

ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕМЕНТАХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

УДК 621.391:681.5

Л. И. НЕТУДЫХАТА, С.Б. ГОРДИЕНКО, О. Л. НЕДАШКОВСКИЙ
**СИСТЕМА ФАЗОВОЙ АУТОПОДСТРОЙКИ С НЕЛИНЕЙНОЙ
ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ**

Система фазовой автоподстройки (ФАП) используется в аппаратуре связи для согласования фаз переменных напряжений. Система ФАП – это система автоматического управления с управлением по отклонению [1 – 4]. При этом при малых затуханиях (малых по абсолютному значению корней характеристического уравнения замкнутого контура) фаза выходного сигнала системы ФАП при ступенчатом изменении разности фаз на входе быстро стремится к установившемуся значению со значительным перерегулированием (рис. 1 а, кривая 1). При больших затуханиях (больших по абсолютному значению корней характеристического уравнения) фаза выходного сигнала стремится к установившемуся значению медленно и в ряде случаев без перерегулирования (рис. 1 а, кривая 2). В этом случае параметры элементов замкнутого контура выбираются таким образом, чтобы обеспечить приемлемые значения длительности переходного процесса и перерегулирования.

В настоящей работе решается задача использования нелинейной обратной связи (НОС) для улучшения качества переходного процесса в системе ФАП.

Функциональная схема системы ФАП изображена на рис. 1 б. Система содержит замкнутый контур управления, состоящий из последовательно соединенных фазового дискриминатора ФД, фильтра нижних частот Ф, усилителя-преобразователя УП, интегратора И, управляемого фазовращателя ФВ и нелинейную цепь коррекции, включающую фазовый дискриминатор ФД1, фильтр нижних частот Ф1, дифференциатор Д и перемножитель МРЛ. Требуется уменьшение разности фаз напряжений $u_1(t)$ и $u_2(t)$ с помощью управляемого фазовращателя ФВ.

Нелинейность возникает в результате перемножения сигнала фазовой ошибки и производной от управляемой величины (разности фаз входного и выходного напряжений управляемого фазовращателя).

Коэффициент обратной связи определяется выражением

$$k_{oc} = 1 - k u_{\Delta\varphi}, \quad (1)$$

где $u_{\Delta\varphi}$ – напряжение сигнала ошибки (выходное напряжение ФД).

В начале переходного процесса сигнал ошибки $u_{\Delta\varphi}(t)$ имеет большое значение, а затухание мало. Таким образом обеспечивается высокая скорость переходного процесса. Во время переходного процесса ошибка (рассогласование) $u_{\Delta\varphi}(t)$ уменьшается, а затухание увеличивается, вследствие чего управляемая величина подходит к согласованному положению без перерегулирования.

Структурная схема нелинейной системы ФАП, соответствующая функциональной рис. 1 б, изображена на рис. 2 а. Уравнения элементов системы имеют вид:

$$\begin{aligned} \beta(t) &= W_p(p)[\Delta\varphi(t) - u_{oc}(t)]; \Delta\varphi(t) = \alpha(t) - \beta(t); \\ u_{oc}(t) &= [1 - k\Delta\varphi(t)]W_{oc}(p)\beta(t), \end{aligned} \quad (2)$$

где $W_p(p)$ – оператор замкнутого контура системы ФАП в разомкнутом состоянии; $W_{oc}(p)$ – оператор цепи местной обратной связи; $\beta(t)$ – управляемая величина; $\alpha(t)$ – задающее воздействие (разность фаз между напряжением $u_1(t)$ и $u_2(t)$); $\Delta\varphi(t)$ – сигнал ошибки; $p = d/dt$.

