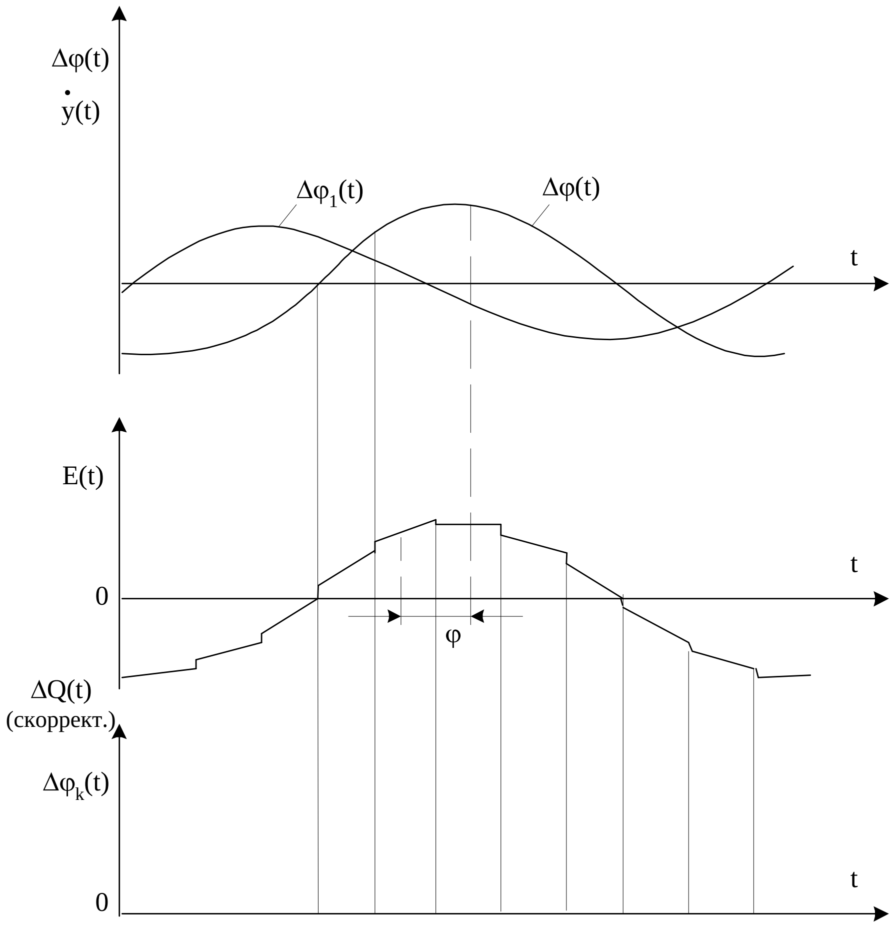


Рис. 2. Временные диаграммы, поясняющие физический смысл формирования корректирующего сигнала

Вывод

Если ошибка системы ФАП имеет только две составляющие (скоростную и составляющую от ускорения), то она, как показано, при помощи

эквивалентной непрерывной структурной схемы, будет скорректирована полностью, т.к. в соответствии с выражением (6) корректирующий сигнал сформирован с учетом этих двух составляющих ошибки, т.е. порядок астатизма системы ФАП с ЭКУ, с учетом связи по производной от ошибки повышается на два по отношению к порядку астатизма системы ФАП без ЭКУ.

Список литературы

1. Зайцев Г. Ф. Теорія автоматичного управління / Г.Ф. Зайцев, В.К. Стеклов, О.І. Бріцький. – К.: Техніка, 2002. – 688 с.

2. Стеклов В.К. и др. Системы фазовой автоподстройки с дифференциальными связями / В.К. Стеклов, С.Н. Скляренко, Б.Я Костік - К.: Техніка, 2003 - 328 с.

3. Шахгильдян В.В. Системы фазовой автоподстройки / В.В. Шахгильдян, А.А._Ляховкин - М.: связь, 1972 - 447 с.

4. Стеклов В.К. Системи фазового автопідстроювання та системи синхронно-фазової демодуляції / В.К. Стеклов, І.С. Щербина – К.: Техніка, 2006. – 288 с.

5. Стеклов В.К. Итерационные системы фазовой автоподстройки / В.К. Стеклов, В.В. Коробко – К.: Техніка, 2004. – 328 с.

6. Охтень О.І., Чумак О.І. Підвищення порядку астатизму системи ФАП з екстраполюючими коригувальними пристроями // Збірник наукових праць військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». - Випуск №2. - 2002р. - С.81-86

Поступила в редакцію 11.10.2013

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

ЗАСТОСУВАННЯ ЕКСТРАПОЛЮЮЧИХ КОРЕГУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПОРЯДКА АСТАТИЗМА СИСТЕМИ ФАЗОВОЇ АВТОПІДСТРОЙКИ

О.Л. Недашківський, О.І. Чумак, С.І. Мєшков

Застосування екстраполюючих корегуючих пристроїв для підвищення порядка астатизма системи фазової автопідстройки. Зопропоновано спосіб підвищення точності системи фазової автопідстройки (ФАП) з екстраполюючим корегуючим пристроєм (ЕКП) за рахунок додаткового зв'язку по похідній від сигналу помилки. Показано, що якщо помилка системи ФАП має тілки дві складові: швидкісну і складову за прискоренням, то вона корегується повністю за допомогою еквівалентної неперервної структурної схеми. При цьому корегуючий сигнал формується з урахуванням цих двох складових помилки. Таким чином порядок астатизма системи ФАП з ЕКП підвищується на два порядки по відношенню до порядку астатизма системы ФАП без ЕКП.

Ключові слова: *система фазового автоматичного підстроювання, екстраполюючий корегуючий пристрій.*

APPLICATION OF EXTRAPOLATING CORRECTING DEVICES FOR THE INCREASE OF ORDER OF ASTATISM OF THE PHASE AUTOMATIC ADJUSTMENT SYSTEM

O.L. Nedashkivskyi, O.I. Chumak, C.I. Meshkov

Application of extrapolating correcting devices for the increase of order of astatism of the phase automatic adjustment system. The method of increase of precision of the phase automatic adjustment system (PAA) with an extrapolating correcting device (ECD) due to additional connection on a derivative from the signal of error is offered. It is shown that if the error of the PAA system has only two constituents: speed and making from an acceleration, then she is corrected fully through an equivalent continuous flow diagram. Thus a correcting signal is formed taking into account these two constituents of error. Thus order of astatism of the PAA system with ECD rises on two orders in relation to the order of astatism of the system PAA without ESD.

Keywords: *phase automatic adjustment system, extrapolating correcting device.*