Полагая, что $W_{oc}(p) = k_{oc}p$, выражение для напряжения обратной связи принимает вид:

$$u_{oc}(t) = k_{oc}[1 - k\Delta\varphi(t)]p\beta(t).$$

Учитывая, что $\Delta\varphi(t) = \alpha(t) - \beta(t)$, получим:

$$u_{oc}(t) = K_{oc}[p\beta(t) - k\alpha(t)p\beta(t) + k\beta(t)p\beta(t)]. \quad (3)$$

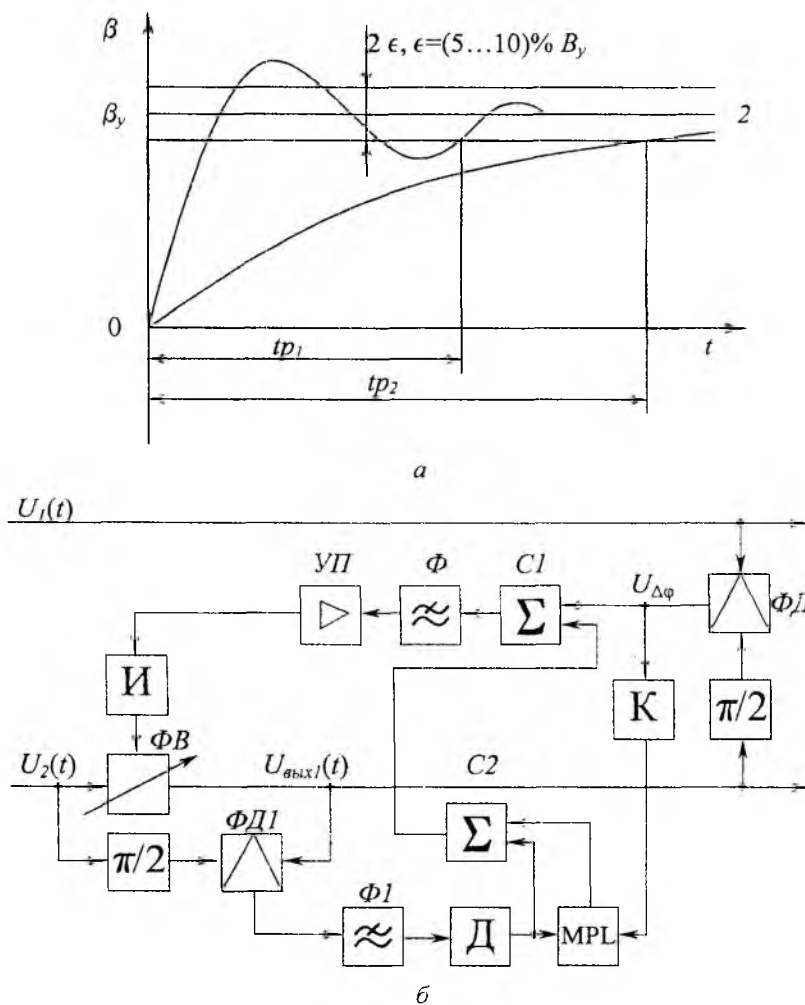
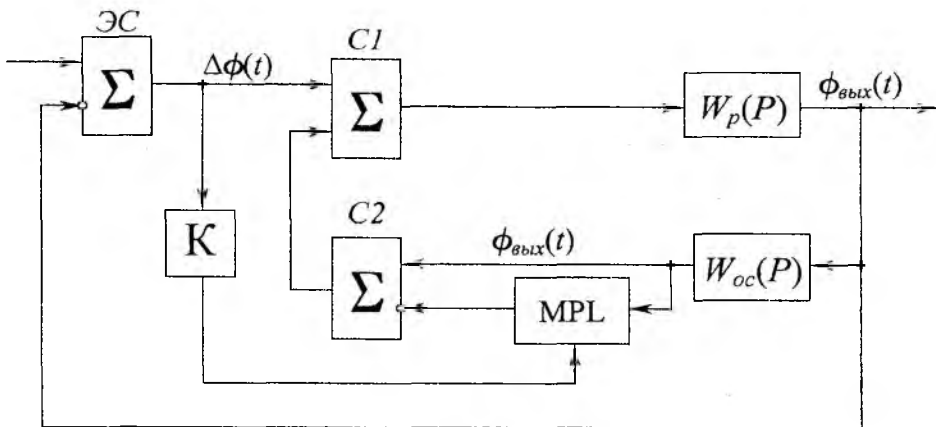
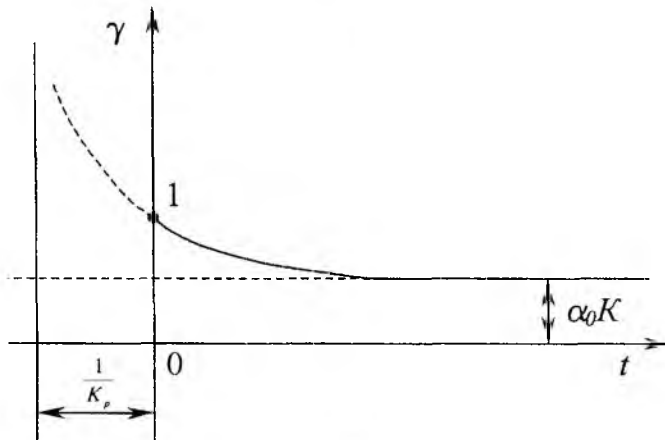


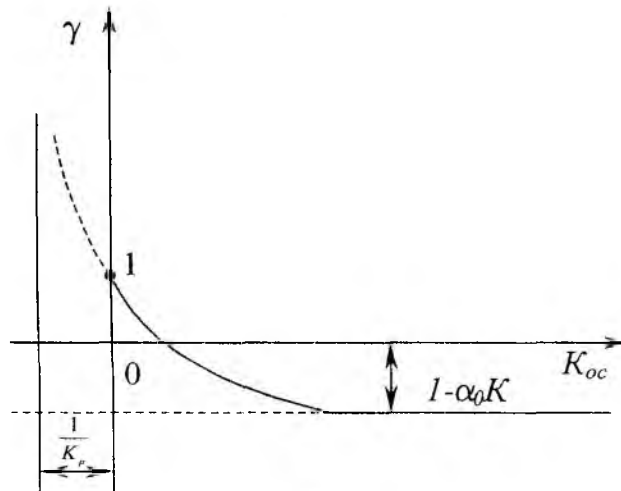
Рис. 1. Кривые переходных процессов (а) и функциональная схема ФАП (б)



а



б



в

Рис. 2. Структурная схема ФАП (а) и графики зависимости $\gamma(K_{oc})$ при $(1-K\alpha_0) > 0$ (б) и $(1-K\alpha_0) < 0$ (в)

Исключая промежуточные переменные из (2) с учетом выражения (3), имеем

$$\beta(t) = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p) + W_p(p)k_{oc}[1 - k\alpha(t) + k\beta(t)]P} \alpha(t) \quad (4)$$

При $k = 0$ получаем

$$\beta(t) = W_p(p) / [1 + W_p(p)k_{oc}P]. \quad (5)$$

Таким образом, при $k = 0$ нелинейное уравнение (4) преобразуется в линейное (5).

Полагая, что $W_p = k_p / \sqrt{(T_p + 1)P}$, где k_p – коэффициент передачи; T – постоянная времени, получим

$$\beta(t) = k_p \alpha(t) / \{ (T_p + 1)P + k_p + k_p k_{oc} [1 - k\alpha(t) + k\beta(t)]P \} \quad (6)$$

Выражение (6) можно записать в следующем виде:

$$\beta(t) + 2qq_0\beta(t) + q_0^2\beta(t) = q_0\alpha(t), \quad (7)$$

где $q = \sqrt{k_p/T}$; $q = \left\{ 1 + k_{oc} \left[k_p - k_p \alpha(t) + k_p K \beta(t) \right] \right\} / (2\sqrt{k_p T})$.

Из выражения (7) следует, что коэффициент затухания q зависит от фазовой ошибки системы ФАП.

Рассмотрим изменение коэффициента затухания при $\alpha(t) = \alpha_0 1(t)$. Когда $t = 0$ значение управляемой величины равно нулю $[\beta(t) = 0]$, а значение ошибки $\Delta\varphi(t) = \alpha_0$. Коэффициент затухания в этом случае равен

$$q_H = [1 - k_{oc}k_p(1 - k\alpha_0)] / (2\sqrt{k_p T}).$$

В установившемся (синхронном) режиме (при $t = \infty$) конечное значение коэффициента затухания определяется из выражения

$$q_{уст} = (1 + k_p k_{oc}) / (2\sqrt{k_p T}).$$

Взяв отношение $q_H / q_{уст}$, получим значение относительного коэффициента затухания

$$q_H / q_{уст} = \gamma = 1 - k_{oc}k_p k \alpha_0 / (1 + k_{oc}k_p) \quad (8)$$

или

$$\gamma = 1 - \psi \alpha_0,$$

$$\text{где } \psi = k_{oc}k_p k / (1 + k_{oc}k_p). \quad (9)$$

На рис. 2 б, в изображены графики зависимости относительного коэффициента затухания γ от коэффициента обратной связи при $(1 - k\alpha_0) > 0$ (б) и при $(1 - k\alpha_0) < 0$ (в), а на рис. 3 а, б изображены графики $\gamma(\alpha_0)$ при $\varphi = const$ (а) и $\lambda(\varphi)$ при $\alpha_0 = const$

Как следует из графиков, затухание уменьшается при увеличении α_0 и ψ . Это изменение осуществляется в течение длительности переменного и плавно.

Таким образом, в системах ФАП, как и в электромеханических следящих системах, возможно улучшение качества переходного процесса посредством использования нелинейной обратной связи. Особенностью системы ФАП с нелинейной коррекцией является то, что для изменения управляемой величины требуется дополнительный фазовый дискриминатор (рис. 1 б), фильтр нижних частот Ф1 и дифференциатор Д. В качестве дифференциатора можно использовать обычную дифференцирующую RC – цепочку.

Возможно построение системы ФАП с нелинейной обратной связью при использовании дополнительного частотного дискриминатора (ЧД), представляющего собой дифференциатор управляемой величины (разности фаз входного и выходного напряжений ФВ). Функциональная схема такой системы ФАП изображена на рис. 3 в. Напряжение на выходе ЧД определяется выражением

$$u_{\text{ЧД}}(t) = k_{\text{ЧД}} \dot{\beta}(t) = k_{\text{ЧД}} p\beta(t),$$

где $k_{\text{ЧД}} = k_{\text{OC}}$ – коэффициент передачи ЧД; $p = d/dt$

В отличие от схемы системы ФАП, изображенной на рис. 1 б, в схеме рис. 3 в отсутствует дифференциатор. Эту функцию выполняет ЧД.

Заключение

1. В системе ФАП нелинейная обратная связь обеспечивает монотонный переходный процесс при ступенчатых изменениях разности фаз сигналов $u_1(t)$ и $u_2(t)$ и отсутствие нерегулирования, т.е. улучшает показатели качества переходного процесса.
2. Реализация нелинейной обратной связи может быть достигнута с помощью дополнительных фазового либо частотного дискриминаторов и умножителя.

Список литературы: 1. Белюстина Л.Н., Шалфеев В.Д. К теории нелинейной системы частотно-фазовой автоподстройки. // Изв. Вузов. Радиофизика. 1968. Т. 11. № 3. С. 383 – 396. 2. Зайцев Г.Ф., Стеклов В.К., Брицкий О.И. Теория автоматического управления. К.: Техніка, 2002. 688 с. 3. Хлыпало Е.И. Нелинейные корректирующие устройства Л.: Энергия, Ленингр. отд., 1973. 344 с. 4. Шахильдян В.В. Ляховкин А.А. Системы фазовой автоподстройки. М.: Связь, 1972. 447 с.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 25.05.2003